



# NON-DESTRUCTIVE TESTING

## آزمونهای غیرمخرب

*Visual Inspection*

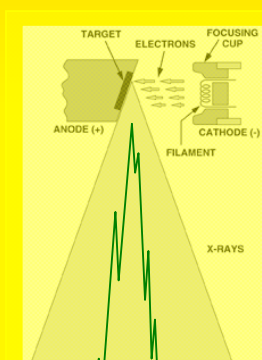
*Ultrasonic Testing*

*Radiography Testing*

*Magnetic Particles*

*Liquid Penetrant Testing*

*Eddy Current Testing*



بازرسی عینی

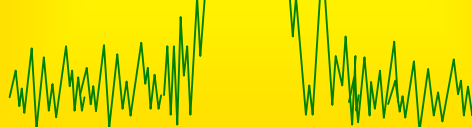
آزمایش آلتراسونیک

آزمایش پرتونگاری

آزمایش ذرات مغناطیسی

آزمایش با مواد نافذ

آزمایش جریان گردابی



شرکت ملی گاز ایران

مؤلف: رضا خودسپانی

با همکاری و ویرایش دکتر منصور فرزام

دانشگاه صنعت نفت

# بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

نام کتاب : آزمون های غیر مخرب

مؤلف : مهندس رضا خودسیانی

طراحی و صفحه آرایی : جواد دانشیار-محسن جلالی

چاپ از : چاپخانه شرکت ملی گاز ایران

حق چاپ برای ناشر محفوظ است



## خلاصه فهرست مندرجات جلد اول

---

### آزمونهای غیرمخرب

شامل کلیات و مقدمه

صفحات ۱ الی ۴

### فصل اول بازرسی عینی

شامل سه بخش

صفحات ۵ الی ۳۰

### فصل دوم آزمایش آلتراسونیک

شامل دوازده بخش همراه با تعریف واژه های آزمایش آلتراسونیک

صفحات ۳۱ الی ۳۱۳

### فصل سوم پرتونگاری صنعتی

شامل ده بخش همراه با واژه های پرتونگاری

صفحات ۳۱۵ الی ۴۳۶

### فصل چهارم آزمایش با مواد نافذ

شامل سه بخش همراه با واژه های آزمایش نفوذی

صفحات ۴۳۷ الی ۴۶۸

### فصل پنجم آزمایش ذرات مغناطیسی

شامل سه بخش همراه با واژه های آزمایش ذرات مغناطیسی

صفحات ۴۶۹ الی ۵۲۰

### فصل ششم آزمایش جریان گردابی

شامل چهار بخش همراه با واژه های آزمایش جریان گردابی

صفحات ۵۲۱ الی ۵۸۲

منابع و مراجع کتاب صفحات ۵۸۳ - ۵۸۴

---

## فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
۱	کلیات / مقدمه
<b>فصل اول / بازرسی عینی</b>	
۵	<b>بخش اول / مقدمه</b>
۷	پیش نیازهای بازرسی عینی
۱۱	<b>بخش دوم / انداسکوپی</b>
۱۲	انواع بوراسکوپ ها / بوراسکوپ ساده
۱۷	بوراسکوپ های انعطاف پذیر
۱۹	ویدیواسکوپ ها
۲۳	<b>بخش سوم / وسایل و ابزار بازرسی</b>
۲۴	انواع ابزار اندازه گیری
۲۸	دما سنج ها
۳۰	فریت سنج
<b>فصل دوم / آتراسونیک</b>	
۳۱	<b>بخش اول / مقدمه</b>
۳۲	خواص عمومی امواج ماوراء صوت
۳۵	امواج طولی
۳۶	امواج عرضی / برشی / سطحی

شماره صفحه	عنوان
۴۱	<b>بخش دوم / کریستال های پیزوالکتریک</b>
۴۲	خواص کریستال ها
۴۴	انواع کریستال ها - کریستال کوارتز
۴۸	تعریف پالس
۵۱	پروب های پیزوالکتریک / صفر درجه
۵۳	پروب های زاویه ای
۵۴	انعکاس و انکسار امواج
۵۵	رابطه اسنل ( Snell s Law )
۵۷	زوایای بحرانی
۶۱	ساختمان پروب زاویه ای
۶۵	<b>بخش سوم / حوزه های صوتی</b>
۶۶	حوزه مرده / حوزه نزدیک
۶۸	حوزه دور / زاویه گسترش
۶۹	ضریب گسترش
۷۳	<b>بخش چهارم / عوامل و فاکتورهای اساسی</b>
۷۳	مقاومت ظاهری ( امپدانس )
۷۴	ضرایب انتقال و انعکاس
۷۹	جدول ۱-۴ ، جرم مخصوص، سرعت و مقاومت ظاهری در انواع فلزات
۸۰	جدول ۲-۴ ، جرم مخصوص، سرعت و مقاومت ظاهری در انواع غیر فلزات
۸۱	شدت صوت
۸۳	جدول ۳-۴ ( مقایسه دسی بل نسبت به دامنه )
۸۴	رابطه پالس و فرکانس
۸۶	اتلاف انرژی صوتی / روش اندازه گیری اتلاف انرژی صوتی
۹۲	اندازه گیری اتلاف انرژی با پروب زاویه ای
۹۷	تعدیل سطح ( ضریب انتقال سطح )
۱۰۴	تبدیل موج / پالس های مجازی / واکنش جداری

شماره صفحه	عنوان
۱۰۶	تبدیل امواج عرضی به طولی
۱۰۷	پراکندگی امواج
۱۰۹	تجمع سیال
۱۱۰	سطوح ناهموار
۱۱۲	ناهمواری سطح پشت
۱۱۳	ساختار دانه بندی / سطوح قوس دار
۱۱۷	<b>بخش پنجم / فرآیندها و روشهای آتراسونیک</b>
۱۱۸	روش های آتراسونیک / پالس اکو
۱۲۱	سیستم تصویری آ اسکن
۱۲۳	سیستم تصویری بی اسکن
۱۲۵	سیستم تصویری سی اسکن
۱۲۸	روش زمان سنجی
۱۲۹	ضخامت سنج های آ اسکن
۱۳۰	روش رزونانس
۱۳۱	روش انتقال سر به سر
۱۳۵	دستگاه های خودکار ( اتوماتیک )
۱۳۷	<b>بخش ششم / کاربرد امواج طولی</b>
۱۳۸	اندازه گیری ضخامت
۱۴۱	پالس اولیه / پروب های دو کریستاله
۱۴۴	اندازه گیری ضخامت مواد غیر فولادی
۱۴۹	اندازه گیری عیوب / پروب صفر درجه
۱۵۰	حد آشکارسازی عیوب
۱۵۵	منحنی DAC ( برای پروب صفر درجه )
۱۵۷	روش افت شش دسی بل
۱۵۹	روش افت ۲۰ دسی بل
۱۶۳	روش مقایسه ای

## دخاله فهرست ۴

شماره صفحه	عنوان
۱۶۵	روش تکرار پالس
۱۶۶	نمودار DGS
۱۷۳	<b>بخش هفتم / روشهای غوطه وری</b>
۱۷۵	غوطه وری پروب و قطعه
۱۷۶	غوطه وری موضعی
۱۷۸	غوطه وری کانونی
۱۷۹	تعیین بعد حجمی آب
۱۸۱	تفسیر علائم روش های غوطه وری
۱۸۳	<b>بخش هشتم / نمونه های تنظیم</b>
۱۸۵	نمونه های استاندارد / استانداردهای مرجع
۱۸۶	نمونه استاندارد IIW-V۱
۱۸۸	نمونه استاندارد IIW-V۲
۱۸۹	نمونه استاندارد BSI-A۵
۱۹۰	نمونه استاندارد A۵ Type B و ESI-۵۰ RAD
۱۹۱	نمونه های استاندارد A۳ ، A۶ و A۷
۱۹۳	نمونه استاندارد D.C.B و D.S.C.B
۱۹۵	نمونه استاندارد F.B.H و S.C.B
۱۹۶	نمونه استاندارد Step Block و V.W
۱۹۷	خواص عمومی نمونه های تنظیم
۱۹۹	<b>بخش نهم / تکنیک های پوشش</b>
۲۰۰	تکنیک پوشش طولی / چرخشی
۲۰۳	تکنیک پوشش دورانی
۲۰۴	تکنیک پوشش عرضی / سطح جوش درجه یک، درجه دو، درجه سه
۲۰۸	تکنیک پوشش عمقی
۲۱۰	تکنیک تندم ( Tandem Technique )
۲۱۳	رسم طیف امواج

شماره صفحه	عنوان
۲۲۳	<b>بخش دهم / عیب یابی با پروب زاویه ای</b>
۲۲۵	طول، ارتفاع و عرض گام
۲۲۷	سطوح گرد و قوس دار
۲۲۸	سطح نشیمنگاه / زاویه انکسار و عمق نفوذ
۲۳۱	عمق نفوذ در قطعات قوس دار
۲۳۳	تعیین مختصات یک عیب
۲۳۵	نمودار سطوح قوس دار
۲۳۷	تعیین اندازه عیوب
۲۳۹	مشخصات نمودار D.A.C
۲۴۲	محاسبه اتلاف انرژی با روش D.A.C
۲۴۶	اندازه گیری با نمودار دی جی اس ( D.G.S )
۲۵۰	تکنیک افت ۶ دسی بل
۲۵۳	تکنیک افت ۲۰ دسی بل ( امواج زاویه ای )
۲۵۶	روش حداکثرسازی دامنه
۲۵۹	اثر شدت واکنش بردامنه پالس
۲۶۱	<b>بخش یازدهم / تفسیر پالس ها</b>
۲۶۱	مدل پالس ها
۲۶۲	پالس مدل های صفحه تصویر
۲۶۶	نتیجه گیری از مدلها / بررسی ویژگی عیوب
۲۶۷	شرح انواع عیوب / عیوب لوله ای و کروی
۲۷۰	عیوب خطی کوتاه / نقطه ای
۲۷۲	عیوب خطی پهن و صاف
۲۷۴	عیوب خطی ریز دندان
۲۷۶	عیوب درشت دندان
۲۷۷	ترک های طولی
۲۷۹	ترک های عرضی



شماره صفحه	عنوان
۲۸۳	عیوب حجم دار
۲۸۶	عیوب ریز خوشه ای
۲۸۸	عیوب منقطع
۲۹۲	نکات مهم تفسیر عیوب
۲۹۵	<b>بخش دوازدهم / روش آزمایش جوش</b>
۲۹۶	عوامل اساسی و تأثیرگذار
۲۹۷	فرآیندهای جوشکاری و انواع اتصالات
۳۰۲	مندرجات یک روش آزمایش جوش
۳۰۵	واژه های آزمایش آلتراسونیک
<b>فصل سوم / پرتونگاری صنعتی</b>	
<b>بخش اول / کلیات پرتونگاری</b>	
۳۱۵	عوامل اصلی پرتونگاری
۳۱۶	ساختمان اتم / پرتوهای ایکس و گاما
۳۱۸	خواص عمومی پرتوها
۳۲۰	جذب پرتوها / تأثیر متقابل / اثرات جذب پرتوها
۳۲۱	
۳۲۵	<b>بخش دوم / مولدهای پرتوهای ایکس</b>
۳۲۵	تعریف الکترون ولت
۳۲۶	اجزاء اساسی مولد ایکس
۳۲۹	حد نفوذ پرتوها
۳۳۱	انواع مولدهای اشعه ایکس
۳۳۷	<b>بخش سوم / منبع پرتوهای گاما</b>
۳۳۸	ایزوتوپ های طبیعی / مصنوعی / نیمه عمر
۳۳۹	نزول پرتوزائی / انرژی چشمه پرتوزا و پرتوزائی ویژه
۳۴۲	جدول انواع چشمه ها
۳۴۳	کپسول حاوی چشمه / محفظه حامل کپسول

## دنباله فهرست ۷

شماره صفحه	عنوان
۳۴۴	انواع محفظه های چشمه گاما
۳۴۹	<b>بخش چهارم / تصویر پرتونگاره</b>
۳۵۰	مقدار پرتوهای ساطع شده
۳۵۳	قانون مربع مستقیم
۳۵۴	پرتوهای جذب شده
۳۵۶	جدول فاکتور معادل فولاد
۳۵۷	صفحات تشدید کننده سربی
۳۵۹	صفحات تشدید کننده نمکی و فلورومتالیک
۳۶۱	<b>بخش پنجم / فیلم پرتونگاری</b>
۳۶۲	اجزاء تشکیل دهنده فیلم پرتونگاری
۳۶۳	خصوصیات فیلم پرتونگاری
۳۶۴	رسم نمودار شیب تباین
۳۷۰	انتخاب فیلم پرتونگاری
۳۷۱	انواع فیلم های پرتونگاری
۳۷۳	<b>بخش ششم / فرآیندهای پرتونگاری</b>
۳۷۴	مراحل ظهور و توقف ( دستی )
۳۷۵	مراحل ثبوت و شستشو
۳۷۷	ظهور و ثبوت خودکار
۳۷۸	نکات مهم فرآیند ظهور و ثبوت
۳۸۱	<b>بخش هفتم / کیفیت تصویر پرتونگاره</b>
۳۸۱	درجه سیاهی
۳۸۲	روش اندازه گیری دانسیته
۳۸۳	تباین تصویر پرتونگاره
۳۸۴	تباین فیلم خام پرتونگاری
۳۸۵	حساسیت پرتونگاری

## دخاله فهرست ۸

شماره صفحه	عنوان
۳۸۶	شاخص کیفیت تصویر / کیفیت سیمی DIN
۳۸۸	شاخص کیفیت سیمی BSI
۳۸۹	شهخص کیفیت سیمی ASTM
۳۹۰	شاخص صفحه ای ASTM و ASME
۳۹۳	وضوح تصویر پرتونگاره
۳۹۴	حالت های عدم وضوح
۳۹۸	اندازه نیم سایه تصویر
۴۰۰	پراکندگی پرتوها
۴۰۳	<b>بخش هشتم / تکنیک های پرتونگاری</b>
۴۰۴	تکنیک یک دیواره یک تصویر
۴۰۵	تکنیک دو دیواره یک تصویر
۴۰۶	طول فیلم قابل تفسیر
۴۰۷	تکنیک دو دیواره دو تصویر
۴۰۹	ماشین کرالر
۴۱۱	<b>بخش نهم / زمان تابش پرتونگاری</b>
۴۱۳	روش رسم نمودار تابش
۴۱۴	نمودار تابش مولد اشعه ایکس
۴۱۵	جدول ۹-۱ ( ضرایب تبدیل )
۴۱۷	خط کش محاسبه
۴۱۸	رابطه ریاضی محاسبه زمان تابش
۴۲۰	جدول نسبت ضخامت به کوری ساعت
۴۲۰	جدول فاکتور فیلم های
۴۲۱	<b>بخش دهم / دستورالعمل پرتونگاری</b>
۴۲۲	جزئیات دستورالعمل پرتونگاری
۴۲۵	مشخصات روی فیلم پرتونگاره

## دخاله فهرست 4

شماره صفحه	عنوان
۴۲۷	نگهداری فیلم های خام پرتونگاری و فیلم های پرتونگاره
۴۲۹	نمونه روش پرتونگاری استاندارد BSI
۴۳۱	واژه های پرتونگاری
<b>فصل چهارم / آزمایش با مواد نافذ</b>	
<b>بخش اول / معرفی روش</b>	
۴۳۷	انواع روشهای آزمایش با مواد نافذ
۴۳۹	مراحل آزمایش
۴۴۰	روشهای غوطه وری
۴۴۳	
۴۴۷	<b>بخش دوم / انتخاب روش</b>
۴۴۹	انواع مواد نفوذی
۴۵۱	ماده نافذ رنگی
۴۵۲	ماده نافذ فلورسنسی
۴۵۴	انواع مواد ظاهر ساز
۴۵۶	نمودار مدار آزمایش با مواد نافذ فلورسنسی
۴۵۷	<b>بخش سوم / بازرسی اولیه، ثانویه و نهانی</b>
۴۶۰	تفسیر علائم
۴۶۲	تخمین عمق عیوب
۴۶۳	ساخت نمونه نشانگر
۴۶۴	جدول زمان نفوذ
۴۶۵	واژه های آزمایش با مواد نافذ
<b>فصل پنجم / آزمایش ذرات مغناطیسی</b>	
<b>بخش یکم / تاریخچه و مقدمه</b>	
۴۶۹	اساس کلی روش / خاصیت مغناطیس پذیری مواد
۴۷۱	چگالی خطوط میدان
۴۷۳	

## دخاله فهرست ۱۰

شماره صفحه	عنوان
۴۷۵	قانون دست راست
۴۷۷	انواع ذرات مغناطیسی
۴۸۱	ویژگی مواد فلورسنتی
۴۸۲	آزمایش کیفیت سیال ( رسوب گیری )
۴۸۳	<b>بخش دوم / تکنیک ها و روشها</b>
۴۸۳	تکنیک محوری
۴۸۷	تکنیک سیم پیچ
۴۹۱	تکنیک القائی
۴۹۲	روش الکتروودی ( Prod )
۴۹۳	تکنیک دو قطبی ( Yoke )
۴۹۹	<b>بخش سوم / روشهای آزمایش</b>
۵۰۰	مراحل یک آزمایش نمونه
۵۰۳	نوع جریان
۵۰۴	مغناطیس زدائی / حلقه پسماند
۵۰۹	روشهای مغناطیس زدائی
۵۱۰	شاخص نفوذ ASME
۵۱۱	شاخص نفوذ بر تولد
۵۱۳	شاخص سیمی
۵۱۵	واژه های آزمایش ذرات مغناطیسی
<b>فصل ششم / آزمایش جریان گردابی ( ادی کارنت )</b>	
۵۲۱	<b>بخش اول / مقدمه</b>
۵۲۳	جریان گردابی
۵۲۵	اندکتانس و امیدانس
۵۲۷	مراحل کلی یک آزمایش
۵۲۹	جدول قابلیت هدایت الکتریکی

## دخاله فهرست ۱۱

شماره صفحه	عنوان
۵۳۰	قابلیت نفوذ و فرکانس
۵۳۲	نمودار عمق نفوذ
۵۳۳	اثر حاشیه ( Edge Effect )
۵۳۴	اثر برداشت ( Lift-off )
۵۳۵	ضریب فاصله ( Fill Factor )
۵۳۷	<b>بخش دوم / مدارهای داخلی</b>
۵۴۰	مدارهای Bridge
۵۴۲	آرایش کوپل ها
۵۴۴	انواع پروبها
۵۴۸	دستگاه های جریان گردابی
۵۵۳	نمونه های تنظیم
۵۵۴	نمونه لوله استاندارد
۵۵۵	<b>بخش سوم / کاربرد جریان گردابی</b>
۵۵۵	آشکارسازی ترکها
۵۵۷	آزمایش لوله / مفتول سیمی
۵۵۸	آزمایش جوش
۵۵۹	طبقه بندی فلزات
۵۶۰	اندازه گیری رنگ و پوشش
۵۶۳	<b>بخش چهارم / آزمایش لوله های مبدل حرارتی</b>
۵۶۴	معرفی روش
۵۶۵	مجموعه تجهیزات آزمایش
۵۶۶	روش کلی آزمایش تیوبها
۵۷۳	مشخصات ساخت نمونه استاندارد
۵۷۹	واژه های آزمایش جریان گردابی
۵۸۳	<b>منابع و مراجع</b>

در یک تعریف فراگیر، استفاده از اساس و قوانین فیزیکی برای تشخیص ناهمگنی های درون مواد و ادوات، بدون آسیب رسانده به آنها را با نام آزمایشهای غیرمخرب می شناسیم. این نوع آزمایشها که تنها روشهای مطمئن برای ارزیابی و بازرسی غیرآزمایشگاهی ادوات و محصولات محسوب می گردند، در سالهای اخیر بطور چشمگیری متحول شده و همگام با پیشرفت و رشد صنایع مختلف، چرخه کنترل کیفیت را اطمینان بخش تر و روانتر می سازد.

با نگاهی به تاریخچه کاربرد آزمایشهای غیرمخرب در ایران می بینیم، ردپای بعضی از این نوع آزمایشها در صنایع نفت و هواپیمائی وجود داشته است، اما با اطمینان می توان گفت اولین جایگاه جدی تکنیک های آزمایشهای غیرمخرب در کارخانه های لوله سازی اهواز بوده است که ساخت لوله های استاندارد API را تحت نظارت سخت گیرانه شرکت لویدز در سال ۱۹۶۷ بعهده گرفت و به دلیل همین سخت گیری ها، کارآمدترین متخصصین آزمایشهای غیرمخرب نظیر دکتر کرات کرامر، دکتر هنری رامپاس و بسیاری از ثنورسین های آزمایشهای غیرمخرب، کارخانه لوله سازی را محلی برای عرضه جدید ترین فن آوری خود انتخاب نمودند.

اما آنچه در سالهای اخیر در کشورمان ایران مشاهده می گردد رشد چشمگیر کاربرد آزمایشهای غیرمخرب در صنایع کلیدی نظیر ساخت ادوات تحت فشار است. از طرفی در زمینه آموزش نیز قدم های مؤثری برداشته شده و متخصصین کارآمدی با همت در این راه تلاش مفیدی را ارائه می دهند و امیداست با جدیت بیشتری این رشته بسیار با ارزش را که می تواند موجب ارتقاء کنترل کیفیت محصولات و در نتیجه رسیدن به اطمینان از تولیدات باشد، رونق بیشتری بخشند.

هدف از نوشتن این کتاب که دستاورد بیش از ۳۰ سال تجربه بوده و با همکاری اکثریت کارشناسان بازرسی فنی مناطق نفتخیز و رهنمودهای ارزشمند دکتر فرزام تهیه گردیده، معرفی پایه و اساس تکنیکهائی از آزمایش های غیرمخرب است که بطور عملی تجربه شده و می تواند مرجعی برای علاقمندان به این رشته تخصصی قرار گیرد.

رضا خودسیانی

آذر ماه ۱۳۸۲

---

---

# آزمونهای غیرمخرب

*Non- Destructive Testing*

کلیات و مقدمه





## آزمایشهای غیرمخرب

### کلیات

#### تعریف :

به انواع روشهایی گفته می شود، که با بهره گیری از آنها می توان علاوه بر تشخیص بعضی از خواص فیزیکی و شیمیایی، ناپیوستگی ها، تغییرات ساختاری درون قطعات و ادوات را بدون نمونه برداری و تخریب، شناسائی و ارزیابی نمود. این نوع آزمایش ها با قابلیت های خاص در اکثر شرایط جغرافیائی و جوی قابل استفاده می باشند .

#### تاریخچه :

سابقه کاربرد آزمایشهای غیرمخرب به گذشته های بسیار دور بر می گردد . در دیرزمانی صنعتگران با روش طنین صوتی ( Acoustic Emission ) و با اصطلاحی چون صدای ناله قلع ( Tin Cry )، واکنش صوتی تنش ها را در قطعات چکش خوار تشخیص می دادند.

اما آن طور که در نوشته ها آمده، اولین آزمایش قابل استناد در زمینه آزمایش های غیرمخرب را می توان به ارشمیدس نسبت داد .

این دانشمندسالها پیش از تاریخ میلادی، با آزمایشی که بعدها پایه گذار قانون جاودانه ای بنام وی شد، توانست بدون نمونه برداری و آسیب رساندن به تاج طلائی پادشاه آنزمان که مشکوک به تقلب در ساخت آن شده بود، کیفیت آنرا ارزیابی نماید .

در دوران جنگ های جهانی اول و دوم همراه با فعال شدن زرادخانه ها و صنایع جانبی آزمایشهای غیر مخرب نیزبه شکل یک نیاز جدی مطرح گردید و به یاری پدیده های شگفت آوری همچون امواج الکترومغناطیس، ارتعاشات و دیگر تئوری های فیزیکی، بسیاری از تکنیکها و روش های پایه ای و اصلی آزمایش غیرمخرب بنا نهاده شدند. اما در کنار عملی شدن مباحث تئوریک و پیشرفت های پیوسته تکنیکهای آزمایش، مهمترین رویدادی که سبب ارتقاء تکنولوژی ساخت دستگاه ها گردید جایگزینی ترانزیستور بجای لامپ های الکترونیکی بود که از دهه ۱۹۶۰ بطور چشمگیری ساخت ابزار و دستگاه های آزمایش را متحول نمود

رقابت تولیدکنندگان در صنایع مختلف، فراگیر شدن استانداردهائی نظیر استاندارد ۵۷۵۰ انگلیس که بعدها در قالب ایزو گنجانده شد و عرضه کالای مرغوب با هزینه های کمتر سبب رشد کیفی آزمایشهای غیرمخرب گردید .

پائین بودن هزینه های آزمایش، عدم تخریب قطعات و ادوات و از همه مهمتر سرعت در نتیجه گیری از مزیت های چشمگیر آزمایشهای غیرمخرب می باشد که با پیشرفت تکنولوژی ساخت دستگاه ها و ابزار آزمایش، ضریب خطا کمتر و دقت در ثبت نتایج بیشتر شده است .

در روند همین تحولات، امروزه شاهد روش دیگری تحت عنوان فرآیند ارزیابی های غیرمخرب ( Non-Destructive Evaluation ) هستیم که از مرز عیب یابی فراتررفته و عیوب را نسبت به شرایط بازدهی هر محصول مورد بررسی و ارزیابی قرار می دهد . در این روش یک نقص و یا ناپیوستگی بدون مقایسه با استاندارد خاصی و در اندازه ای هر چند کوچک مورد بحث و تحقیق<sup>۱</sup> قرار می گیرد و مرز تحمل پذیری آن برای مقابله با تنش های زمان کار بررسی می گردد .

## بررسی ویژگیهای اجرایی

### ۱ - مسؤولیت پذیری

اگرچه مکانیزم اجرایی آزمایش های غیرمخرب، فن و هنری سهل و آسان جلوه می نماید و شاید سادگی ظاهری بعضی از آزمایشها نیز چنین مصداقی را نشان دهد، اما واقعیت امر چنین نیست و هیچگاه نمی توان بدون داشتن مهارت، تجربه و دانش کافی مسؤولیت انجام آزمایشی را پذیرفت .

بدون تردید قبول مسؤولیت، مهمترین بخش قابل تعمق برای هر آزمایش به شمار می آید که عمده این مسؤولیت به تفسیر و ارزیابی نتایج آزمایش مربوط می شود. از طرفی به دلیل ویژگی های خاصی که در اکثر آزمایشهای غیرمخرب وجود دارد، تفسیر نتایج و تصمیم گیری نهائی مستقل از تفسیر جمعی بوده و بیشتر متکی به تفکر و مهارت فردی در لحظه آزمایش می باشد .

۱- Fitness for Purpose Assessment

## ۲ - انتخاب روش

یکی از عوامل بسیار مهم در اجرای هرآزمایش، انتخاب روش و تکنیک مناسب است. انتخاب نادرست پارامترهای آزمایش ممکن است یک قطعه سالم را معیوب و یا قطعه معیوب را سالم نشان دهد. برای اجرای هر آزمایش، بخصوص درکارهای پیوسته، بایستی روش آزمایش بصورت مکتوب تهیه و در اختیار مجری آزمایش قرار گیرد.

بعلاوه برای حصول تجربه و نتیجه گیری بهتر، می توان به کمک برش نمونه هائی از قطعات آزمایش شده و مشاهده عینی مقطع عیوب، تفسیرنتایج را مورد نقد و بررسی قرار داد.

## ۳ - شرایط کار

از نکات دیگری که برکیفیت آزمایش تأثیر می گذارد شرایط کار و خستگی آزمایشگر است. به عنوان مثال به یک نمونه بررسی شده در یک کارخانه تولیدی اشاره می شود.

قطعات مشابهی با روش ذرات مغناطیسی آزمایش می گردید و وجود ترک های ریز در قطعات گزارش می شد. پس از مطالعه گزارش ها توسط مسئول کنترل کیفیت یک نکته مهم جلب توجه نمود، قطعات در ساعات اولیه بازرسی دارای عیوب بیشتری بود و در ساعات پایانی بتدریج بعلت خستگی و بی حوصلگی آزمایشگر، از کمیت عیوب کاسته می شد. با تغییری که در شرایط کار داده شد، نتایج بهتری گرفته شد.

بنابراین با توجه به اینکه، انجام آزمایش های غیرمخرب با خستگی جسمی و فکری پیوسته ای همراه می باشد، باید مجموعه شرایطی که در اجرای آزمایش تأثیر می گذارند بدرستی انتخاب گردند.

## ۴ - تجهیزات آزمایش

آنچه مسلم است، اساس اصلی آزمایشهای غیرمخرب برپایه قوانین فیزیک بنا شده و این قوانین بدون تغییر خواهند بود. اما تجهیزات مدرن و پیشرفته بر فرآیند اجرائی آزمایش و تفسیر نتایج تأثیر می گذارند و طبیعی است که دستگاه های مدرن تر قابلیت های بیشتری داشته و ضمن کارائی بالاتر، تفسیر نتایج را آسان تر می سازند.

## انواع روشهای آزمایش

انواع روش هایی که با عنوان آزمایشهای غیرمخرب شناخته می شوند، در شانزده فرایند زیر خلاصه می گردند :

Visual Inspection  
 Ultrasonic Inspection  
 Radiographic Inspection  
 Magnetic Particles Inspection  
 Liquid Penetrant Testing  
 Eddy Current Inspection  
 Leak testing  
 Acoustic Emission Inspection  
 Thermal Inspection  
 Dynamic Testing  
 Microwave Inspection  
 Optical Holography  
 Acoustical Holography  
 Hardness Testing  
 Laser Inspection  
 Acoustic Microscopy

اما با توجه به اینکه بسیاری از آزمایشهای ذکر شده کاربرد آزمایشگاهی دارند و بعضاً از ابزار مرکب و پیچیده ای برخوردارند، لذا در این کتاب فقط فرایندهای متداول و مهم آزمایش های غیر مخرب که کاربرد فراگیرتری دارند، مورد بحث قرار می گیرند . البته در پایان کتاب، شرح مختصری از روشهای فوق نیز داده خواهد شد . تکنیک ها و روش های اساسی و فراگیر آزمایش های غیر مخرب شامل شش فرایند زیر می گردد :

<i>VISUAL INSPECTION</i>	۱ - بازرسی عینی
<i>ULTRASONIC TESTING</i>	۲ - آزمایش آلتراسونیک
<i>INDUSTRIAL RADIOGRAPHY</i>	۳ - پرتونگاری صنعتی
<i>MAGNETIC PARTICLES TESTING</i>	۴ - آزمایش ذرات مغناطیسی
<i>PENETRANT TESTING</i>	۵ - آزمایش مواد نفوذی
<i>EDDY CURRENT TESTING</i>	۶ - آزمایش جریان گردابی

---

---

# آزمونهای غیرمخرب

*NON-DESTRUCTIVE TESTING*

## فصل اول

### بازرسی عینی

*VISUAL INSPECTION*

---

---

## بخش یک

### بازرسی عینی ( Visual Inspection )

#### مقدمه :

ارزیابی شرایط ظاهری سطوح قابل رویت قطعات، بوسیله چشم عادی و یا چشم مسلح را بازرسی عینی می‌گویند، در روش های بازرسی عینی ممکن است از ابزار کمکی مانند آینه، لنز، ابزار اندازه گیری، انداسکوپ و هرنوع ابزاری که شرایط درست و دقیق دیدن را مهیا سازند، استفاده شود.

بازرسی عینی از طریق نظارت بر تولید و ساخت از جنبه های متفاوتی نقش اساسی و با ارزشی را در مقوله کنترل کیفیت ایفا می‌کند. با نظارت مستمر بر مراحل تولید، تعمیر و محصول تولیدی، از بروز مشکلات و عوامل بازدارنده تولید پیش گیری شده و هزینه های بازرسی های جانبی کمتر خواهد شد.

بسیاری از عیوب نظیر ترک های سطحی، منفذها و عیوب سطحی دیگر با این روش قابل تشخیص می باشند و بطور یقین بازرسی عینی را می توان پیش نیاز اصلی سایر آزمایش های غیرمخرب دانست. بعنوان مثال برای تفسیر یک فیلم پرتونگاره ( از یک اتصال جوش )، کسب اطلاعاتی مانند برجستگی، فرورفتگی، سوختگی کنارجوش، تراز بودن دو طرف اتصال و بطور کلی شکل ظاهری جوش از طریق بازرسی عینی، کمک موثری به مفسر خواهد نمود تا با درک بهتر، ناهمگنی های درونی را از عیوب ظاهری متمایز نماید.

بازرسی عینی نیز مانند دیگر فرایندهای بازرسی مستلزم داشتن دانش و تفکر فنی می باشد و فنون علمی آن باید مورد مطالعه و تجربه قرار گرفته باشند. شناخت مواد و فرایندهای تولید، توانائی مطالعه و بررسی مشخصات فنی، تفسیر استاندارد ها، شناخت آزمایش های غیرمخرب و همچنین شیوه های بکارگیری ابزار بازرسی عینی از نکاتی است که جایگاه بازرسی عینی را استحکام می بخشند.

## مراحل بازرسی عینی

بازرسی از هر موضوعی ممکن است در مراحل متفاوتی انجام گیرد. در کارخانجات تولیدی و کارگاه های مونتاژ، بازرسی می تواند در سه مرحله زیر انجام شود:

(۱) - قبل از ساخت (۲) - حین ساخت (۳) - پس از ساخت

اما در بازرسی های دوره ای و تعمیراتی، نوع بازرسی تفاوت خواهد داشت و بازرس در جستجوی پدیده های ناشی از تنشهای حین کار، خوردگی های سطحی، تغییرات فیزیکی و اثرات ناشی از دوره کارکرد خواهد بود.

آنچه مسلم است، اگر بازرسی عینی در هر مرحله بدرستی و با دقت لازم صورت گیرد، بسیاری از عیوب و اشکالات قابل پیش گیری بوده و هزینه های تکرار بازرسی و تعمیر کاهش خواهند یافت. در پروژه هایی که اتصالات بوسیله جوشکاری انجام می شود، عدم توجه به کیفیت در جهت تسریع در انجام کار، سبب نادیده ماندن بسیاری از فاکتورها و عوامل مهم خواهد گردید. جوشکار ممکن است پیشگرمی الکترو، پیشگرمی اتصال، درجه حرارت بین پاسها، تغییرات آمپر، ولتاژ و سایر پارامترهای مهندسی جوش را نداند و یا رعایت نکند و چنانچه نظارت مستمر بر کلیه مراحل اجرای جوشکاری نباشد، دانش و تفکر مهندسی جوش کمرنگ شده و نتایج زیر حاصل می گردند:

- ۱ - عیوب بیشتری بوجود می آیند و هزینه آزمایش های بعدی افزایش می یابد
- ۲ - تعداد دفعات تعمیرات بیشتر و در نتیجه هزینه تعمیرات افزایش می یابد.
- ۳ - با تکرار عملیات حرارتی به علت تعمیر های مکرر، از کیفیت محصول کاسته می شود.
- ۴ - در نتیجه بجا ماندن عیوب پنهانی و تنش های پس ماند، توانائی مکانیکی پیش بینی شده کاهش خواهد یافت.

در مقابل، اگر برای تولید یک محصول کلیه قواعد اصولی به کمک نظارت و کنترل پیوسته رعایت گردند، فقط عیوبی شکل می گیرند که کاملاً احتمالاً بوده و با هزینه کمتری تعمیر و رفع می شوند. بنابراین توجه به بازرسی مستمر خصوصاً از طریق بازرسی عینی، مناسبترین شیوه برای کاهش هزینه تعمیر و افزایش کیفیت خواهد بود.

## پیش نیاز های بازرسی عینی

اگر چه اصول بازرسی عینی بیشتر متکی به دانش فنی، مهارت و تجربه بازرسی می باشد، اما در هر حال مستقل از شرایط فیزیکی بازرسی و عوامل تأثیرگذار خارجی نخواهد بود. میزان روشنایی، قدرت دید بازرسی و قابل دسترس بودن سطوح برای بازرسی از عواملی هستند که به توانایی فیزیکی بازرسی و شرایط بازرسی بستگی دارند .

برای انجام یک کار بازرسی مطلوب و قابل قبول ، لازم است تا عوامل اصلی و مؤثر، بعنوان پیش نیاز های بازرسی عینی بدرستی شناخته شده و مورد توجه قرار گیرند .

## عوامل تأثیر گذار

### ۱ - روشنایی و دقت دید

همانطور که از مفهوم واژه بازرسی عینی مشخص است نگاه کردن به ظواهر هر قطعه مهمترین فاکتور بازرسی عینی بشمار می آید و بطور مسلم برای مشاهده و بازرسی از هر موضوع ، به نور و روشنایی کافی نیاز خواهد بود .

اگر چه ، چشم انسان نسبت به طول موج رنگ ها و روشنایی، حساسیت متفاوتی نشان می دهد، اما تجربه نشان داده که چشم عادی انسان ، نسبت به ترکیب نور زرد-سبز که طول موج آن ۵۵۰۰ آنگستروم<sup>(۱)</sup> است ، حساس تر می باشد .

بطور اصولی ، توانایی دید سالم ( حد اقل یک چشم ) در نور مناسب ، باید در حدی باشد که بازرسی بطور عادی، با عینک طبی و یا بدون آن، حروف استاندارد زیر را از فاصله حداقل ۳۰ سانتی متری بوضوح تشخیص دهد .

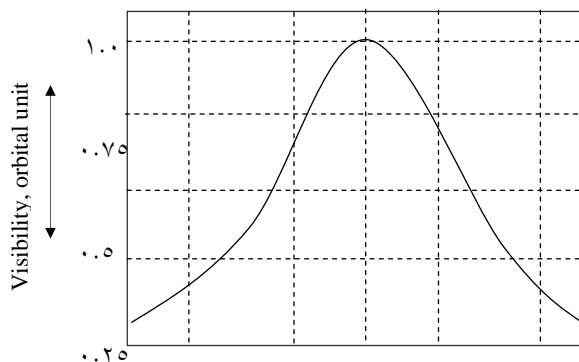
دو نمونه از حروف استاندارد که برای سنجش و کنترل دیدبکار می روندو مورد تأیید استانداردهای بازرسی می باشند عبارتند از :

Times Roman Numbers - ۱

Jaeger Numbers - ۲

۱- Angstrom =  $10^{-10}$  m =  $10^{-8}$  cm





بطوریکه در نمودار ۱-۱ ملاحظه می شود، محدوده روشنایی با طول موجی بین پنج تا شش هزار آنگستروم برای دید انسان مناسب می باشد .  
 اصولاً با طول موج های بین ۵ تا ۶ هزار آنگستروم، ۷۵٪ واحد نور دید تأمین می گردد و شرایط نور کمتر از ۷۵٪ برای بازرسی عینی توصیه نمی شود . یکی از روش های تعیین نور و روشنایی قابل بازرسی، رسم خط الگوی دید می باشد .

#### رسم خط الگوی دید

در صورت لزوم می توان با رسم یک خط راست، به عرض ۸/ میلی متر، روی کاغذ و یا مقوایی با زمینه ۱۸٪ رنگ خاکستری ، مرجعی برای میزان دید و روشنایی تهیه نمود . الگوی رسم شده، در کنار ناحیه مورد بازرسی قرار داده می شود، چنانچه بازرسی بتواند از فاصله حدود ۳۰ سانتی متری خط رسم شده را بوضوح ببیند، توانایی دید بازرسی و نور موجود برای بازرسی کافی خواهد بود.

#### ۲ - تجربه و دانش بازرسی

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، بازرسی عینی پایه و اساس کنترل کیفیت و پیش نیاز سایر آزمایشهای غیرمخرب محسوب می شود . در موارد متعددی مشاهده شده که انجام یک بازرسی فنی و دقیق از مجموعه ای از آزمایشهای مخرب و غیرمخرب نتیجه بخش تر بوده و بالعکس یک بازرسی نادرست نتایج سایر آزمایش ها را نیز مخدوش کرده است.

بنابراین هر بازرس با توجه به درجه مسؤولیتی که دارد، باید از دانش و تجربه لازم در زمینه حرفه خود برخوردار باشد. توانائی مطالعه مشخصات فنی، درک اهداف بازرسی و مفاهیم عیوب و شناخت مواد مهندسی از ارکان اصلی این رشته تخصصی به شمار می آیند.

بطور مسلم، گذراندن دوره های آموزشی کلاسیک در سازمان های معتبر، مطالعه استانداردها و کتب فنی، همچنین کسب تجربه و مهارت در کنار متخصصین، مناسبترین شیوه برای رسیدن به درجه مطلوب بازرسی عینی است. اما این امر زمانی تکامل می یابد که بازرس علاوه بر آشنائی با مفاهیم فنی بازرسی، اساس و پایه آزمایشهای غیرمخرب و روش های تفسیر عیوب را بخوبی فرا گرفته باشد.

با نگاهی به مجموعه صنایع تولیدی می بینیم که جوشکاری مهمترین بخش را در ساخت و تولید ایفا می کند و وقتی به مقوله جوشکاری بپردازیم، نقش بازرسی جوش بسیار مهم جلوه خواهد نمود. امروزه در صنایع پیشرفته و متکی به استاندارد، بازرسین جوش در چند درجه مختلف تخصصی و متناسب با درجه اهمیت کار طبقه بندی می شوند.

بطور کلی یک بازرس فنی، برای ورود به حرفه تخصصی و پر مسؤولیت بازرسی جوش، ملزم به گذراندن دوره های آموزشی و تخصصی، اخذ مدرک و گواهی مهارت از یک موسسه آموزشی معتبر است.

### ۳ - دستگاه ها و ابزار بازرسی عینی

اگر چه در بعضی از استانداردها استفاده از ابزار کمکی، جدا از حرفه بازرسی عینی و بصورت مجزا تعریف شده است. اما از آنجائیکه ابزار کمکی مانند، بوراسکوپ ها، آینه ها، لنزها و ابزار اندازه گیری، صرفاً شرایط دیدن و نتیجه گیری را مهیا می سازند، لذا کار برد آنها در قالب بازرسی عینی نیز قابل تعریف خواهد بود. به همین جهت لازم دیده شد، تا بعضی از ابزار مهمی که کاربرد آنها در قالب بازرسی عینی اجتناب ناپذیر است، در بخشهای دو و سه بطور خلاصه معرفی گردند.

## بخش ۲

### انداسکوپي ( Endoscopy )

همانطور که در مقدمه ذکر شد، بعضی از منابع نظیر<sup>۱</sup> P.F.I، مفهوم بازرسی عینی را در مشاهده مستقیم و بدون ابزار کمکی تعریف نموده اند اما آنچه در بحث های بازرسی عینی مطرح می باشد، دستیابی به روشهایی است که نقاط غیرقابل دسترس درون ادوات را برای مشاهده عینی میسر سازند و بطور عملی در گذشته نیز استفاده از آینه های معمولی، تلسکوپي و لنزدار معمول بوده است.

امروزه با پیشرفت تکنولوژی شرایطی فراهم شده تا بازرسی غیرمستقیم و قابل اطمینان از سطوح غیرقابل دسترس در حد مطلوب انجام گیرد و می توان استفاده از انداسکوپي را در قالب و جایگاه بازرسی عینی نیز تعریف نمود.

دستگاه های انداسکوپي که بیشتر با نام بوراسکوپ شناخته می شوند، برای بازرسی و مشاهده عینی سطوح داخلی استوانه ها، مخازن کوچک، توربین ها و ادواتی که بطور مستقیم قابل رؤیت و یا دسترسی نیستند بکار می روند. این نوع ابزار، نمای سطوح مورد نظر را از طریق یک لوله هدایت کننده تصویر برای دیدن مهیا می سازند.

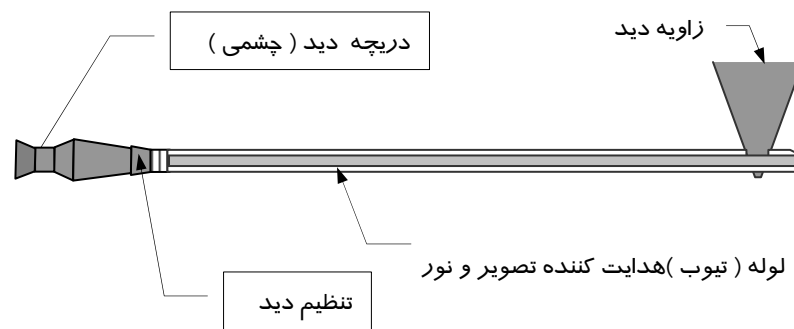
بوراسکوپ های اولیه بیشتر در امور پزشکی و خصوصاً کالبد شکافی بکار گرفته می شد و عموماً بدلیل مشکلات تکنیکی در شیوه انتقال نور و دریافت تصویر، با طول کم و قطر زیاد عرضه می گردید. با پیشرفت در زمینه ساخت لنز های قویتر و ورود پدیده فیبرنوری تحولی شگرف در ساخت دستگاه ها روی داد و امکان طراحی و ساخت دستگاه های انداسکوپي طویل تر و انعطاف پذیر فراهم گردید.

در مراحل اولیه از انداسکوپي صنعتی فقط برای بازرسی سوراخ و حفره ( Bore ) استفاده می گردید و به همین جهت نیز از ابتدا، این نوع دستگاه ها به بوراسکوپ ( Borescope ) یا حفره نما شهرت یافت.

انواع بوراسکوپ ها :

## بوراسکوپ ساده ( Basic Design )

طرح اولیه و ساده بوراسکوپ شامل یک لوله مستقیم و یا خرطومی بطول حداکثر یک متر، تعداد محدودی لنز تقویت کننده و چند آینه بود. در این نوع بوراسکوپ ها روشنایی محل دید از طریق یک لامپ هالوژنی، تعبیه شده در جلوی بوراسکوپ و با انرژی باتری تأمین می گردید ( شکل ۲-۱ ). امروزه علی رغم پیشرفت تکنولوژی ساخت بوراسکوپ ها ، کماکان از این نوع بوراسکوپ برای بازرسی های عادی استفاده می شود .



از بوراسکوپ های ساده بیشتر برای بازبینی و مشاهده وضعیت کلی درون ادوات استفاده می گردد و بندرت ممکن است برای بازرسی دقیق و تشخیص عیوب سطحی مانند خوردگی بکار گرفته شوند .

**بوراسکوپ های ریز ( Mini Borescope )**

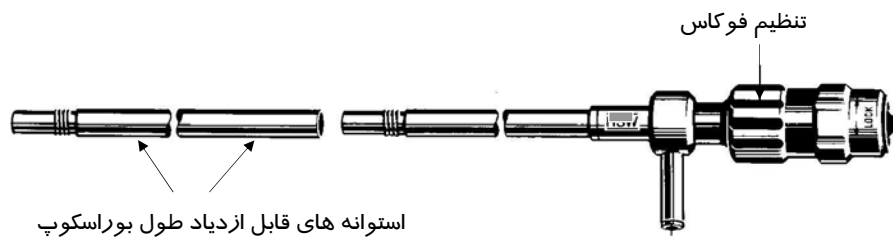
در بوراسکوپ های ریز بجای لنز های معمولی از یک میله تقویت کننده راست ( Rigid ) مجهز به فیبرکوارتز استفاده شده است . این نوع بوراسکوپ، با قطری بین ۰/۵ تا ۲/۵ میلی متر و حداکثر طول ۵۰۰ میلی متر طراحی و ساخته می شود . فاصله کانونی کوتاهی دارد و بدون نیاز به تنظیم فوکاس ، می تواند میدان دید را تا ۳۰ برابر بزرگ نماید .  
روشنائی مورد نیاز برای این نوع بوراسکوپ ها، بطور جداگانه، از طریق هدایت نور از یک منبع تغذیه تأمین می گردد. در شکل ۲-۵ یک نمونه بوراسکوپ کوچک اما با قطر بیشتر دیده می شود .

**بوراسکوپ های متغیر طولی ( Extendable Borescopes )**

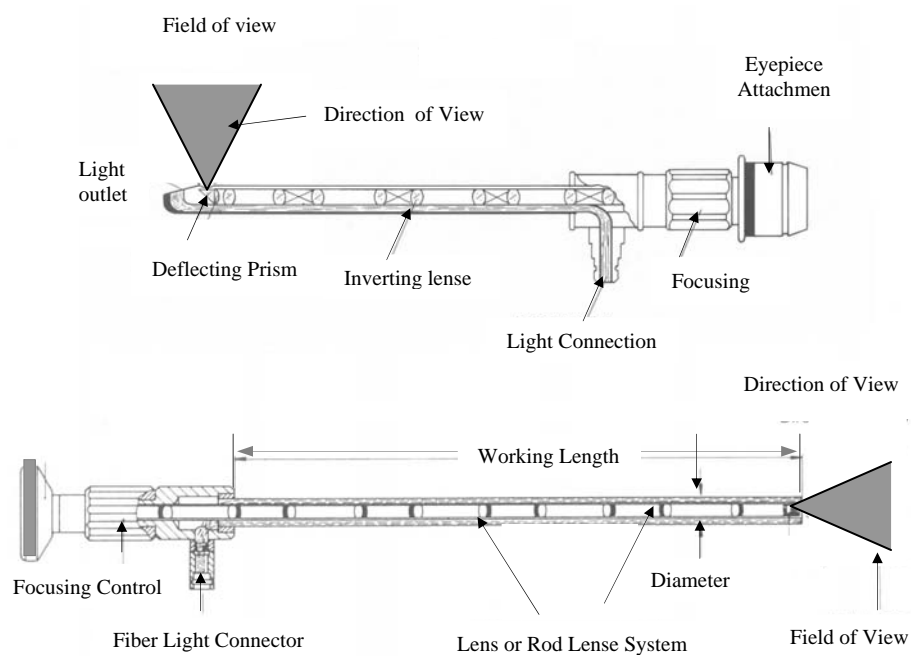
طول این نوع بوراسکوپ ، بوسیله لوله های کمکی (یدک ) قابل ازدیاد می باشد . روشنائی و نور ممکن است بوسیله فیبرنوری برای حداکثر طول ۸ متر و یا بوسیله لامپ هالوژنه و نورافکن کمکی برای حداکثر ۳۰ متر تأمین گردد .  
بوراسکوپ های متغیر طولی ( شکل ۲-۲ ) معمولاً با قطری بین ۴ تا ۱۵ میلی متر ساخته می شوند . زاویه دید برای کلاهک های مستقیم بین ۴۵ تا ۱۱۰ درجه و برای کلاهک های جانبی بین ۴۵ تا ۱۱۰ درجه قابل تنظیم می باشد .

**بوراسکوپ های تلسکوپیی ( Telescope Borescopes )**

در این نوع بوراسکوپ ها، میدان دید و روشنائی بوسیله ترکیب لنزهای میله ای و محدب تقویت می شود . این نوع بوراسکوپ ها، که به نوع تلسکوپیی موسومند، تصویر را با وضوح و تباین بسیار خوبی نشان می دهند .  
بوراسکوپ های تلسکوپیی با طول حداکثر ۹۹۰ میلی متر و قطری بین ۵/۵ تا ۱۲ میلی متر ساخته می شوند. قابل تنظیم بودن لنز ها و چرخش ۳۶۰ درجه ای کلاهک های مستقیم و جانبی از مزیت های این نوع بوراسکوپ ها محسوب می گردد ( شکل ۲-۳ ) .



شکل ۲-۲، بورتاسکوپ متغیر طولی



شکل ۲-۳

## بور اسکوپ های تابش همه جانبه ( پانورامیک )

( Panoramic Borescope )

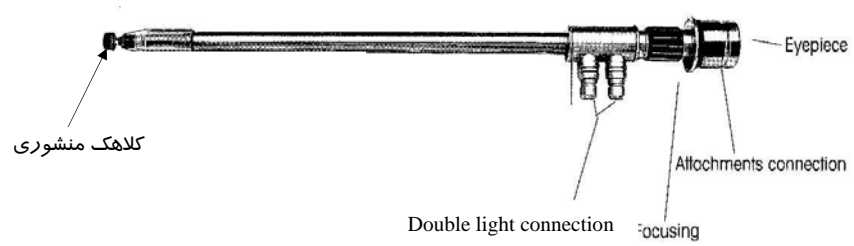
در بعضی از ادوات حجیم بعلت گستردگی و وسعت سطوح درون آنها ، بازرسی بوسیله بوراسکوپ های معمولی وقت گیر می باشد و احتمال دارد با حرکت دورانی کلاهک، موقعیت و موضع نقطه بازرسی شده بطور دقیق مشخص نگردد . برای چنین شرایطی از بوراسکوپ های پانورامیک ( تابش همه جانبه ) استفاده می گردد . کلاهک منشوری این نوع بوراسکوپ با وسعت دید ۳۶۰ درجه ای و زاویه گسترش متغیر، می تواند تمام سطوح داخل یک محفظه را قابل رؤیت سازد . بعضی از بوراسکوپ های پانورامیک مجهز به چندین لنز و آینه تقویت کننده می باشند، بطوریکه می توان از فاصله ۹۰ سانتی متری سطوح داخل ادوات را بازرسی نمود . در شکل ۴-۲ ، یک نمونه بوراسکوپ پانورامیک با کلاهک منشوری دیده می شود که برای بازرسی درون ادوات حجیم مانند مخازن بکار می رود .

## تأمین نور و روشنائی بوراسکوپ ها

یکی از مهمترین عوامل در بازرسی انداسکوپیی درون ادوات ، تامین نور و روشنائی در حد مطلوب است . هر چه شدت نور بیشتر گردد، دقت دید بیشتر خواهد شد. اما شدت نور زیاد ممکن است سبب ذوب قسمت هائی از بوراسکوپ گردد، به همین جهت برای بازرسی از ادوات حجیم از نورافکن یدکی استفاده می شود .

بطور کلی تامین نور و روشنائی بوراسکوپ ها به چند روش زیر انجام می گیرد :

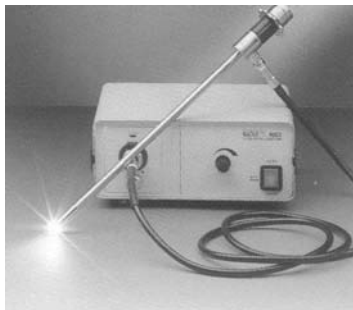
- ۱ - استفاده از حباب گازی هالوژنه در کلاهک جلوی بوراسکوپ .
- ۲ - انتقال نور از طریق فیبر های نوری و منبع تغذیه ( شکل ۵-۲ و ۶-۲ ) .
- ۳ - ترکیبی از آینه ، حباب گازی و منبع تغذیه با سیستم فیبر نوری .



شکل ۲-۴. بوراسکوپ پانورامیک



شکل ۲-۵. یک نمونه بوراسکوپ قائم از نوع کوچک



شکل ۲-۶



## بوراسکوپ های انعطاف پذیر

( Flexible Bore-Scopes )

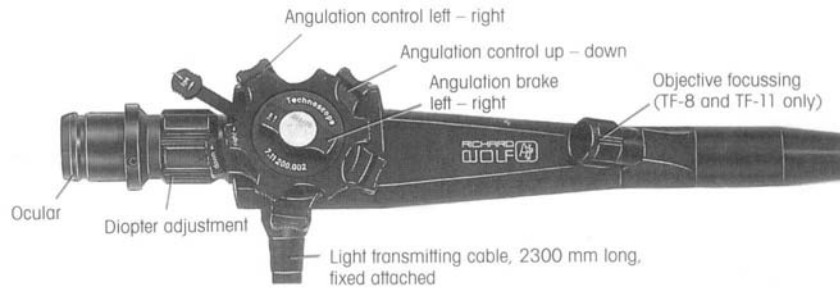
با گسترش تکنولوژی فیبرهای نوری امکان طراحی و ساخت بوراسکوپ های انعطاف پذیر، با قطر کمتر، طول بیشتر و قابل شکل پذیری فراهم گردید. این نوع بوراسکوپ ها، با قطری بین ۱/۴ تا ۱۳ میلی متر و طولی حدود ۱۲ متر ساخته می شوند

البته نوع مخصوصی از بوراسکوپ های انعطاف پذیر مجهز به فیبرنوری کوارتز ( Quartz ) به طول بیش از ۳۰ متر نیز طراحی و ساخته شده است.

## ویژگی ها :

- ۱ - در سمت جلوی هر بوراسکوپ انعطاف پذیر یک لوله خرطومی نصب شده است که از سیستم کنترل بوراسکوپ فرمان می گیرد و در زمان بازرسی به اختیار در جهات مختلف و مورد نظر چرخانده می شود.
- ۲ - هر کلاهک جلوی لوله خرطومی، مجهز به لنزهای تقویت کننده نور و دید می باشد که تعویض آن به آسانی انجام می گیرد.
- ۳ - کلاهک های قابل تعویض، بصورت تابش مستقیم و جانبی با زوایای بین ۱۰ تا ۱۲۰ درجه طراحی می شوند که انتخاب زاویه و جهت تابش، به نوع بازرسی بستگی خواهد داشت. آنچه مسلم است با زاویه بازتر، شعاع دید بیشتر و با زاویه بسته تر، تمرکز نور و دید بیشتر می گردد.
- ۴ - روشنایی بوراسکوپ ها از طریق انتقال نور از یک منبع تغذیه و بوسیله فیبر های نوری انجام می گیرد و حداکثر نور ممکن در نوک کلاهک قابل انتشار خواهد بود.
- ۵ - بوراسکوپ های انعطاف پذیر قابل تجهیز با امکاناتی نظیر گیره، انبر، ابزار اندازه گیری و همچنین وسیله علامت گذاری ( Marker ) می باشند.

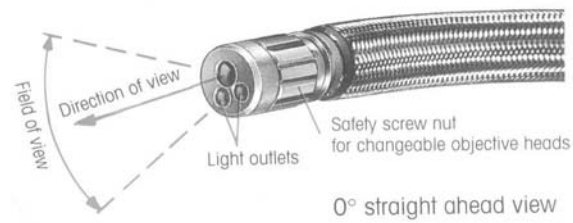
در شکل ۶-۲، یک دستگاه بوراسکوپ انعطاف پذیر مجهز به سیستم های تنظیم کلاهک مشاهده می شود. کلاهک های مستقیم و یا جانبی به کمک یک لوله خرطومی در هر چهار جهت قابل چرخش می باشند.



شکل ۶-۲، الف سیستم کنترل بوراسکوپ



کلاهک تابش جانبی



0° straight ahead view

کلاهک تابش مستقیم

شکل ۶-۲ - ب، کلاهک های جانبی و مستقیم

### ویدیو اسکوپ ها ( Video - Scopes )

تجربه نشان داده است که کار مداوم با بوراسکوپ ها، برای بازرسی های طولانی، موجب خستگی چشم شده و دقت بازرسی کاهش می یابد. از طرفی در مواردی، تفسیر آنچه با بوراسکوپ دیده می شود، به لحاظ تخصصی نیاز به مشاوره و نظرات کارشناسی دارد.

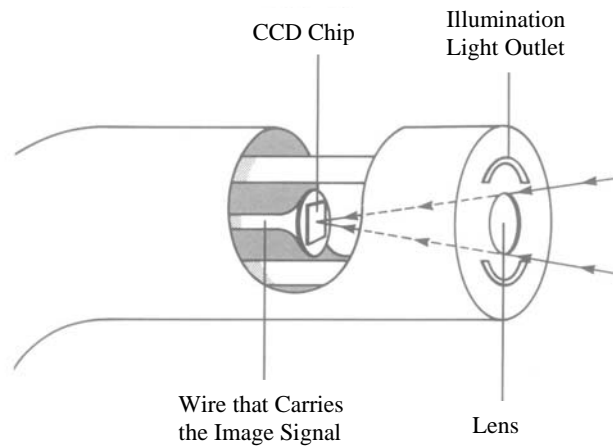
برای این منظور از ویدیواسکوپ استفاده می گردد که ضمن مهیا شدن شرایط مشاهده جمعی، امکان ضبط تصویر متباین و بسیار واضح برای مشاهدات بعدی و نظرات تخصصی فراهم خواهد شد. با بکار گیری نیمه هادی های سیلیکونی در قالب پدیده ای موسوم به C.C.D<sup>۱</sup>، این امکان فراهم شده تا بوسیله دوربین تصویر برداری ویژه ای، از طریق تبدیل تصویر به علائم الکتریکی و بالعکس، نمای سطوح مورد بازرسی بطور شفاف و واضح در یک صفحه نمایش دیده شود. یک دوربین تصویر ساز سی سی دی، از هزاران اجزاء حساس نوری تشکیل شده که در یک مجموعه منظمی از ستون های افقی و عمودی عمل ذخیره سازی و تبدیل سیگنال های الکتریکی به تصویر را انجام می دهند.

در این نوع دوربین ها، نمای قابل رؤیت توسط لنزها ی مخصوص به سمت ورقه نازک سیلیکونی هدایت شده و پس از تبدیل نور به الکترون و بروز پدیده فتو الکتریک تصویر با ماهیت الکترونی در هر جزء نیم هادی ذخیره و تقویت می شود. حاصل کار تشکیل ولتاژی متناسب با تعداد الکترون های فعالی است که موجب شکل گیری تصویر در مونیتر ویدیویی خواهد شد ( شکل ۷-۲ ).

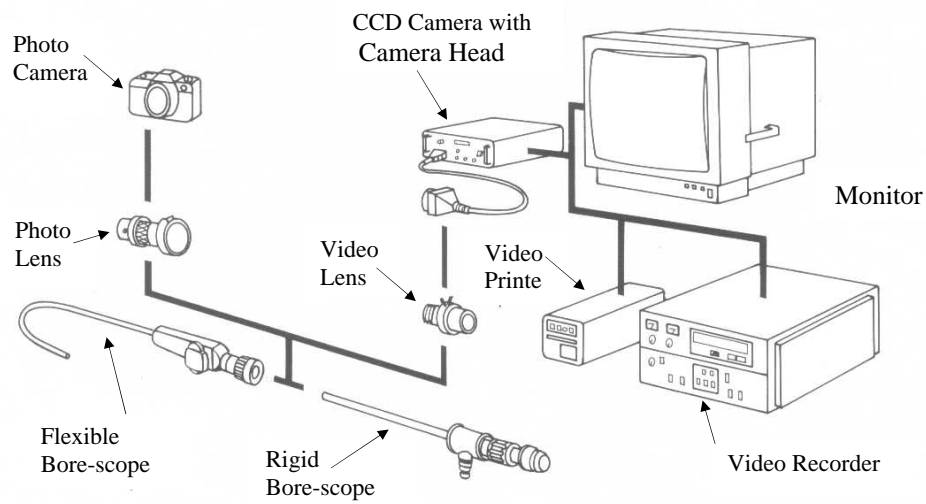
#### اجزاء اصلی دوربین سی سی دی :

- ۱ - صفحه تصویر ساز
  - ۲ - لنز های تقویت کننده
  - ۳ - سیستم مدار های الکترونیکی
- در شکل ۸-۲، مدار کامل یک دستگاه ویدیواسکوپ مشاهده می گردد.

۱ - C.C.D ( Charged Coupled Devices)



شکل ۷-۲ ، نمای داخلی یک دوربین C.C.D



شکل ۸-۲ ، یک مدار کامل انداسکویی با سیستم C.C.D

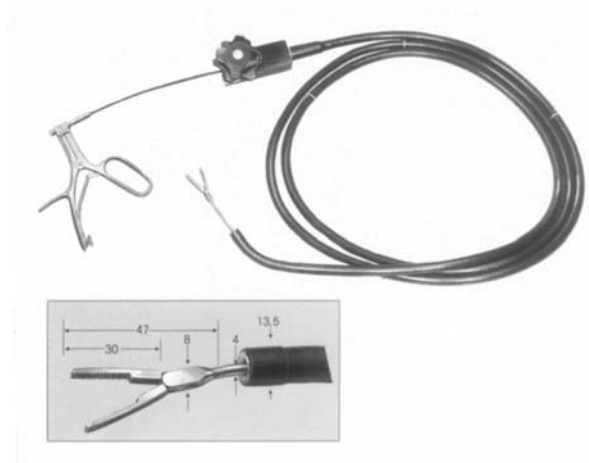
## ویژگیهای ویدیواسکوپ ها

- با این دستگاه ها ، چشم بازرس خسته نمی شود و خطای دید بسیار کمتر خواهد بود .
- برای ساخت بوراسکوپ های طویل محدودیت کمتری وجود دارد .
- ماهیت الکترونی تصویر قابل دیجیتالی شدن است .
- تصاویر ذخیره شده بصورت مستند برای مشاهدات بعدی قابل دسترسی می باشند.
- دستگا ها برای اندازه گیری ابعادی ، مشخص نمودن علائم روی تصویر، نمونه برداری و ارسال پروب های جریان گردابی قابل طراحی می باشند .

در شکل ۹-۲ ، یکی از انواع ویدیو اسکوپ های پیشرفته مشاهده می گردد که کلیه ملحقات بازرسی با بوراسکوپ قابل انعطاف، مونیتور تصویربرداری و سیستم حافظه در یک مجموعه قرار دارند .

شکل ۹-۲





شکل ۲-۱۰

در شکل ۲-۱۰، یک نمونه گیره مخصوص ( انبر ) ، قابل اتصال به سیستم های انداسکوپي و ویدیواسکوپ ها دیده می شود که برای خارج نمودن قطعات زائد و یا نمونه برداری از آن استفاده می گردد.



شکل ۲-۱۱

در شکل ۲-۱۱، یک نمونه بوراسکوپ با دو سیستم قائم و انعطاف پذیر دیده می شود که بدون تغییر فیبر نوری به اختیار بوسیله یکی از سیستم ها بازرسی انجام می گیرد .

## وسایل و ابزار اندازه گیری

اصولاً اندازه گیری ابعادی قطعات و اجزاء ساختمانی هر محصول تولیدی، مقوله ای مستقل از کار بازرسی عینی بوده و حرفه ای کاملاً تخصصی محسوب می گردد. اما استفاده از ابزار و وسایلی مانند عمق سنج، زاویه سنج و نظایر آن برای اندازه گیری ابعاد، موقعیت عیوب و پارامترهای هندسی جوش در زمان بازرسی عینی امری اجتناب ناپذیر می باشد. لذا در این بخش سعی شده است تا با شرحی مختصر، بعضی از ابزار مهم اندازه گیری پارامترهای جوش معرفی گردند. معمولاً وسایل و ابزار اندازه گیری بر اساس استانداردهای مشخصی طراحی و ساخته شده و در اکثر استانداردها نیز با عناوین مشابهی نام برده می شوند.

### اندازه گیری پارامترهای جوش

بازرسی عینی و کنترل ابعادی پارامترهای جوش و تعیین اندازه عیوب ظاهری جوش ها درسه مرحله زیر انجام می گیرد:

#### ۱ - قبل از شروع جوشکاری

پارامترهای قابل اندازه گیری قبل از جوشکاری شامل ضخامت دو طرف اتصال، اختلاف سطح بین طرفین اتصال، فاصله بین لبه های ریشه اتصال، زاویه طراحی شده، عرض لبه های هر اتصال می باشد.

## ۲ - زمان اجرای جوشکاری

پارامترهای قابل اندازه گیری در زمان اجرای جوشکاری شامل درجه حرارت پیش گرمی قبل از شروع جوشکاری، درجه حرارت بین پاس ها، زمان توقف بین پاس ها، ولتاژ، آمپر و سرعت جوشکاری می باشد.

## ۳ - پس از اتمام جوشکاری

پارامترهای قابل اندازه گیری پس از خاتمه شامل اندازه گیری ارتفاع برجستگی (گرده) جوش، میزان مقعر و محدب بودن جوش، اختلاف سطح بین دو طرف اتصال، عمق عیوب سطحی و سایر عیوب قابل رویت می باشد.

## انواع ابزار و وسایل اندازه گیری

اگرچه بسیاری از ابزار اندازه گیری برای چند هدف متفاوت ساخته می شوند، اما در این بخش سعی می شود تا از عنوان رایج و کاربردی هر وسیله نام برده شود.

### ۱ - اختلاف سنج ( Internal / External High - Low )

این وسیله برای اندازه گیری حد تراز بودن و اختلاف سطح داخلی و خارجی بین دو لبه اتصال بکار می رود. معمولاً اختلاف سطح بین دو لبه به دلایلی نظیر یکسان نبودن قطر، ضخامت و یا تراز نبودن دو طرف اتصال بوجود می آید ( شکل ۱-۳ ).

### ۲ - زاویه سنج ( Bevel Gauge )

این وسیله برای اندازه گیری زاویه و پخ لبه های اتصال، قبل از عملیات جوشکاری کار برد دارد. در شکل ۲-۳ دونمونه زاویه سنج مشاهده می گردد.



## ۳ - فاصله سنج ( Taper Gauge )

از این وسیله برای اندازه گیری فاصله بین دو لبه و یا دو سطح مجاور هم استفاده می شود. مهمترین کاربرد آن برای اندازه گیری فاصله بین ریشه اتصالات جوش های لب به لب می باشد ( شکل ۳-۳ ). البته از فیلر های معمولی ( Filler Gauge ) نیز می توان برای این منظور استفاده نمود .

## ۴ - عمق سنج ( Depth Gauge )

این وسیله مخصوص اندازه گیری عمق عیوبی مانند فرورفتگی ، خوردگی و سوختگی شیاری کناره جوش ( Under-Cut ) می باشد. در شکل ۳-۴ دو نوع عمق سنج مشاهده می گردد که برای اندازه گیری محدب و مقعر بودن گرده جوش نیز قابل استفاده هستند .

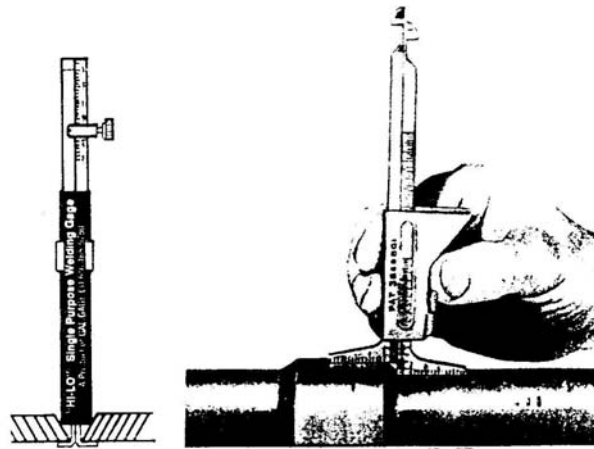
## ۵ - اندازه گیر محدب و مقعر بودن جوش ( Concave &amp; Convex Gauge )

یکی از پارامتر های مهم جوش خصوصاً برای جوش های گوشه ای، اندازه گیری میزان برجستگی و یا فرورفتگی (محدب و یا مقعر بودن ) گرده آنها می باشد که با این وسیله اندازه گیری می شود ( شکل ۳-۴ ).

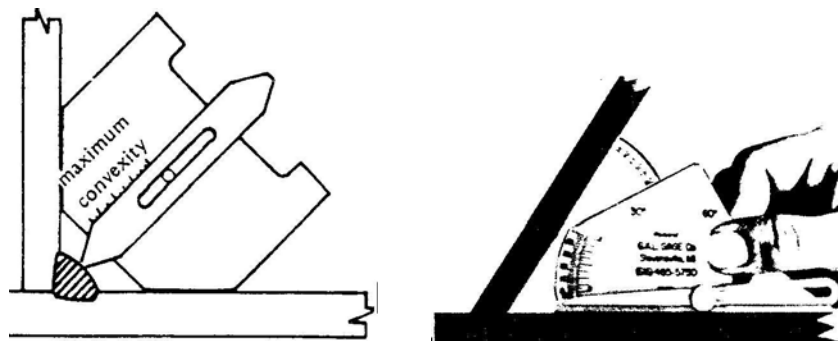
## ۶ - ابزار مرکب یا چند منظوره ( Multipurpose Gauges )

بمنظور سهولت در بازرسی های عینی ، می توان از بعضی ابزارهای چند منظوره استفاده نمود که در اشکال متفاوت ساخته شده و ممکن است با یک نمونه آن ، تمام یا بخش زیادی از اندازه گیری ها را انجام داد.

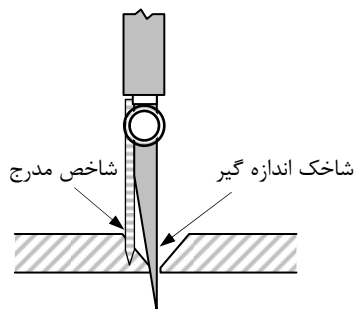
در شکل ۳-۵ دو نمونه از اندازه گیرهای چند منظوره مشاهده می شود .



شکل ۳-۱

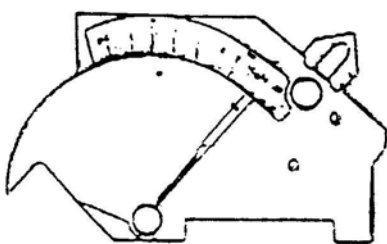


شکل ۳-۲

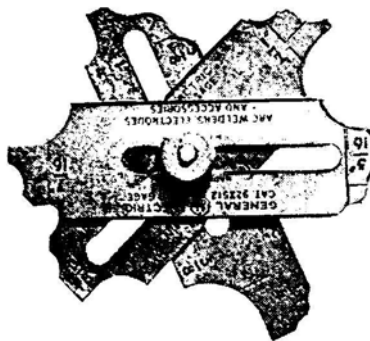
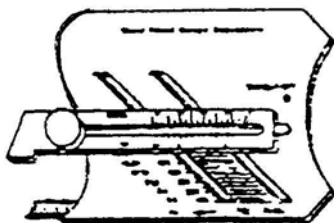


در این وسیله ابتدا شاخص مدرج تا سطح لبه تنظیم می شود سپس شاخک اندازه گیر در بین دولبه قرار می گیرد و فاصله خوانده می شود.

شکل ۳-۳ فاصله سنج



شکل ۳-۴ اندازه گیر عمق ، مقعر و محدب بودن جوش



شکل ۳-۵

### دماسنج ها

برای اندازه گیری درجه حرارت و کنترل تغییرات دما در مراحل پیش گرمی قبل از شروع جوشکاری ، درجه حرارت بین پاس های جوشکاری و کنترل درجه حرارت عملیات پس گرمی از دماسنج استفاده می شود . دما سنج ها در مدل های متفاوتی ساخته می شوند که به چند نمونه متداول آن در زیر اشاره می گردد .

#### ۱ - مداد شمعی ( گچ شمعی ذوب شونده )

Thermomelt, Tempilstik Temperature Indicating Crayon

نوعی مداد شمعی رنگی و مخصوصی است که برای اندازه گیری درجه حرارت سطوح قطعات بکار می رود. هر مداد شمعی مختص به درجه حرارت معینی است که روی آن نوشته می شود . بطور مثال چنانچه درجه حرارت پیش گرمی قطعه ای ۲۵۰ درجه سانتی گراد باشد، از یک مداد شمعی با نقطه ذوب ۲۵۰ درجه استفاده می گردد. در زمان تماس شمع با سطح کار، چنانچه اثر ذوب روی سطح کار دیده شود، دمای آن ۲۵۰ درجه خواهد بود.

در شکل ۳-۶ ، یک نمونه مداد شمعی ذوب شونده مشاهده می گردد. درجه ذوب آن ۱۰۱ درجه سانتی گراد، معادل ۲۱۳ درجه فارنهایت می باشد .



شکل ۳-۶

## ۲ - پیرومترها ( Pyrometers )

برای اندازه گیری درجه حرارت های نسبتاً زیاد و بسیار دقیق از پیرومترهای الکترونیکی استفاده می شود. در این سیستم، انرژی حرارتی قطعه کار به نیروی محرکه الکتریکی تبدیل شده و جریانی در حد میلی ولت از طریق سیم های ترموکوپل به دستگاه الکترونیکی پیرومتر می رسد. دستگاه پیرومتر، میلی ولت دریافت شده را به واحدی از درجه حرارت تبدیل خواهد نمود. انتقال نیروی محرکه الکتریکی ( Electromotive force ) به نوع و جنس سیم ترموکوپل بستگی دارد، به همین جهت هر رشته سیم ترموکوپل بسته به خواص شیمیائی آن، محدوده معینی از درجه حرارت را انتقال می دهد و علامت اختصاری مشخصی دارد. در جدول زیر سه نمونه از سیم های ترموکوپل براساس استاندارد ASTM,E ۲۳۰-۸۷ مشاهده می شوند:

جدول ۳-۱

نوع	خواص عمومی Standard Thermocouples	حداقل و حداکثر درجه حرارت مفید ( سانتی گراد )
Type K	Nickel - Chromel-Alumel	۰ - ۱۲۵۰
Type J	Iron	۰ - ۷۵۰
Type E	Nickel - Chromel	۰ - ۹۰۰

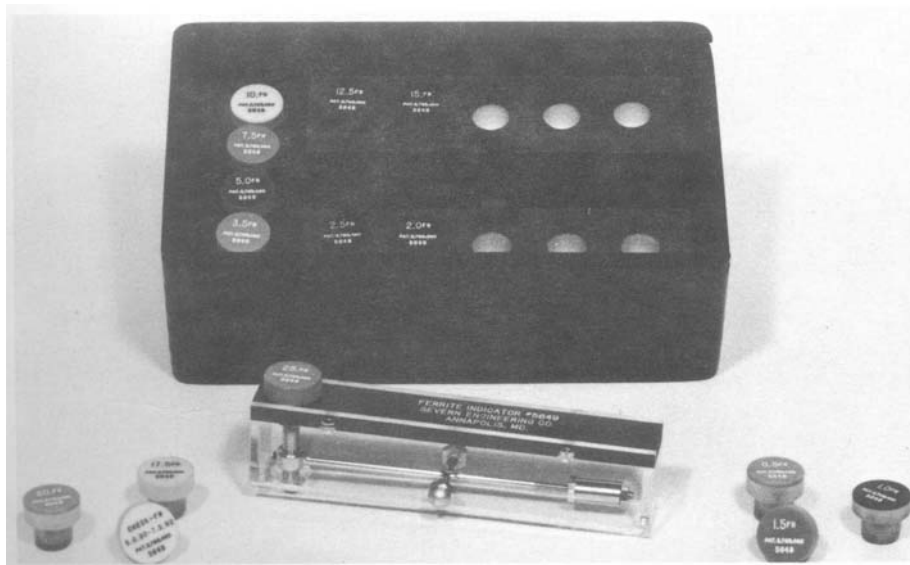
## ۳ - ولت مترهای دیجیتال

با نتیجه گیری از مکانیزم پیرومترها، می توان با ولت مترهای دیجیتال معمولی نیز دمای سطوح را اندازه گیری نمود. برای این منظور ابتدا، دو رشته سیم ترموکوپل از یک نوع مشخص انتخاب و دو سر یکطرف آنها ( مثبت و منفی ) به هم وصل شده و در نقطه مورد اندازه گیری نصب می گردد ( اتصال کامل ). دو سردیگرسیم های ترموکوپل به ورودی های مثبت و منفی ولت متر داده می شود. با روشن شدن دستگاه ولت متر، جریان الکتریکی در مقیاس میلی ولت روی صفحه دستگاه دیده می شود که نسبتی از درجه حرارت سطح کار خواهد بود. برای تبدیل میلی ولت به درجه حرارت از جدول مخصوصی که برای هر سیم ترموکوپل ( جدول ۲۳۰-ASTM E ) تهیه شده استفاده می گردد.

## ۴ - دستگاه فریت سنج

## Ferrite Indicator - Severn Gauge

این وسیله برای تعیین مقدار دلتا فریت موجود در فلز جوش در جوشکاری برخی از مواد فولادی نظیر فولادهای ضدزنگ آستنیتی بکار می رود. در موارد خاصی، به علت تغییرات ناخواسته ای که در میزان فریت ها روی می دهد، ترک های سطحی ریز و کم عمق در فلز جوش شکل می گیرند. با کنترل میزان دلتا فریت ها در زمان جوشکاری، می توان از بروز ترک های ریز سطحی پیش گیری نمود. برای اندازه گیری دلتا فریت ها، از شاخص های فریتی متناسب با فلز پایه و الکتروود مصرفی استفاده می شود. هر شاخص فریت با شماره مشخصی می تواند، مقدار دلتا فریت های مغناطیسی جوش را در زمینه غیرمغناطیسی (مثلا آستنیتی) تعیین می کند.



شکل ۳-۷ فریت سنج

---

---

## فصل دوم

### آزمونهای غیرمخرب آزمایش آلتراسونیک

***NON- DESTRUCTIVE TESTING***

***ULTRASONIC TESTING***

---

---

## فرایندهای انتشار امواج

### مقدمه :

هر گاه به یک ذره یا مولکولی از یک ماده الاستیک، نیروی مکانیکی مانند ضربه وارد شود، ذره مرتعش شده و اثر ضربه را به ذرات مجاور منتقل می کند. در طی چنین فرآیندی انرژی ارتعاشی از هر ذره به ذره مجاور، به صورت موج صوتی انتشار می یابد.

سرعت انتشار امواج صوتی در هر محیط همگن ثابت است و تنها با تغییر طول موج و یا فرکانس می توان ارتباط بین مولکول ها را برای انتقال انرژی برقرار نمود. هرچه فرکانس ارتعاش و نوسان ذرات افزایش یابد، طول موج کوتاه تر خواهد شد و به همین دلیل امواجی که فرکانس بالایی دارند، قادر به انتشار در هوا نیستند.

حد اکثر فرکانس قابل شنوایی برای گوش انسان ۲۰۰۰۰ هرتز در ثانیه می باشد. امواج صوتی با فرکانس بالا تر از آنرا امواج ماوراء صوت (Ultrasonic) و کمتر از ۲۰ هرتز در ثانیه را مادون صوت (Infrasonic) می گویند.

امواج آلتراسونیک می توانند در هر محیطی نظیر جامدات، سیالات و حتی برخی از گازها که خاصیت انتقال امواج را داشته باشند انتشار یابند. امواج ماوراء صوت از نوع امواج مکانیکی هستند که بکمک فرآیندهای متفاوتی قابل تولید می باشند.

بطور مثال هرگاه جسمی بطور ناگهانی گرم شود، تنش های مکانیکی سبب تولید امواج ماوراء صوت از نوع Shock Wave می گردد. بعضی از مواد مانند نیکل با قرار گرفتن در میدانهای مغناطیسی تغییر شکل داده و امواج آلتراسونیک تولید می کنند. از مولدهای الکترومغناطیسی و خازن ها نیز می توان امواج تولید نمود، اما شاخص ترین مولد امواج ماوراء صوت در بحث آشکار سازی عیوب، کریستالهای پیزوالکتریک می باشند.



### خواص عمومی امواج ماوراءصوت :

امواج ماوراء صوت در بسیاری از مواد نفوذ می کنند و قادرند تغییرات مهمی را در آنها ایجاد کنند . بطور مثال، اگر جسمی را در سیالی متأثر از امواج ماوراء صوت غوطه ور کنیم و جسم در مرکز کانونی امواج قرار گیرد، شکسته و خرد خواهد شد.

در آزمایشگاه ها، برای زدایش مواد رسوبی روی قطعات ، از ظروف آلتراسونیک استفاده می گردد . در این روش قطعه مورد نظر در یک ظرف مخصوص قرار داده می شود، کف ظرف تحت پدیده الکترومغناطیسی بارتعاش در آمده و در نتیجه ارتعاش قطعه، بتدریج مواد چسبیده ، از سطح آن جدا خواهند شد .

در اماکن و سالن های مرتفع نظیر فرودگاه ها ، که بعلت ترافیک و تردد مستمر مسافران تمیزکاری سقف آنها مشکل است، بمنظور پیش گیری، از بالا رفتن آلا بنده های دودی و تیره شدن سقف، از امواج ماوراء صوت استفاده می شود . برای این منظور تا ارتفاع معینی از سقف، تحت پوشش پیوسته امواج آلتراسونیک قرار می گیرد. در نتیجه برخورد امواج با مولکول های دود، آنها را بهم پیوند داده و موجب سقوط دوده های سنگین می شود .

بعضی از حیوانات مانند اسب و سگ قادر به حس امواج ماوراء صوت هستند و خفاش ها به کمک امواج ، مسیر حرکت خود را در تاریکی تعیین می کنند . امواج ماوراء صوت در پزشکی کاربرد گسترده ای دارد و در صنایع غذایی نیز برای استرلیزه نمودن مواد استفاده می شود، ردیابی فلزات و همچنین ردیابی هوائی و دریائی با سیستم های رادار نیز از جمله موارد کاربرد امواج ماوراء صوت به شمار می آیند .

استفاده از پدیده امواج اولین بار در بازرسی خطوط راه آهن به خدمت گرفته شد . در یک نقطه به خط آهن ضربه زده می شد و در فاصله ای معین به انعکاس صدای ارتعاش آن، گوش می دادند. شدت صوت در خطوط سالم یکسان شنیده می شد، اما چنانچه در قسمتی از خط آهن ترک و یا خوردگی وجود داشت شدت صوت کاهش می یافت و متوجه عیب در خط آهن می شدند .

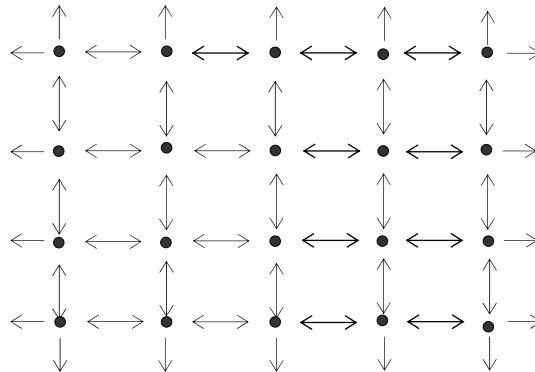
با چنین روشی فقط ترکهای درشت قابل تشخیص بود، اما با ورود امواج ماوراء صوت با طول موجهای بسیار کوتاه، آشکارسازی عیوب بسیار ریز نیز میسر گردید

## ماهیت امواج ماوراء صوت

امواج صوتی در نتیجه ارتعاش ذرات یک ماده تولید می شود که شیوه انتشار آن، به جنس ماده و جهت ارتعاش ذرات بستگی دارد. اگر تکه فنری را کشیده و سپس رها گردد، فنر به شکل منظمی باز و بسته و به نوسان در خواهد آمد که نوسانات آن در واحد زمان با دامنه ای یکنواخت تکرار می گردد. علت نوسان، وجود خاصیت ارتجاعی در فنر است که به آن جنبش الاستیکی هم گفته می شود.

امواج ماوراء صوت نیز در اثر انرژی جنبشی ذرات یک ماده، با فرکانس بالا و طول موج بسیار کوتاه تولید می گردند. هر گاه به ذره ای از یک ماده الاستیک نیروی جنبشی وارد شود، ذره حول نقطه تعادل خود، نیرو را به ذرات مجاور منتقل نموده و سپس به نقطه تعادل خود باز می گردد. انتقال نیروی جنبشی از هر ذره به ذره مجاور، سبب انتقال و انتشار امواج می گردد.

در شکل ۱-۱، نمونه ای از شبکه اتصال بین ذرات یک ماده الاستیک دیده می شود که هر ذره قادر است با سرعت معینی حول نقطه تعادل بارتعاش در آید.



شکل ۱-۱

## کار برد امواج ماوراء صوت ( کنترل کیفیت ) :

امواج ماوراء صوت ( آلتراسونیک ) برای ارزیابی کیفیت اکثر مواد مهندسی و تشخیص عیوب درون آنها بکار می رود . عیوبی نظیر انواع حفره های گازی، ناخالصی ها، ترک ها و کلیه پدیده هائی که عامل ناهمگنی در اتصالات جوش و مواد می شوند با این روش قابل آشکار سازی می باشند .

اما برتری قابل توجه روش آلتراسونیک، توانائی ارزیابی هر سه بعد یک عیب بدون محدودیت فاصله و ضخامت می باشد. به همین جهت در بررسی های تحقیقاتی ارزیابی عیوب ( Non-Destructive Evaluation )، فقط از آزمایش آلتراسونیک بهره گرفته می شود .

با روش اندازه گیری بسیار دقیق ( Critical flaw size ) ، هر ناپیوستگی درون مواد، در حدی آشکار می شود که می توان بر اساس پارامترهای کسب شده، پروسه مقاومت آنرا در مقابل تنش های زمان سرویس در قالب تکنیک “ Fitness-for-Purpose-Assessment ” مورد بررسی و ارزیابی قرار داد .

## سرعت امواج ماوراء صوت :

همانطور که قبلا نیز اشاره گردید، سرعت امواج ماوراء صوت، به پارامتر های فیزیکی محیط ماده بستگی دارد . در زمان ارتعاش یک ماده الاستیک، هر ذره از ماده با سرعت معین (  $v$  ) در محدوده حالت ارتجائی خود، حول نقطه تعادل نوسان نموده و نیروی جنبشی خود را به ذره مجاور منتقل می نماید. از طرفی چون سرعت انتشار امواج در هر ماده همگن ثابت می باشد، لذا طبق رابطه زیر، فقط با تغییر فرکانس طول موج تغییر خواهد نمود .

$$\lambda = c / f \quad \text{رابطه ۱-۱}$$

$\lambda$  - طول موج ( mm )

$c$  - سرعت (  $\text{Km/ Sec} = \text{mm / sec} \times 10^6$  )

$f$  - فرکانس (  $\text{MHz} = 10^6 \text{ Hz}$  )

**توضیح مهم :** سرعت نوسان ذرات  $v$  با سرعت انتشار امواج  $c$  متفاوت می باشد .

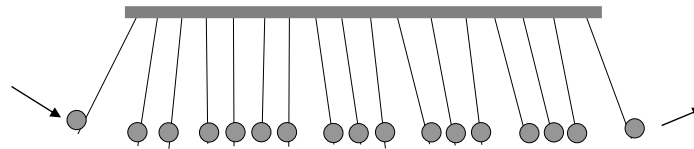
## انواع امواج ماوراءصوت :

## ۱ - امواج طولی ( Longitudinal Waves )

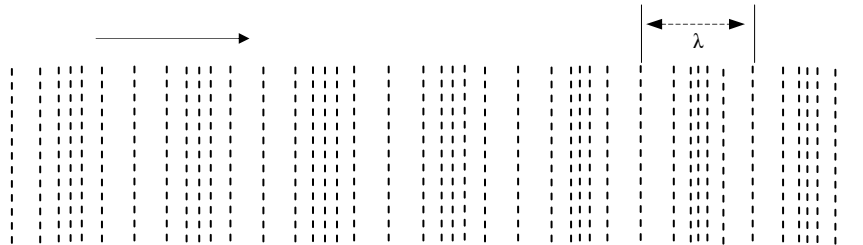
همانطور که در تعریف امواج گفته شد، ذرات یک ماده، در زمان ارتعاش، متناسب با جهت نیروی وارده در محدوده خاصیت الاستیکی خود، نوسان خواهند نمود. چنانچه جهت انتشار امواج با جهت ارتعاش ذرات یکسو باشد، امواج طولی تولید می گردد.

ضمناً چون مواد دارای خواص انبساط و انقباض الاستیکی می باشند، انتشار امواج طولی به حالت های انبساطی و انقباضی نیز صورت می پذیرد، از اینرو امواج طولی، با نام امواج کمپرسی ( Compression Waves ) نیز شناخته می شوند.

سرعت امواج طولی در مواد همگن ثابت است اما به نسبت تغییر غلظت و چگالی مواد، مقدار آن تغییر خواهد نمود. امواج طولی در جامدات، سیالات و حتی در بعضی از گازها قابل انتشار می باشند.



شکل ۱-۲ - الف



شکل ۱-۲ - ب

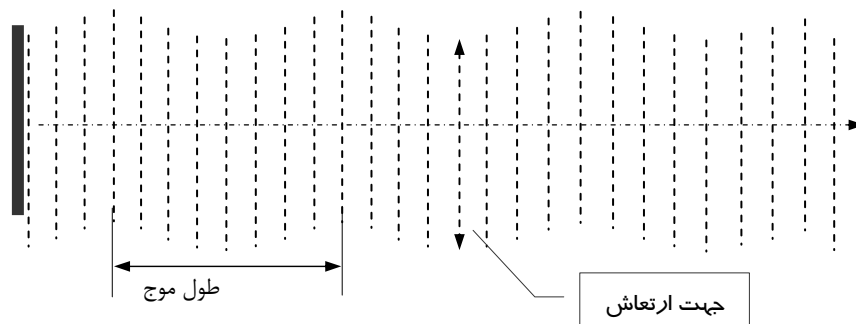
بطوریکه در شکل ۱-۲ الف، دیده می شود، در یک حرکت پاندولی، نیروی ضربه از ساچمه اول به ساچمه دوم و به تناوب به ساچمه های بعدی منتقل شده و در نهایت اثر ضربه بصورت موج به آخرین ساچمه رسیده است .

در شکل ۱-۲ ب، نیز نوسان منظم ذرات یک ماده در حال ارتعاش کمپرسی دیده می شود که با فرآیند انبساطی و انقباضی امواج را به سمت جلو هدایت می کنند .

## ۲ - امواج عرضی یا برشی ( Transverse or Shear Waves ) :

در نوع امواج عرضی ( برشی )، جهت انتشار امواج عمود بر جهت ارتعاش ذرات می باشد. ساده ترین نمونه آن امواج دریا است . مولکول های آب دریا نوسان عمودی دارند، در حالیکه امواج به حالت سینوسی در جهت افقی انتشار می یابند

در شکل ۱-۳، وضعیت ارتعاش ذرات و جهت انتشار امواج عرضی دیده می شود . ذرات در جهتی عمود بر جهت حرکت امواج در نوسان هستند .



شکل ۱-۳

## توضیح :

الف - اصولاً نیروی محرکه جنبشی ذرات، بصورت نیروی برشی، عامل تولید امواج عرضی در جامدات می باشد و چون سیالات و گازها، تحت تأثیر نیروهای برشی قرار نمی گیرند، قادر به انتشار امواج عرضی و یا برشی نخواهند بود.

ب - امواج آب دریا، تنها مورد استثنائی انتشار امواج عرضی در سیالات می باشد .

## ۳ - امواج سطحی ( Surface Waves ) :

در شرایط خاصی، امواج ماوراء صوت با دامنه ای محدود در سطح جامدات انتشار می یابند که به امواج سطحی موسومند . این نوع امواج به لحاظ شکل انتشار، از قوانین امواج طولی و عرضی پیروی نمی کنند و شیوه انتشار آنها متفاوت است . سرعت امواج سطحی  $0.9$  سرعت امواج عرضی می باشد

## انواع امواج سطحی

## الف - امواج سطحی ری لای ( Rayleigh ) :

کاشف این نوع موج Lord Ray Leigh بوده که به نام ایشان نیز موسوم شده است . امواج دایره ای شکلی که از برخورد تکه سنگی با آب، در سطح آن دیده می شوند، از نوع امواج سطحی ری لای هستند . عمق انتشار امواج ری لای، حدود یک برابر طول موج آن است .

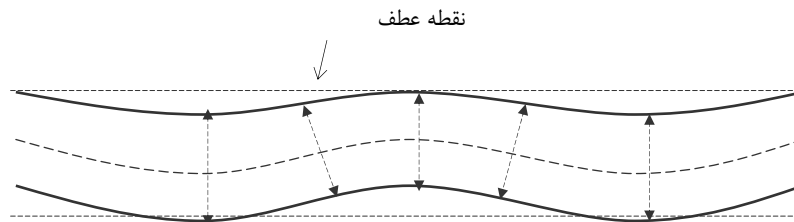
با انتخاب فرکانسی متناسب با ضریبی از طول موج ، می توان عمق معینی از فلزات را تحت پوشش امواج سطحی قرار داد . شکل مقطع ارتعاش و انتشار امواج ری لای به حالت بیضی می باشد که به نسبت سطح تماس ممکن است بصورت امواج طولی و یا عرضی انتشار یابند.



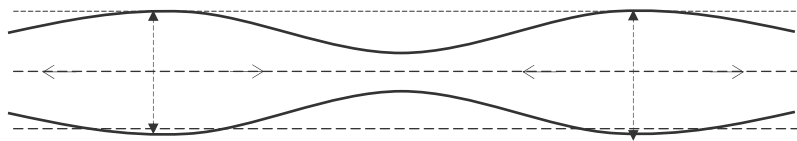
شکل ۱-۴ انتشار امواج سطحی در فولاد

## ۳-۲- امواج ورقه ای ( Lamb Waves ) :

این نوع موج بطور سطحی در یک لایه معینی از ضخامت ، متناسب با طول موج و فرکانس به دو حالت خمشی و قرینه ای در جامدات انتشار می یابد . جهت ارتعاش ذرات در مکان و موقعیت های مختلفی از امواج، متغییر است و فقط در نقاط عطف منحنی خم ها ، جهت ارتعاش بصورت قائم ( ۹۰ درجه ) در می آید .



شکل ۱-۵ - الف امواج ورقه ای خمشی



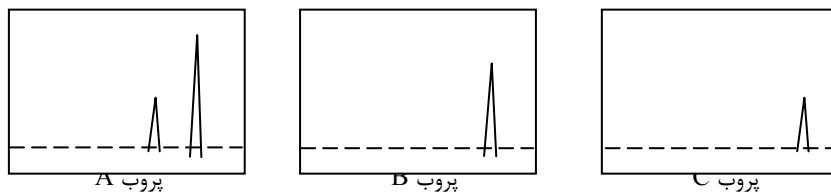
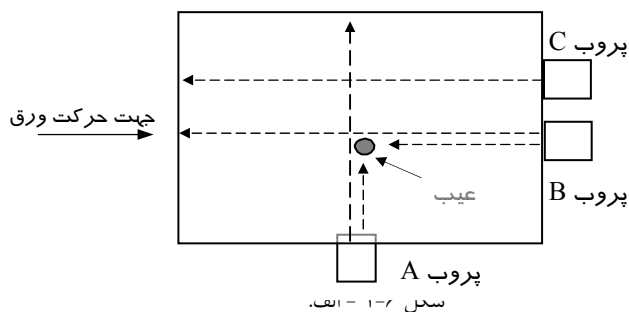
شکل ۱-۵ - ب امواج ورقه ای قرینه ای

از امواج ورقه ای با خاصیت رزونانس برای تعیین عیوب ورق های فولادی کم ضخامت در کارخانه نورد استفاده می شود که بسته به جهت انتشار امواج، نتایج متفاوتی بدست می آید.

چنانچه جهت انتشار امواج ورقه ای ( لمب ) با جهت حرکت ورق همسو باشد، عیوب موازی با سطح نظیر دو پوستگی آشکار نمی گردد و فقط دامنه پالس بازتابش از انتهای ورقه کوتاهتر خواهد شد . اما اگر جهت انتشار امواج عمود بر جهت حرکت ورق باشد ، هر دو نوع پالس عیب و پالس بازتابش از انتهای ورق، همزمان دیده می شوند .

در شکل ۱-۶ - الف، دو پروب B و C ، هم جهت با حرکت ورق فولادی قرار گرفته اند. در هر دو حالت فقط پالس واکنش از انتهای ورق در صفحه تصویر دیده می شود بطور مثال وجود عیب در مقابل پروب C بدون واکنش بوده و وجود آن فقط دامنه پالس بازتابش از انتهای ورق را کوتاهتر نموده است ( شکل ۱-۶- الف ) .

اما پروب A در جهتی عمود بر جهت حرکت ورق قرار گرفته و تغییرات پالس عیب و انتهای ورق هر دو در صفحه تصویر دیده می شوند ( شکل ۱-۶- ب ) .



شکل ۱-۶ - ب نمای پالس انعکاسی امواج در سه حالت A , B , C



نکات مهم بخش ۱ :

- ۱- امواج ماوراء صوت از نوع امواج مکانیکی هستند .
- ۲- امواج ماوراء صوت فقط در محیط های مادی با خواص الاستیک قابل انتشار می باشند .
- ۳- امواج طولی در جامدات، سیالات و حتی برخی گازها منتشر می شوند .
- ۴- به امواج طولی امواج کمپرسی ( انبساطی ) نیز گفته می شود .
- ۵- امواج عرضی فقط در جامدات قابل انتشار می یابند و با اصطلاح امواج برشی و یا امواج زاویه ای نیز شناخته می شوند .
- ۶- امواج سطحی مستثنی از قوانین امواج طولی و عرضی می باشند .
- ۷- امواج سطحی ری لای حداکثر تا یک برابر طول موج در اجسام نفوذ می کنند
- ۸- امواج ورقه ای Lamb بیشتر تحت اثر ارتعاش رزونانس در فلزات انتشار می یابند .
- ۹- سرعت امواج در مواد همگن ثابت است و تنها پارامتر متغییر برای انتخاب طول موج فرکانس می باشد.

$$\lambda = c / f$$

f- فرکانس ( مگاهرتز )

c- سرعت ( کیلو متر در ثانیه )

$\lambda$ - طول موج ( میلی متر )

- ۱۰- امواج در برخورد با موانع مانند پرتوهای نوری عمل می کنند .

## مولدهای امواج ماوراء صوت

## کریستالهای پیزوالکتریک ( Piezoelectric Crystals ) :

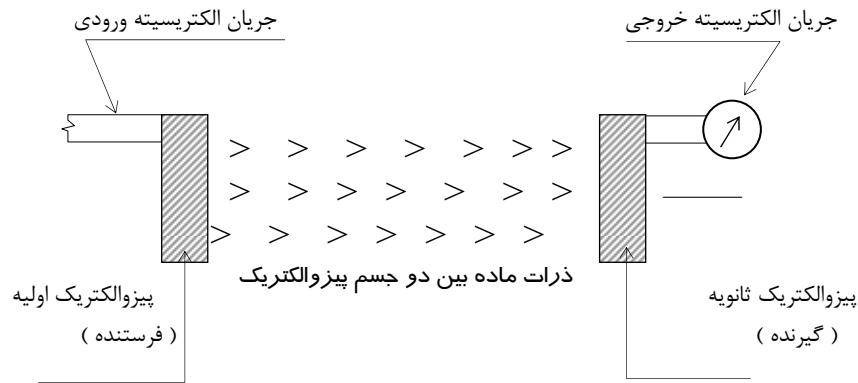
## تعریف :

پیزوالکتریک ها موادی هستند که می توانند انرژی الکتریکی دریافت شده را به انرژی مکانیکی و یا بالعکس تبدیل نمایند . در مبحث آلتراسونیک ، از این خاصیت برای تولید امواج و دریافت واکنش های آن در برخورد با ناپیوستگی ها استفاده می گردد .

چنانچه یک جسم پیزو الکتریک تحت تاثیر نیروی مکانیکی قرار گیرد سطح آن شارژ الکتریکی شده و انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند و در فرایندی متقابل، انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل خواهد نمود .

در شکل ۱-۲ ، یک جسم پیزو الکتریک ( فرستنده ) تحت تاثیر جریان الکتریکی قرار گرفته است. جسم بعلت ماهیت و خواص فیزیکی خود، مرتعش شده و همزمان ذرات مجاور خود را به ارتعاش در آورده است . انرژی جنبشی حاصل از ارتعاشات، از هر ذره به ذره بعدی به صورت امواج ماوراء صوت به پیزو الکتریک ثانویه ( گیرنده ) رسیده و به انرژی الکتریکی تبدیل شده است .

مواد پیزو الکتریک به هر دو حالت طبیعی و مصنوعی یافت می شوند و چون مهمترین منبع شناخته شده آنها کریستال ها هستند، لذا از این پس مواد پیزوالکتریک را با نام کاربردی کریستال ها خواهیم شناخت .

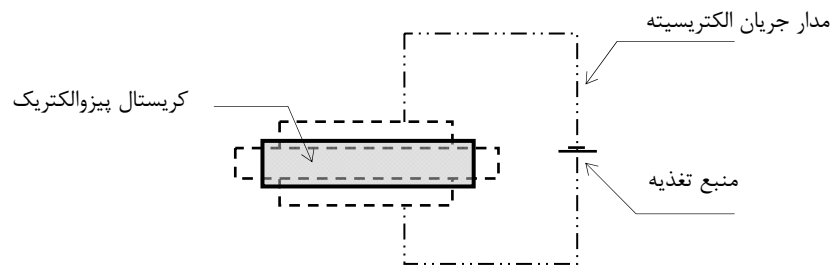


شکل ۲-۱

### خواص کریستال ها :

وقتی به یک ماده (قطعه) پیزوالکتریک جریان الکتریسته برسد، کریستال تغییر شکل فیزیکی داده و حجم آن با فرکانس معینی در واحد زمان، کم و زیاد می گردد (شکل ۲-۲). چنانچه کریستال با یک ماده در تماس باشد، این تغییر شکل موجب ارتعاش ذرات مجاور گشته و امواج ماوراء صوت در ماده انتشار می یابد.

برای مرتعش نمودن کریستال، در وضعی منظم و هارمونیک، باید فرکانس جریان الکتریکی با ضخامت کریستال همخوانی داشته باشد.



شکل ۲-۲

در شکل ۲-۲، تغییرحجم یک کریستال کوآرتز مشاهده می شود، که جهت تغییرحجم کریستال به جهت برش، اما آهنگ نوسان آن به عواملی چون ضخامت کریستال، طول موج و فرکانس جریان الکتریکی دستگاه آلتراسونیک بستگی خواهد داشت .

قبلاً رابطه بین طول موج، سرعت و فرکانس طبق فرمول ۱-۱ تعریف گردید .

$$\lambda = c / f$$

اما برای ارتعاش منظم کریستال ( حالت تشدید )، طول موج باید دوبرابر ضخامت کریستال گردد، لذا طبق رابطه ۲-۱، بجای فرکانس از فرکانس پایه و بجای طول موج از دو برابر ضخامت استفاده می شود .

$$2t = c / F_f$$

$$F_f = c / 2t \quad \text{رابطه ۲-۱، فرکانس پایه}$$

c - سرعت انتشار امواج در ماده کریستال بر حسب Km / Sec

F<sub>f</sub> - فرکانس پایه ( Fundamental Frequency )

t - ضخامت کریستال ( میلی متر )

مثال :

یک جسم پیزو الکتریک از جنس تیتانات باریم، برای تولید فرکانسی معادل ۲/۵ مگاهرتز طراحی شده است ، ضخامت آن را محاسبه می کنیم .

c - سرعت امواج طولی در ماده تیتانات باریم ۵.۱ km/ sec می باشد .

محاسبه از رابطه ۲-۱ ( فرکانس پایه )

$$F_f = c / 2t$$

$$2t = c / F_f$$

$$2t = 5.1 / 2.5 = 4.04 \text{ mm}$$

$$t = 1 \text{ mm}$$

مثال فوق را برای یک کریستال کوارتز در نظر می گیریم و ضخامت لازم برای برش های  $X$  و  $Y$  محاسبه می گردد (فرکانس مورد نیاز  $۲/۵$  مگاهرتز است).

سرعت امواج طولی (با برش  $X$ )  $۵/۷۴$  و سرعت امواج عرضی (با برش  $Y$ )  $۳/۸۴$  کیلومتر بر ثانیه است

$$۲t_{(x-cut)} = c_x / F_f \Rightarrow ۵.۷۴ / ۲.۵ = ۲.۳ \text{ mm}$$

$$t_{x-cut} = \lambda / ۲ = ۱.۱۵ \text{ mm} \quad \text{ضخامت برش طولی}$$

$$۲t_{(y-cut)} = c_y / F_f \Rightarrow ۳.۸۴ / ۲.۵ = ۱.۵۳ \text{ mm}$$

$$t_{y-cut} = \lambda / ۲ = ۰.۷۶ \text{ mm} \quad \text{ضخامت برش عرضی}$$

#### نکات مهم :

۱ - برای انجام یک آزمایش آلتراسونیک صحیح و دقیق، انتشار امواج ماوراء صوت بایستی با آهنگ و نظم رزونانس توأم باشد .

۲ - برای ارتعاش منظم کریستال و انتشار یکنواخت امواج ، جریان ورودی به کریستال باید متناسب با ضخامت آن اعمال گردد .

#### انواع کریستال ها :

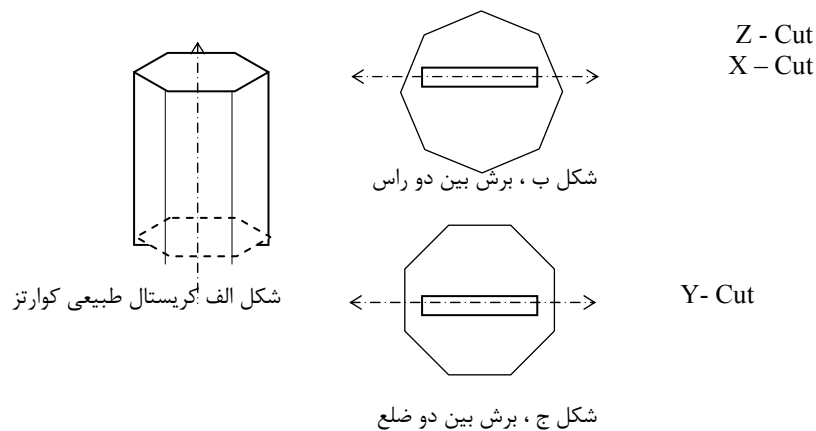
۱ - کریستال های کوارتز ( Quartz Crystals ) :

کریستال های کوارتز بصورت طبیعی و به شکل بلور های منشوری با ترکیب شیمیائی سه اتم سیلیس و شش اتم اکسیژن  $(\text{SiO}_2)$  در طبیعت یافت می شوند . برش های متفاوت کوارتز دارای خواصی به شرح زیر می باشد :

الف - کریستالی که از برش مقطعی بین دو رأس روبرو تهیه شود ( X - CUT ) ، امواج طولی تولید می کند .

ب - کریستالی که از برش مقطعی بین دو ضلع روبرو ( Y-CUT ) تهیه شود امواج عرضی تولید می کند .

- ج - کریستالی که از برش مقطعی عمودی ( Z-Cut ) تهیه گردد، دارای خاصیت انتقال نور بوده و بیشتر در سیستم های نوری کاربرد دارد .
- د - برای تولید و انتشار امواج سطحی از برش مخصوص X-Cut استفاده می شود .



شکل ۲-۳

در شکل ۲-۳ ، یک منشور کریستال کوارتز و موقعیت برش های آن دیده می شود . البته شکل طبیعی کوارتز بسیار نامنظم تر از شکل ترسیم شده است . مقاومت در مقابل سایش ، شکل پذیری عالی ، مقاومت در برابر حلالیت ، ثبات خواص الکتریکی ، گرمایی و مکانیکی از ویژگی های کریستال های کوارتز می باشد . اما در مقایسه با سایر کریستال ها ، بازدهی الکترومکانیکی آن کمتر است .

## ۲ - تیتانات باریم ( Barium Titanate ) :

تیتانیت باریم ، نوعی سرامیک قطبی است که از ترکیب کربنات باریم با دی اکسید تیتانیم در دمای ۱۲۵۰ درجه سانتی گراد بدست می آید .



ماده بدست آمده ( $\text{BaTiO}_3$ ) پس از پخت اولیه، در یک میدان الکتریکی تا درجه حرارت  $140^\circ\text{C}$  درجه سانتیگراد (Curie point) قرار می گیرد و سپس بتدریج سرد می شود، در این حالت تیتانات باریوم خاصیت پیزوالکتریک پیدا می کند. البته خاصیت قطبی بودن کریستال پس از ۲۴ ساعت تا ۵۰٪ افت نموده و سپس ثابت می ماند.

کریستال تیتانات باریوم با خاصیت فرستندگی<sup>۱</sup> بسیار قوی، از توانائی تفکیک سازی<sup>۲</sup> خوبی نیز برخوردار است، به همین دلیل برای تعیین عیوب با امواج عرضی و طولی کاربرد گسترده ای دارد. این نوع کریستال برای کار روی سطوح داغ و محیط های گرم مناسب نمی باشد و هیچگاه نباید در محیطی گرمتر از درجه حرارت بحرانی ( $140^\circ\text{C}$  درجه سانتی گراد) قرار گیرد. عواملی مانند تماس با سطح داغ، گرما و طول عمر زیاد، در خاصیت قطبی بودن کریستال تاثیر نا مطلوبی می گذارند.

### ۳ - سولفات لیتیوم ( Lithium Sulfate ) :

این نوع کریستال از خاصیت گیرندگی عالی برخوردار است و در پروب های دو کریستاله ای که کریستال های فرستنده و گیرنده کاملاً از هم متمایز هستند از این نوع کریستال بعنوان فقط گیرنده استفاده می گردد.

اما علی رغم مزیت های خوب آن، در مقابل ضربات مکانیکی و خصوصاً حرارت، بسیار حساس می باشد و بندرت برای مصارف پر کار صنعتی بکار می رود. از این کریستال بیشتر در امور پزشکی استفاده می شود ( فرمول شیمیائی آن  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  است ).

### ۴ - تیتانات زیرکونیت سرب ( Lead Zirconate Titanate ) :

از انواع کریستال های سرامیکی وبا فرمول شیمیائی  $\text{Pb}(\text{Ti Zr})\text{O}_3$  است، بهترین راندمان برای انتشار امواج ماوراء صوت را دارا می باشد، حساسیت بسیار خوب و مقاوم بودن در مقابل درجه حرارت های متغیر از مزیت های این نوع کریستال محسوب می گردد. کاربرد این نوع کریستال برای پروب های زاویه ای متداول تر است.

## ۵ - متانوبیت سرب ( Lead Metaniobate ) :

این ماده با فرمول شیمیایی  $Pb Nb_2 O_6$  از انواع سرامیک های قطبی است که نسبت به سایر کریستال های سرامیکی در مقابل گرما مقاوم تر می باشد . همچنین می تواند امواج را با ستونی ( Beam ) ( باریک ارسال نماید، اما بدلیل ناپایداری در خاصیت قطبی بودن، فقط برای آزمایش های محدودی کاربرد دارد .

## دو نکته :

- الف - علاوه بر پنج نوع کریستال فوق ، کریستال های دیگری هم وجود دارند که در شرایط خاصی برای آزمایش آلتراسونیک بکار گرفته می شوند .
- ب - بجز پیزو الکتریک ها ، فرآیند های دیگری نیزمانند Magnetostriction<sup>۱</sup> و EMA<sup>۱</sup> برای تولید امواج ماوراء صوت وجود دارند که در فصل های بعدی به آنها اشاره مختصری خواهد شد .

پروب های پیزوالکتریک

برای استفاده از هر کریستال پیزو الکتریک ، محفظه ای مخصوص طراحی می گردد تا ضمن نگهداری از کریستال تحت موقعیت و زاویه ای معین ، بتواند خواص پیزو الکتریکی کریستال را نیز تعدیل بخشد . محفظه نگهدارنده کریستال ها ، با واژه رایج پروب شناخته می شوند .

## ساختمان پروب ها :

در شکل ۴-۲ ، اجزاء تشکیل دهنده یک پروب تک کریستاله ساده ملاحظه می شود ، آنچه در ساختمان یک پروب بسیار اهمیت دارد، مواد نگهدارنده پشت و جلوی آن است، تا کریستال بتواند نوسانات ملایم و منظمی را انجام دهد . اگر کیفیت مواد نگهدارنده مناسب نباشد ، آهنگ ارتعاش کریستال ناقص خواهد بود .

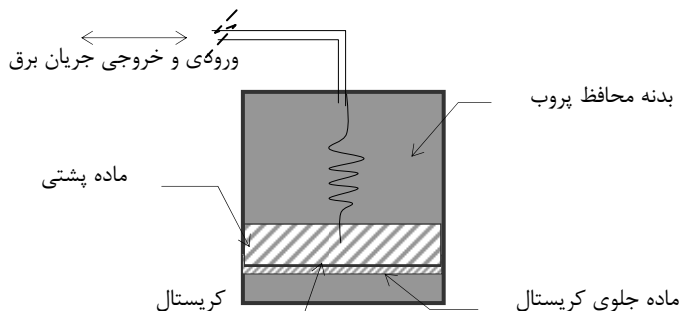
---

۱ - Electromagnetic Acoustic ( EMA)



**توضیح:** امواج آلتراسونیک در شرایطی برای آزمایش های غیرمخرب مفید می باشند که آهنگ تکراری گروه های کوچک امواج در هر پالس، ملایم، موزون و منظم باشند.

**تعریف پالس:** به مجموعه ای از امواج کوتاه که تحت اثر انرژی الکتریکی متناوبی در واحد زمان، به شکل یک دسته موج صوتی تکرار می گردند پالس گفته می شود. فاصله بین نقطه شروع هر پالس تا نقطه مشابه را عرض یا طول پالس<sup>۱</sup> می نامند، هر چه عرض پالس کوتاهتر باشد، تفکیک و تمایز عیوب مجاور هم بیشتر خواهد شد.



شکل ۴-۲، ساختمان یک پروب صفر درجه تک کریستاله

### ماده پشتی ( Backing Media )

در شکل ۵-۲ - الف، حالت طبیعی نوسانات یک پیزو الکتریک ملاحظه می شود. چنین امواجی برای آزمایش های غیرمخرب مناسب نمی باشند و باید مانند شکل ۵-۲ - ب، به حالت نرم، ملایم و هماهنگ انتشار یابند تا کریستال بتواند در لحظات سکون بین پالس ها، انرژی مکانیکی منعکس شده را به انرژی الکتریکی تبدیل نماید.

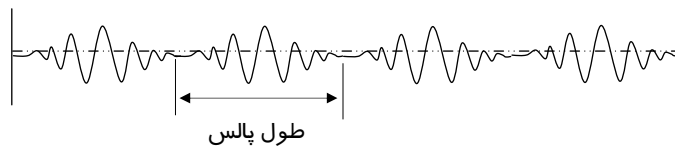
تبدیل پالس های نامنظم به پالس های آرام و هماهنگ به کمک ماده پشت کریستال صورت می پذیرد. یکی از پارامترهای بسیار مهم و ممتاز سازندگان پروب ها، تکنیک طراحی اتصال کریستال به همین ماده پشتی است که از نوعی ماده پلیمری مخصوص<sup>۲</sup> شبیه به لاستیک با خاصیت ارتجائی مطلوبی تهیه می شود.

۱ - Pulse Width

۲ - Epoxy Backing



شکل ۵-۲ - الف



شکل ۵-۲ - ب، پالس های منظم شده

### خواص عمومی ماده پشتی :

با تعریفی که از ماده پشت کریستال ( Backing Media ) ارائه گردید، این ماده باید از حداقل خواص زیر برخوردار باشد :

- نگهداری کریستال تحت مشخصات طراحی شده ( زاویه ) .
- جذب و تحلیل انرژی های الکتریکی و مکانیکی مازاد .
- جذب انرژی ارتعاشات نامنظم و اضافی .
- منظم نمودن ارتعاشات و ایجاد حرکت هارمونیک کریستال .
- منظم نمودن دامنه و فاصله بین پالس ها .
- حفظ حالت انعطاف پذیری ( طول عمر مفید ) .

### ماده جلوی کریستال

برای محافظت کریستال ها در مقابل سایش ، تنظیم فاصله مورد نیاز برای انتقال امواج و ثابت نگهداشتن کریستال ( و یا کریستالها ) تحت زاویه ای دقیق، ماده ای مخصوص در جلوی کریستال قرار می دهند. این ماده علاوه بر دارا بودن خواص فوق، باید بتواند فاصله زمان انتشار امواج را به تأخیر اندازد .

برای این منظور از ماده ای مخصوصی نظیر پرس پکس استفاده می گردد که سرعت انتقال امواج آن از اغلب فلزات خصوصاً فولاد کمتر است. بطور مثال ضخامت هر ۱۰ میلی متر یک قطعه از جنس پرس پکس معادل حدود ۴/۶ میلی متر ضخامت فولاد می باشد و در نمونه استاندارد IW-V۱ نیز ضخامت ۲۳ میلی متری استوانه پرس پکس برابر با ۵۰ میلی متر فولاد خواهد بود .

## انواع پروب های پیزوالکتریک

### پروب های صفر درجه و زاویه ای

#### الف - پروب صفر درجه تک کریستاله

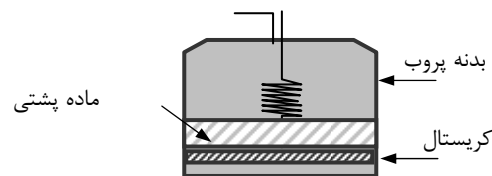
Single Crystal ( Normal Probe )

این نوع پروب از یک کریستال مستقل تشکیل شده و امواج طولی تولید می نماید . جهت انتشار امواج در این نوع پروب هم راستا با جهت انتشار آن در ماده تحت آزمایش می باشد و به پروب صفر درجه یا نرمال معروف است .

در این نوع پروب ، کریستال در لحظه دریافت انرژی بصورت فرستنده موج عمل نموده و در لحظه انعکاس امواج از قطعه تحت آزمایش در نقش گیرنده فعال خواهد شد و به همین دلیل پروبهای تک کریستاله با عنوان پروب های فرستنده گیرنده ( Transceiver ) نیز شناخته می شوند .

اما به منظور پیش گیری از تداخل امواج ماوراء صوت در دو حالتی که کریستال فرستنده و گیرنده می شود، کریستال در حداقل فاصله از سطح خارجی پروب تعبیه می گردد تا امواج فرستنده و گیرنده در میدانی آزادتر با هم تلاقی نمایند.

بنابراین در پروب های تک کریستاله صفر درجه ، کریستال به سطح تماس نزدیک می باشد و چون ممکن است سطح کریستال در تماس با سطح کار سائیده شود غالباً ، از کریستال های کوارتز که در مقابل سایش مقاومترند برای این نوع پروب استفاده می گردد . اجزاء مهم تشکیل دهنده یک پروب صفر درجه تک کریستاله شامل محفظه پروب، کریستال پیزوالکتریک ، لایه محافظ جلو و ماده پشتی می باشد ( شکل ۲-۶ ) .



شکل ۲-۶

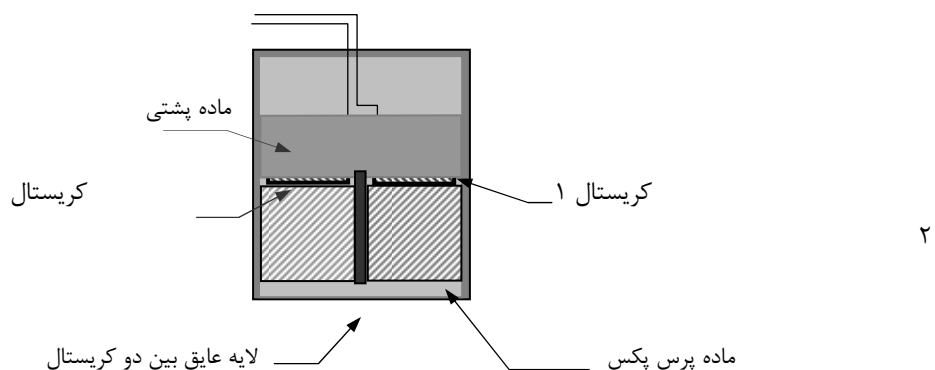
### کاربرد پروب تک کریستاله

اصولاً، از پروب های صفر درجه برای اندازه گیری ضخامت، ناهمگنی های موازی با سطح و کاهش ضخامت مانند خوردگی استفاده می شود. در پروب های تک کریستاله به دلیل اینکه کریستال به سطح تماس نزدیک است، حوزه کور و قسمتی از حوزه نزدیک، مانعی برای اندازه گیری ضخامت های کم خواهد بود. لذا پروب های صفر درجه تک کریستاله بیشتر برای اندازه گیری ضخامت های زیاد و عیوبی که خارج از حوزه نزدیک قرار دارند بکار گرفته می شوند.

بعلاوه از پروب های تک کریستاله در بعضی از تکنیک ها مانند انتقال سربه سر بصورت فرستنده و گیرنده مجزا استفاده می گردد.

### ب - پروب های صفر درجه دو کریستاله

در این نوع پروب، دو کریستال پیزو الکتریک به عنوان فرستنده و گیرنده در یک محفظه مشترک قرار گرفته اند. یکی از دو کریستال امواج ماوراء صوت تولید و منتشر می کند و کریستال دیگر تا لحظه دریافت واکنش انعکاسی فرستنده، ساکن می ماند. هر لحظه که امواج ارسال شده با مانع و یا تغییر محیط مواجه گردد، منعکس شده و انرژی مکانیکی خود را به کریستال گیرنده می دهند.



شکل ۲-۷، پروب صفر درجه دو کریستاله

در شکل ۷-۲ یک پروب صفر درجه دو کریستاله مشاهده می شود. در این نوع پروب، کریستال ها با فاصله معینی نسبت به سطح خروجی تعبیه شده اند، بطوریکه امواج پس از طی مسافتی در درون پروب به سطح تماس می رسند و این مهمترین مزیت پروب های دو کریستاله است، زیرا فشار صوتی و منطقه مرده ( حوزه کور ) در داخل محفظه قرار گرفته و پالس های امواج متراکم در این حوزه، مانعی برای آزمایش قطعات کم ضخامت و تعیین عیوب نزدیک به سطح نخواهند بود.

#### ویژگیهای پروب دو کریستاله :

- ۱- برای اندازه گیری ضخامت های کمتر از ۱۰ میلی متر و تعیین عیوب نزدیک به سطح فقط از پروب دو کریستاله استفاده می گردد.
- ۲- در بسیاری از پروب های دو کریستاله، کریستال ها تحت زاویه ای بین ۱۰ تا ۱۴ درجه نسبت به محور افقی قرار می گیرند تا کمترین تداخل در مسیر رفت و برگشت امواج روی دهد و نتایج دقیق تری بدست آید.
- ۳- در بعضی از پروب های دو کریستاله، وظیفه کریستال گیرنده و کریستال فرستنده کاملاً متفاوت می باشد و به علت تفاوت در خاصیت هر کدام از کریستال ها، اتصال کابل های ارتباطی فرستنده و گیرنده با رنگ و کد مشخص می گردد.
- ۴- پروبهای دو کریستاله صفر درجه نسبت به سطوح زبر حساس تر می باشند.

#### ج - پروب های زاویه ای ( Angle Beam Probes )

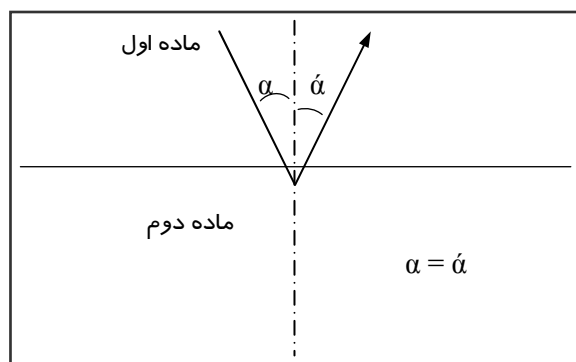
ساختمان کلی یک پروب زاویه ای تقریباً مشابه پروب های صفر درجه می باشد و ممکن است از یک یا چند کریستاله تشکیل شده باشد. در پروب های زاویه ای، ابتدا امواج به حالت طولی با شیب معینی تولید می گردد و در لحظه برخورد با سطح جسم مورد آزمایش، به امواج عرضی تبدیل می شود. تبدیل امواج طولی به عرضی به علت اعمال نیروی برشی توسط امواج طولی در مرز بین دو جسم روی می دهد. برای چنین منظوری، زاویه کریستال در پروب زاویه ای به شکلی طراحی می گردد که امواج پس از عبور از ماده جلوی کریستال و ماده رابط، به سطح جسم تحت آزمایش برخورد نموده و تحت زاویه معینی منکسر گردد.

## انعکاس و انکسار امواج :

وقتی امواج از یک محیط مادی به محیط مادی دیگری با خواص متفاوتی برسند، طبق دو تعریف زیر (الف و ب)، درصدی از امواج در برخورد با مرز بین دو محیط منعکس شده و در صد باقیمانده، از مرز بین دو محیط عبور خواهند نمود.

## الف - انعکاس امواج ( Reflection ) :

هر گاه امواج ماوراء صوت تحت زاویه معینی از یک ماده عبور کرده و به مرز جسم دیگری با ساختار و خواص فیزیکی متفاوت برخورد نمایند، تمام یا بخشی از امواج در مرز بین دو جسم منعکس خواهند شد ( شکل ۸-۲-الف ). اما چون هیچگاه دو جسم بدون جوشش قابل اتصال مطلق به یکدیگر نیستند از یک ماده رابط در بین دو جسم استفاده می شود.

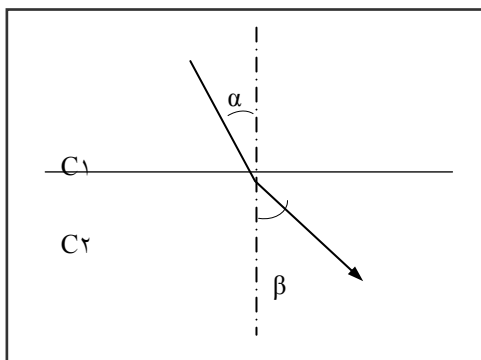


شکل ۸-۲-الف انعکاس امواج

## ب - انکسار امواج ( Refraction ) :

وقتی امواج ماوراء صوت به حالت شیب دار از یک جسم وارد جسم دیگری گردد، بعلت تفاوت در خواص فیزیکی بین دو جسم، بخشی از امواج تحت زاویه ای متناسب با خواص فیزیکی جسم دوم منکسر شده و با همان زاویه در جسم انتشار یابند ( شکل ۸-۲-ب ).

توضیح : در هر دو حالت فوق اتصال بین دو جسم بطور مطلق فرض شده است اما در عمل برای ارتباط بین دو جسم باید از ماده رابط استفاده گردد.



شکل ۲-۸ - ب انکسار امواج

برای استفاده از امواج عرضی در آزمایش های غیرمخرب ، ساختمان یک پروب زاویه ای طوری طراحی می شود، که امواج طولی پس از عبور از ماده جلوی کریستال و برخورد با سطح کار، تحت زاویه ای معین به امواج عرضی تبدیل گردند .

ماده جلوی کریستال های زاویه ای معمولاً از جنس پرس پکس می باشد که با جزئی تغییر تحت عناوین زیر نیز نام برده می شوند .

( Acrylic Resin ) , ( Plexi Glass ) , ( Perspex )

رابطه اسنل ( Snell's Law )

نسبت سینوس زاویای امواج در دو ماده با نسبت سرعت آنها در دو ماده متناسب بوده و طبق رابطه اسنل بیان می گردد ( رابطه ۲-۱ ) :

$$\text{رابطه اسنل (۲-۱)} \quad \sin \alpha / \sin \beta = C_1 / C_2$$

- $\alpha$  - زاویه انتشار امواج در ماده اول
- $C_1$  - سرعت انتشار امواج در ماده اول
- $\beta$  - زاویه انکسار امواج در ماده دوم
- $C_2$  - سرعت انتشار امواج در ماده دوم



## توضیح :

چنانچه زاویه انتشار در ماده اول بدرستی انتخاب نگردد، ممکن است، هردونوع موج طولی و عرضی در جسم دوم تولید شوند. درچنین حالتی تداخل امواج طولی و عرضی در جسم دوم، مانع نتیجه گیری دقیق آزمایش خواهد شد.

مجموعه واکنش ها

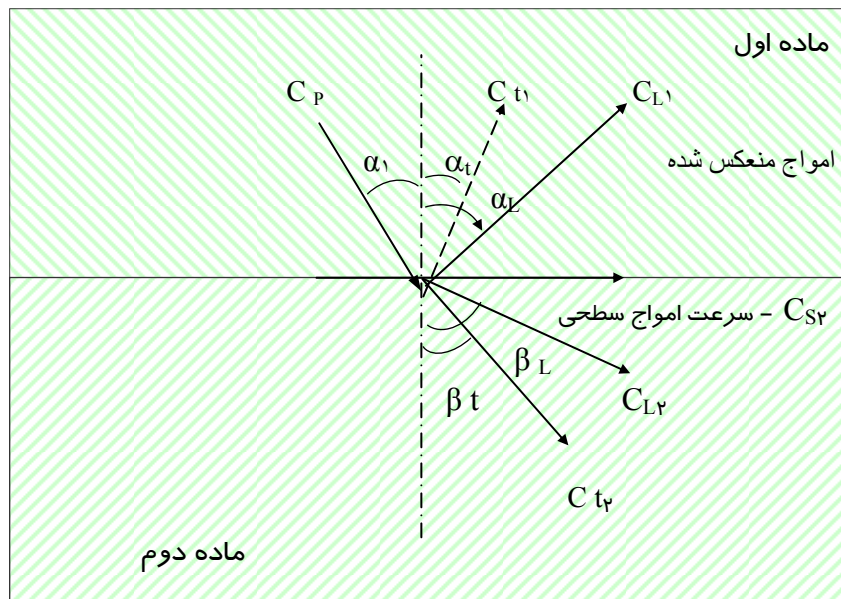
بطوریکه در شکل ۹-۲، مشاهده می شود، امواج با سرعت  $C_p$  و تحت زاویه  $\alpha_1$  در ماده اول ( پرس پکس ) انتشار یافته است. بخشی از امواج در برخورد با مرز بین دو ماده با ماهیت طولی و عرضی منعکس گردیده و باقیمانده امواج پس از ورود به ماده دوم بصورت امواج طولی و عرضی انکسار یافته اند.

طبق رابطه اسنل سینوس زوایای انعکاس و انکسار هریک از امواج نسبت به سرعت آنها ثابت و برابر می باشد، بنابراین مجموعه روابط بین امواج انعکاس یافته و منکسر شده در دو ماده را می توان به شرح زیر نوشت :

$$\frac{\sin \alpha_1}{C_p} = \frac{\sin \alpha_t}{C_{t_1}} = \frac{\sin \alpha_L}{C_{L_1}} = \frac{\sin \beta_t}{C_{t_2}} = \frac{\sin \beta_L}{C_{L_2}} \quad \text{رابطه ۳-۲}$$

$C_p$ - سرعت انتشار امواج طولی در ماده اول	$\alpha_1$ - زاویه انتشار امواج طولی در ماده اول
$C_{t_1}$ - سرعت انعکاس امواج عرضی در ماده اول	$\alpha_t$ - زاویه انعکاس امواج عرضی در ماده اول
$C_{L_1}$ - سرعت انعکاس امواج طولی در ماده اول	$\alpha_L$ - زاویه انعکاس امواج طولی در ماده اول
$C_{t_2}$ - سرعت انتشار امواج عرضی در ماده دوم	$\beta_t$ - زاویه انکسار امواج عرضی در ماده دوم
$C_{L_2}$ - سرعت انتشار امواج طولی در ماده دوم	$\beta_L$ - زاویه انکسار امواج طولی در ماده دوم

با توجه به اینکه امواج تحت زوایای متفاوتی در مواد انتشار می یابند، زاویه اولیه بر پایه یک شاخص مرجع طراحی می گردد و بدلیل کاربرد فراگیر فولاد، زاویه اسمی پروب ها براساس زاویه انتشار امواج در فولاد پایه گذاری شده است.



شکل ۹-۲، انعکاس و انکسار بین دو ماده

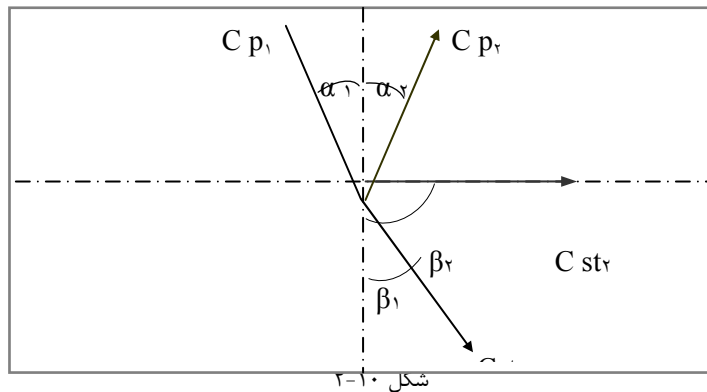
زوایای بحرانی ( Critical Angles ) :

۱ - زاویه بحرانی اول ( First Critical Angle ) :

زاویه بحرانی اول ، به حداقل زاویه انتشار امواج ماوراء صوت در درون یک پروب زاویه ای گفته می شود که در زمان ارسال امواج از پروب به جسم تحت آزمایش، امواج طولی از محیط آزمایش خارج شده و فقط امواج عرضی در جسم دوم باقی بماند. اندازه این زاویه در جسم اول ( پرس پکس )، برای پروب های عادی که مخصوص آزمایش فولاد طراحی شده اند  $27/3$  درجه خواهد بود.

روش محاسبه :

برای محاسبه زاویه بحرانی اول، باید زاویه انتشار امواج در ماده اول ( $\alpha_1$ ) به حدی برسد که امواج طولی تحت زاویه  $90^\circ$  از ماده دوم خارج گردد. این زاویه طبق رابطه اسنل به شرح زیر محاسبه می گردد ( شکل ۲-۱۰ ) :



$$\sin \alpha_1 / \sin \beta_2 = C_{p1} / C_{st2}$$

$$\sin \alpha_1 / \sin 90^\circ = 2.73 / 5.94$$

$$\sin \alpha_1 = 0.46$$

$$\alpha_1 = 27.3^\circ \quad \text{زاویه بحرانی اول}$$

$$\sin \alpha_1 / \sin \beta_1 = C_{p1} / C_{st1}$$

$$\sin 27.3^\circ / \sin \beta_1 = 2.73 / 3.24$$

$$\sin \beta_1 = 0.545$$

$$\beta_1 = 33^\circ \quad \text{زاویه انتشار در فولاد (زاویه بحرانی اول)}$$

$C_{p1}$  - سرعت امواج طولی در پرسی پکس (  $2/73$  کیلومتر در ثانیه )

$C_{st1}$  - سرعت امواج عرضی در فولاد (  $3/24$  کیلومتر در ثانیه )

$C_{st2}$  - سرعت امواج طولی در فولاد (  $5/94$  کیلومتر در ثانیه )

$\alpha_1$  - زاویه انتشار امواج در ماده اول

$\beta_2$  - زاویه انکسار امواج طولی در فولاد

$\beta_1$  - زاویه انکسار امواج عرضی در فولاد

از محاسبات فوق نتیجه می گیریم که وقتی زاویه انتشار امواج در ماده پرس پکس نسبت به محور عمودی از  $۲۷/۳$  درجه بیشتر گردد ، امواج طولی در محیط آزمایش اجسام فولادی وجود نخواهد داشت ( شکل ۲-۱۰ ) .

**توضیح :** چنانچه برای آزمایش فولاد به زاویه ای با شیب تندتر نیاز باشد (کمتر از  $۳۰$  درجه ) این زاویه تا  $۲۵$  درجه نیز قابل طراحی است . در این حالت امواج طولی و امواج عرضی هر دو همزمان در محیط آزمایش وجود خواهند داشت . درچنین شرایطی شکل هندسی قطعه مورد آزمایش بسیار حائز اهمیت است و در زمان آزمایش حتی الامکان باید از مخدوش شدن نتایج بعلت تداخل امواج طولی و عرضی پیش گیری نمود .

## ۲ - زاویه بحرانی ثانویه ( Second Critical Angle )

زاویه بحرانی ثانویه ، به حداکثر زاویه انتشار امواج طولی در ماده جلوی کریستال داخل پروب گفته می شود که بعد از آن امواج عرضی نیز از ماده دوم ( فولاد ) حذف گردد. ( شکل ۲-۱۱ ) .

اندازه زاویه بحرانی ثانویه برای انتشار امواج عرضی از رابطه زیر بدست می آید :

$$\sin \alpha_1 / \sin \beta_2 = C_{P1} / C_{St}$$

$$\sin \alpha / \sin 90 = ۲.۷۳ / ۳.۲۴$$

$$\alpha = ۵۷.۴^\circ$$

اما حداکثر زاویه قابل استفاده امواج عرضی در فولاد  $۸۰$  درجه است و پس از آن امواج به حالت سطحی عمل خواهند نمود. بنابراین در عمل ، زاویه بحرانی دوم می تواند فقط  $۵۶$  درجه باشد .

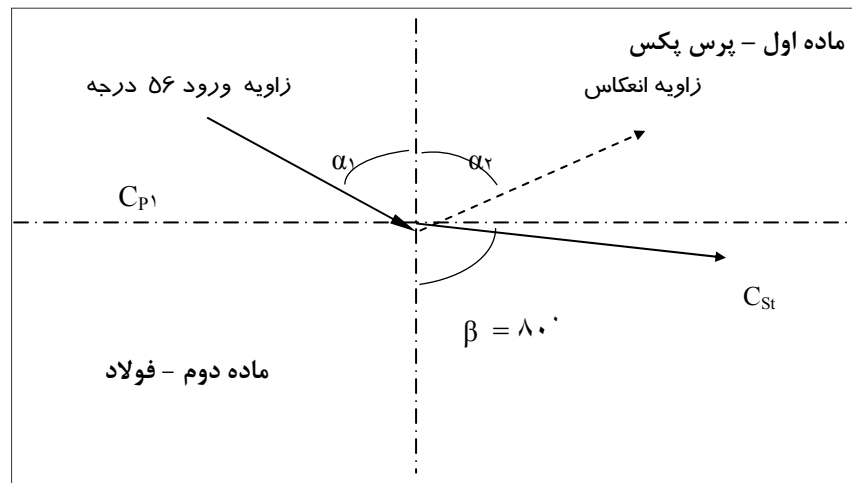
$$\sin \alpha_1 / \sin \beta_2 = C_{P1} / C_{St}$$

$$\sin \alpha / \sin 80 = ۲.۷۳ / ۳.۲۴$$

$$\alpha = ۵۶^\circ$$

$C_{P1}$  - سرعت امواج طولی در پرس پکس

$C_{St}$  - سرعت امواج عرضی در فولاد



### - مواد غیر فولادی

بر اساس آنچه که در بحث انعکاس و انکسار به تفصیل گفته شد، دانستیم که در یک پروب زاویه ای، ابتدا امواج به حالت طولی تولید می شود و پس از عبور از ماده پرس پکس، با نیروی برشی به سطح اجسام مورد آزمایش برخورد نموده و امواج برشی (عرضی) در محیط جدید تولید می گردد. از طرفی چون زاویه انتشار امواج عرضی نسبت به انتشار آن فولاد طراحی شده است، اگر ماده تحت آزمایش، غیر از مواد فولادی باشد، زاویه انتشار از رابطه اسنل و مانند مثال زیر محاسبه می گردد.

### مثال :

یک پروب زاویه ای ۴۵ درجه برای آزمایش قطعه ای از جنس مس بکار رفته است. زاویه انتشار آنرا در مس محاسبه می کنیم :

سرعت امواج عرضی در فولاد ۳/۲۳ کیلومتر بر ثانیه است .

سرعت امواج عرضی در مس ۲/۲۶ کیلومتر بر ثانیه است .

روش محاسبه :

$$\sin \alpha / \sin \beta = C_{ST} / C_{Cu}$$

$$\sin 45^\circ / \sin \beta = 3.23 / 2.26$$

$$\sin \beta = 0.494 \Rightarrow \beta = 29.6^\circ$$

$C_{ST}$  - سرعت امواج در فولاد

$C_{Cu}$  - سرعت امواج در مس

$\beta_1$  - زاویه انتشار امواج در مس

با توجه به مثال فوق می بینیم که انتشار امواج از یک پروب با زاویه اسمی ۴۵ درجه، در فلزی مانند مس با زاویه ۲۹/۶ درجه صورت می گیرد .  
مقادیر جرم مخصوص ، مقاومت ظاهری و سرعت انتشار امواج طولی ، عرضی و سطحی برای فلزات در جدول ۴-۱ و برای غیر فلزات در جدول ۴-۲ آمده است .

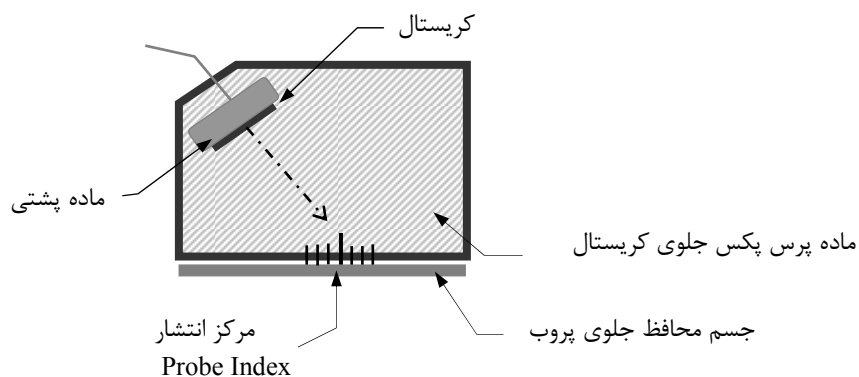
### ساختمان پروب زاویه ای

در شکل ۱۲-۲ ، ترکیب ساختمانی یک پروب زاویه ای دیده می شود . از فاکتور های مهم در ساخت پروب ها ، جنس کریستال ، ماده جلو و ماده پشت کریستال می باشند . ماده پشت کریستال علاوه بر نگهداری کریستال در وضعی پایدار ، باید بتواند ارتعاشات زائد را نیز جذب و به نوسانات کریستال حرکتی موزون بدهد .

معمولاً در پروب های زاویه ای بیشتر از کریستال های تیتانات باریم استفاده می شود . این نوع پیرو الکتریک با راندمان قوی در ریتم سازی و رزونانس، انرژی بازتابش را بخوبی آنالیز می نماید و از تفکیک سازی نسبتاً خوبی نیز برخوردار است . پروب های زاویه ای ممکن است از یک کریستال ، دو کریستال ( فرستنده و گیرنده ) و یا چند کریستال ترکیبی ساخته شوند . پروب های ترکیبی بیشتر برای سیستم های خودکار ( اتوماتیک ) کاربرد دارند .

زوایای متداول و اسمی پروب های زاویه ای تک و دو کریستاله ۳۵ ، ۳۸ ، ۴۵ ، ۶۰ ، ۷۰ و ۸۰ درجه می باشند و همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، این زوایا فقط براساس انتشار امواج در مواد فولادی طراحی گردیده اند .

توضیح : پروبهای زاویه ای با امواج طولی نیز وجود دارد که برای بعضی از مواد خاص کاربرد دارند اما برای فولادهای معمولی مناسب نمی باشند .



شکل ۲-۱۲

### مشخصات اسمی و ویژه پروب ها

هر نوع پروب اعم از صفر درجه ، زاویه ای ، تک و یا دو کریستاله دارای دو مشخصه فنی اسمی و ویژه می باشد . مشخصات اسمی بطور واضح و خوانا روی هر پروب نوشته می شود اما مشخصات ویژه که بصورت اطلاعات فنی همراه با پروب ارائه می گردد حاوی نکاتی است که فقط در یک کار آزمایشگاهی قابل بررسی خواهد بود .

#### ۱- مشخصات اسمی :

بطور معمول ، روی بدنه هر پروب مشخصات اسمی زیر نوشته می شود .

- تعداد کریستال ها Twin or Single
- ابعاد کریستال ( مساحت مؤثر ) Diameter
- فرکانس Frequency
- زاویه کریستال Probe Angle
- جنس کریستال Crystal Type
- مقاوم در برابر آب ( ضد نفوذ آب فقط برای روش غوطه ور )

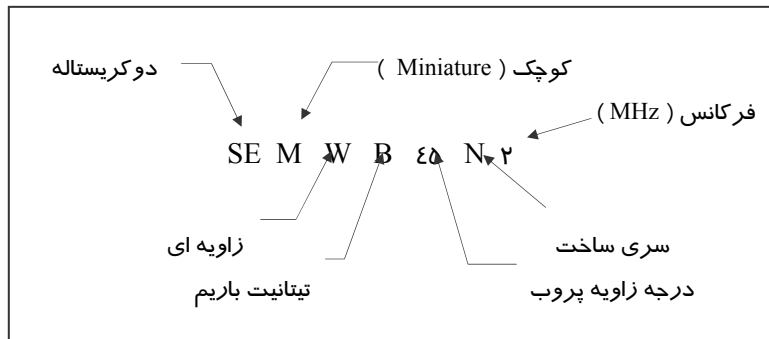
در صفحه بعد دو نمونه از مشخصات اسمی پروبها مشاهده می گردد .

مثال :

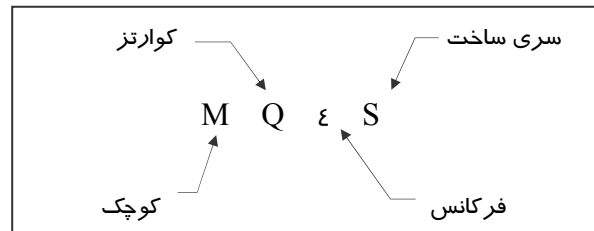
بعنوان نمونه مشخصات دو نوع پروب شرح داده می شوند .

پروپ زاویه ای SE M W B ۴۵ N ۲

پروپ زاویه ای دو کریستاله کوچک ، ۴۵ درجه ، ۲ مگاهرتز ، از جنس تیتانات باریم .

پروپ صفر درجه M Q ۴ S :

پروپ صفر درجه کوچک ، ۴ مگاهرتز ، از جنس کوارتز ، سری ساخت S



توضیح : منظور از سری ساخت، رده بندی تولید توسط سازنده پروپ می باشد .



## ۲ - مشخصات ویژه پروب ها :

در بازرسی های حساس و مهم، برای اندازه گیری بسیار دقیق ابعاد عیوب، لازم است تا کلیه فاکتورهای تأثیرگذار، مانند مختصات کانونی، زاویه انکسار، زاویه انعکاس، گستردگی طیف، انحراف از مرکز، قطر موثر و پارامترهای مهم دیگر برای هر پروب مشخص گردند.

به همین منظور اغلب سازندگان، برای ارزیابی عملی و قابل آزمایش، فهرستی از مشخصات فنی هر پروب را همراه با نمودار DGS عرضه می کنند. این اطلاعات شامل فاکتور هائی است که علاوه بر معرفی پروب، می توانند در اندازه گیری دقیق عیوب تأثیر داشته باشند.

فهرست زیر نمونه ای از اطلاعات ویژه مورد نیاز برای هر پروب می باشد که بعضی از این مشخصات، در بخش مربوطه بطور مفصل شرح داده می شوند.

فهرست اطلاعات ویژه پروب ها

- $f_n$  - Echo Frequency
- $F$  - Focal Distance
- $FT_n$  - Focal Depth
- $FL_n$  - Focal Length
- $D_{eff}$  - Effective Diameter
- $\beta$  - Refraction Angle
- $Z$  - Parallel Displacement
- $Y_n$  - Divergence Angle
- $Ta$  - Temperature Resistance
- $P$  - Pressure Resistance
- $M$  - Resistance to Wear
- $Vr$  - Gain Reserve
- $Ca$  - Cross-talk Distance
- $tn$  - Transmission Pulse-Resolution

## حوزه های صوتی

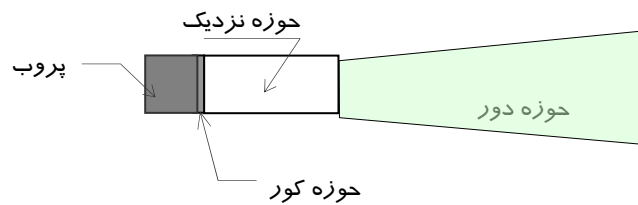
امواج ماوراء صوت در بدو انتشار از یک مولد پیزوالکتریک تحت فشارهای متلاطم و متراکم صوتی قرار گرفته و بتدریج با فاصله گرفتن از منبع، از شدت فشارها کاسته می شود و سپس مانند یک طیف نوری ( کیفی شکل ) مسیر خود را به سمت جلو ادامه می دهد .

اساساً شکل یک طیف، متناسب با تغییرات فشار صوتی، تغییر حالت می دهد بطوریکه تا فاصله کوتاهی از منبع را به حالت موازی ( سیلندری ) و سپس با زاویه معینی گسترده خواهد شد.

بطور کلی، هر طیف ساطع شده از یک منبع صوتی، در سه فاصله مختلف از منبع انتشار، با سه واژه حوزه کور، حوزه نزدیک و حوزه دور تعریف می شوند .

هر حوزه تحت ماهیت و ویژگی خاص خود، به نوعی در مکانیزم فیزیکی امواج تأثیر می گذارد و می تواند واکنش های متفاوتی را در برخورد با عیوب بوجود آورد . در این بخش به شرح هر یک از حوزه های صوتی پرداخته خواهد شد .

در شکل ۳-۱ ، نمونه ای از یک طیف امواج مشاهده می گردد، طیف ساطع شده به سه حوزه کور، نزدیک و دور تقسیم شده است .



شکل ۳-۱

## حوزه های صوتی :

### حوزه مرده ( Dead Zone ) :

این ناحیه قسمتی از حوزه نزدیک محسوب می شود که بعلت تأثیرگذاری قوی آن در فرآیند آزمایش آلتراسونیک بطور جداگانه تعریف می گردد . در این ناحیه، بازتابش امواج در سطح جلوی کریستال موجب فشار های صوتی متراکم و ناهماهنگ شده و تداخل امواج کروی و مسطح با فشار های متضاد شکل می گیرد .

بدلیل همین تداخل امواج و واکنش های انعکاسی شدید آن در سطح کریستال، نتایج بازتابش امواج در این ناحیه قابل تفسیر نمی باشد و به حوزه مرده و یا کور موسوم شده است .

### حوزه نزدیک یا فرزنل<sup>۱</sup> ( Near Zone ) :

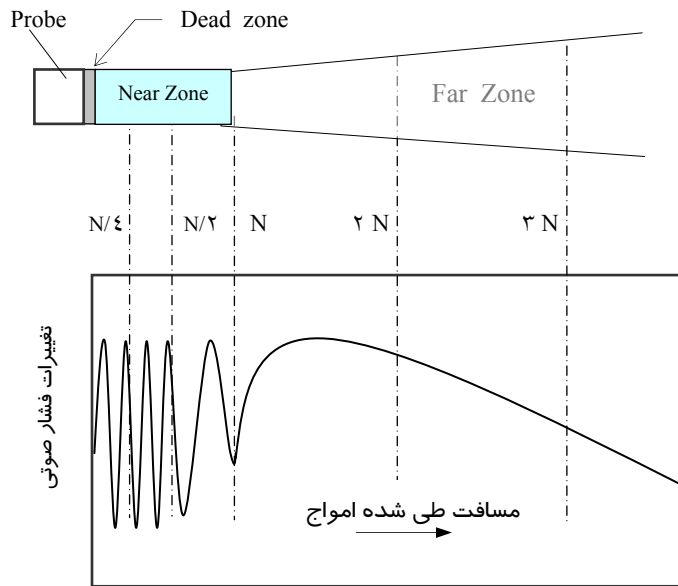
در تعریف ناحیه کور گفته شد که فشار های صوتی متراکم در ابتدای حوزه نزدیک موجب تداخل امواج می گردند و ناحیه ای خنثی را تشکیل می دهند . هرچه فاصله امواج از کریستال پیزوالکتریک دورتر گردد از شدت فشارهای متراکم کاسته شده و امواج آرامتر خواهند شد. به مسافتی که امواج صوتی با فشاری نسبتاً متراکم و به حالت موازی ( سیلندری ) انتشار یابند، حوزه نزدیک یا ناحیه فرزنل گفته می شود .

البته باید توجه داشت که کاهش تغییرات فشار های متراکم در حوزه نزدیک با آهنگی تدریجی صورت می گیرد، بطوریکه تا مسافتی از این حوزه نیز، واکنش امواج قابل تفسیر نخواهد بود .

اما علی رغم وجود فشار های صوتی متغییر در این ناحیه ، واکنش انعکاسی امواج دربرخورد با یک مانع بدون اتلاف انرژی صوتی صورت می گیرد و می توان گفت این حوزه مناسب ترین ناحیه برای ضخامت سنجی می باشد ، لیکن تعیین اندازه دقیق عیوب در این حوزه غیر ممکن خواهد بود .

بطوریکه در نمودار شکل ۲-۳ ، مشاهده می گردد، در ناحیه ای معادل نصف طول حوزه نزدیک، فشار های صوتی از صفر تا حداکثر دامنه در نوسان می باشند و پس از آن، روند صعودی و نزولی منظم تری بخود می گیرند.

۱ - Fresnel's Zone



شکل ۳-۲

### محاسبه طول حوزه نزدیک

طبق رابطه ۳-۱، طول حوزه نزدیک با فرکانس و قطر کریستال رابطه مستقیم و با سرعت انتشار امواج رابطه معکوس دارد.

$$N = D^2 \times f / 4 \times C \quad \text{رابطه ۳-۱}$$

$$\lambda = c / f$$

$$f / c = 1 / \lambda$$

$$N = D^2 / 4 \times \lambda$$

$N$  - حوزه نزدیک ( میلی متر ) .

$f$  - فرکانس ( مگاهرتز ) .

$c$  - سرعت امواج است ( کیلومتر در ثانیه ) .

$\lambda$  - طول موج ( میلی متر ) .

## حوزه دور ( Far Zone ) :

با نگاهی مجدد به شکل ۲-۳، می بینیم که فشارهای صوتی امواج، پس از طی مسافت حوزه نزدیک، بتدریج آرامتر گردیده و از فشارهای نامنظم آن کاسته شده است. این سیر صعودی و نزولی آرام، به علت گسترش و باز شدن فضای طیف روی می دهد. در این حوزه، امواج با فشاری نسبتاً یکنواخت انتشار می یابند و به همین دلیل، تشخیص واکنش امواج در برخورد با عیوب بسیار دقیق خواهد بود. امواج ماوراء صوت در ابتدای حوزه دور ( پس از حوزه نزدیک )، تحت زاویه ای معین و متناسب با طول موج و قطر پروب گسترش می یابد که اندازه زاویه آن از رابطه ۲-۳ محاسبه می گردد

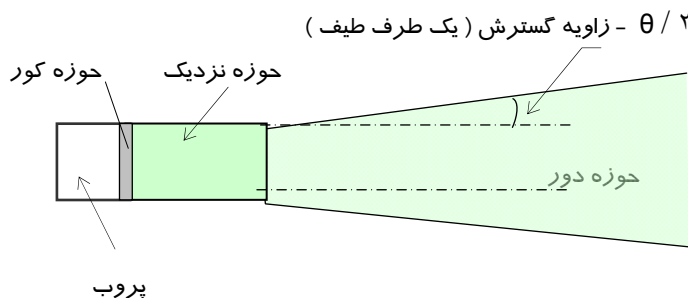
رابطه زاویه گسترش :

$$\sin \theta/2 = \lambda / D \quad \text{رابطه ۲-۳}$$

D - قطر کریستال ( به میلی متر )

$\lambda$  - طول موج ( به میلی متر )

$\theta$  - زاویه گسترش ( به درجه )

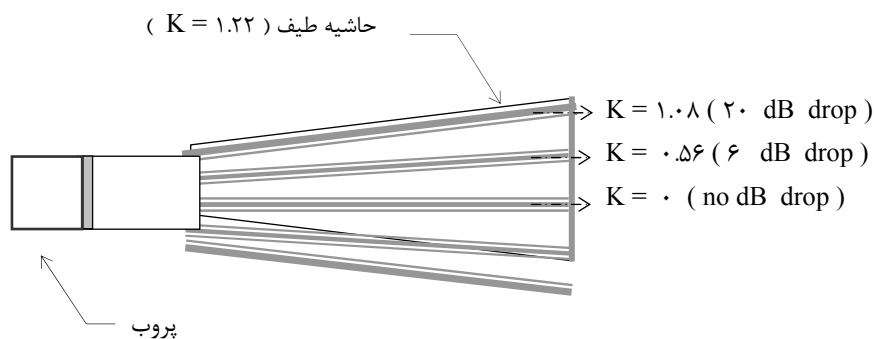


شکل ۳-۳

اصولاً، حد اکثر شدت امواج ماورء صوت در محور میانی یک پروب متمرکز است و در فواصل مختلف نسبت به این محور، از شدت آن کاسته خواهد شد. لذا برای محاسبه زاویه گسترش در هر ناحیه ( در حوزه دور ) علاوه بر پارامتر های رابطه ۲-۳، از فاکتوری بنام فاکتور گسترش نیز استفاده می گردد. فاکتور گسترش با حرف  $K$  نمایش داده می شود. هر چه فاکتور  $K$  بزرگتر باشد، زاویه انتشار امواج نسبت به مرکز انتشار بیشتر خواهد شد و در مقابل از شدت انرژی آن کاسته می شود ( شکل ۳-۴ ).

#### اندازه $K$ در فواصل مختلف از مرکز انتشار امواج :

- ۱ - برای حاشیه امواج  $K = ۱.۲۲$  ؛  
با قرار دادن این ضریب در رابطه ۲-۳، حداکثر زاویه گسترش بدست خواهد آمد.
- ۲ - برای حاشیه افت ۲۰ دسی بل  $K = ۱.۰۸$  ؛  
با قرار دادن این ضریب در رابطه ۲-۳، زاویه گسترش برای ناحیه افت ۲۰ دسی بل بدست می آید که دامنه پالس بازتابش آن نسبت به مرکز ۹۰٪ افت خواهد داشت.
- ۳ - برای منطقه افت ۶ دسی بل  $K = ۰.۵۶$  ؛  
با این ضریب زاویه گسترش در ناحیه افت ۶ دسی بل بدست می آید.
- ۴ - مرکز انتشار امواج  $K = ۰$  ( زاویه انتشار صفر خواهد شد ).



شکل ۳-۴

مثال :

یک قطعه از جنس فولاد با پروب صفر درجه به قطر ۱۰ میلی متر و فرکانس ۲/۵ مگاهرتز آزمایش می گردد. حداکثر زاویه گسترش در حاشیه حوزه دور محاسبه می شود.

K - ضریب گسترش ۱.۲۲

C - سرعت امواج طولی در فولاد  $5.9 \times 10^6$  m/secf - فرکانس  $2.5 \times 10^6$  Hz

روش محاسبه :

$$\sin \theta/2 = K \times \lambda / D$$

$$\lambda = C / f$$

$$5.9 \times 10^6 / 2.5 \times 10^6 = 2.38 \text{ mm}$$

$$\sin \theta/2 = k \times \lambda / d$$

$$1.22 \times 2.38 / 10 = 0.29$$

$$\theta/2 = 16.88 \text{ deg.}$$

اگر در این مثال بجای پروب ۲/۵ از یک پروب ۵ مگاهرتز با همان مشخصات استفاده شود اندازه زاویه گسترش به شرح زیر کاهش می یابد :

$$\lambda = c / f$$

$$\lambda = 5.9 \times 10^6 / 5 \times 10^6 \Rightarrow 1.19 \text{ mm}$$

$$\sin \theta/2 = K \times \lambda / d$$

$$1.22 \times 1.19 / 10 \Rightarrow 0.145$$

$$\theta/2 = 8.16 \text{ deg.}$$

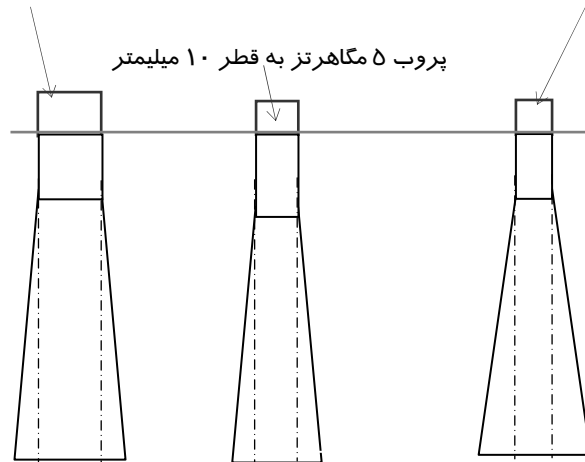
زاویه محاسبه شده مربوط به یک طرف گسترش طیف می باشد و زاویه کامل گسترش دو برابر اندازه بدست آمده خواهد بود.

از این مثال چنین نتیجه می شود که زاویه گسترش رابطه عکس با فرکانس دارد و با دو برابر شدن فرکانس، زاویه گستردگی امواج به نصف رسیده است.

برای روشنتر شدن مطلب، زوایای گسترش سه نمونه پروب با قطر و فرکانس متفاوت در شکل ۳-۵، مقایسه شده اند.

با توجه به شکل می بینیم که زاویه گسترش یک پروب ۲/۵ مگاهرتز به قطر ۲۰ میلی متر با زاویه گسترش یک پروب ۵ مگاهرتز به قطر ۲۰ میلی متر برابر می باشد و زاویه گسترش یک پروب ۲/۵ مگاهرتز به قطر ۱۰ میلی متر از دو پروب دیگر بیشتر شده است.

پروب ۲/۵ مگاهرتز به قطر ۱۰ میلی متر      پروب ۲/۵ مگاهرتز به قطر ۲۰ میلی متر



زاویه گسترش ۱۶/۸۸

زاویه گسترش ۳۳/۷ درجه

زاویه گسترش ۱۶/۸۸

#### توضیح مهم :

بجز چهار ناحیه فوق، در هر ناحیه دیگری از طیف، تغییر زاویه گسترش و افت دسی بل وجود خواهد داشت و انتخاب این چهار ناحیه فقط بدلیل تناسب رابطه لگاریتمی زیر بوده است.

$$\Delta dB = 10 \cdot \log \frac{A_1^2}{A_2^2} \quad \text{رابطه ۴-۵، (بخش ۴)}$$

A<sub>1</sub> - ارتفاع پالس انعکاسی از مرکز انتشار پروب در صفحه تصویر

A<sub>2</sub> - ارتفاع پالس انعکاسی از سایر نواحی در صفحه تصویر



چند نتیجه گیری

- ۱ - طول و فاصله حوزه کور به سه عامل اصلی جنس ماده مورد آزمایش، فرکانس امواج و قطر پروب بستگی دارد. البته عامل دیگری مانند مقاومت ظاهری کابل اتصال پروب نیز ممکن است در اندازه حوزه کور تاثیر داشته باشد.
- ۲- تا فاصله حداقل یک سوم طول حوزه نزدیک، فشارهای صوتی مانع تشخیص دقیق واکنش امواج خواهند شد و تفسیر پالس های صفحه تصویر در این ناحیه غیر ممکن است.
- ۳ - هرچه امواج از حوزه نزدیک (N) دورتر گردد، فشارهای صوتی منظم تر و توانائی امواج در شناسائی عیوب بهتر خواهد شد.
- ۴ - اندازه گیری و ارزیابی عیوب در فاصله بیش از سه برابر طول حوزه نزدیک به مراتب دقیق تر می باشد و تعیین حد بحرانی ابعاد عیوب<sup>۱</sup> فقط در حوزه دور امکان پذیر است.
- ۵ - در حوزه دور، نسبت شدت دامنه بازتابش امواج از دو مانع (عیب)، با فاصله هرکدام تا منبع تابش، تابع قانون مربع معکوس می باشد. از این قانون می توان برای اندازه گیری نسبی ابعاد عیوب استفاده نمود (بدون احتساب اتلاف انرژی).

$$I_1 / I_2 = (d_2 / d_1)^2$$

$I_1$  - شدت واکنش از مانع اول (ارتفاع پالس)

$I_2$  - شدت واکنش از مانع دوم (ارتفاع پالس)

$d_1$  - فاصله مانع اول تا منبع انتشار

$d_2$  - فاصله مانع دوم تا منبع انتشار

- ۶ - بیشترین حد اتلاف انرژی صوتی در محدوده حوزه دور روی می دهد و به همین دلیل اندازه گیری اتلاف انرژی صوتی در فاصله بیش از سه برابر حوزه نزدیک انجام می گیرد.
- ۷ - هرچه قطر پروب (قطر کریستال) بزرگتر و فرکانس بیشتر باشد طول حوزه نزدیک بیشتر و زاویه گسترش کمتر خواهد شد.

---

1 - Critical Flaw Size

## بخش چهارم

### عوامل و فاکتور های اساسی

مکانیزم آزمایش آلتراسونیک متکی به پدیده مکانیکی ارتعاش ذرات است که در نتیجه انتقال انرژی جنبشی از هر ذره به ذره دیگر، امواج تولید و انتشار می یابند. به همین جهت خواص مکانیکی ماده و فرکانس ارتعاش ذرات در شیوه انتشار امواج تأثیر می گذارند

در این بخش به شرح عواملی نظیر مقاومت ظاهری، شدت صوت، فرکانس، اتلاف انرژی صوتی، شکل هندسی عیوب و فاکتورهای مهم دیگری خواهیم پرداخت که در انتشار، انتقال، انعکاس، انکسار و سایر واکنش های امواج تأثیر می گذارند.

#### مقاومت ظاهری ( Impedance ) :

همانطور که قبلا اشاره شد، امواج ماوراء صوت از نوع امواج مکانیکی هستند که با طول موجهای معینی در محیط های مادی با خواص الاستیک انتشار می یابند. سرعت انتشار امواج ماوراءصوت به فاکتورهای نظیر چگالی، حالت جرمی و فیزیکی ماده ( جامد، سیال، گاز ) و خواص الاستیکی ماده بستگی دارد که مجموعه این عوامل در واژه امپدانس یا مقاومت ظاهری تعریف می گردد.

امپدانس یا مقاومت ظاهری نشان دهنده قابلیت هدایت امواج ماوراءصوت توسط یک ماده با خواص فیزیکی مشخص می باشد.

$$Z = \rho \times c$$

رابطه ۴-۱، مقاومت ظاهری

Impedance ( gr./cm <sup>۲</sup> .Sec )	Z - مقاومت ظاهری ماده
Density ( gr. / cm <sup>۳</sup> )	ρ - چگالی یا غلظت ماده
Velocity ( cm / Sec. )	c - سرعت انتشار امواج ماوراء صوت در ماده

با توجه به رابطه فوق، چگالی و سرعت دو عامل اصلی تعیین کننده مقاومت ظاهری هر ماده محسوب می شوند. در این رابطه سرعت بستگی به نوع انتشار امواج، حالت جرمی ماده و خاصیت الاستیکی آن دارد. هر چه کمیت امیدانس یک ماده بیشتر باشد قابلیت هدایت امواج آن زیاد تر خواهد بود. اصولاً کلیه مواد به لحاظ قابلیت انتقال امواج بدو دسته سخت صوت<sup>(۱)</sup> و نرم صوت<sup>(۲)</sup> تقسیم می شوند موادی که در مقابل عبور و انتقال امواج مقاوم تر باشند سخت صوت و موادی که امواج را آسان تر عبور دهند، نرم صوت می گویند

### ضرایب انتقال و انعکاس امواج

وقتی امواج ماوراء صوت از یک ماد عبور نموده و به مرز ماده دیگری برسند، به علت تفاوت در امیدانس دو ماده، قسمتی از امواج در مرز بین دو ماده منعکس و باقیمانده آن به درون ماده دوم انتشار می یابند. مقادیر انعکاس و نفوذ امواج در مرز بین دو ماده، با ضرایب نفوذ و انعکاس معرفی می شوند.

#### ۱ - ضریب نفوذ ( Permeability Factor ) :

به در صدی از امواج ماوراء صوت گفته می شود، که از مرز بین دو ماده غیر همجنس عبور نموده و در ماده دوم انتشار می یابند ( رابطه ۲-۴ ).

$$P = \frac{4 (Z_2 \times Z_1)}{(Z_2 + Z_1)^2} \quad \text{رابطه ۲-۴، ضریب عبور}$$

P - ضریب عبور امواج ( نفوذ کرده )

Z<sub>۱</sub> - مقاومت ظاهری ماده اول

Z<sub>۲</sub> - مقاومت ظاهری ماده دوم

۱- Sonically Hard      ۲ - Sonically Soft

## ۲ - ضریب انعکاس ( Reflection Factor )

به در صدی از امواج ماوراء صوت گفته می شود که در لحظه برخورد در مرز بین دو ماده غیر همجنس، منعکس می گردند ( رابطه ۴-۳ ) .

$$R = (Z_2 - Z_1)^2 / (Z_2 + Z_1)^2 \quad \text{رابطه ضریب انعکاس ( ۴-۳ )}$$

R - ضریب انعکاس امواج

$Z_2, Z_1$  - مقاوت ظاهری ماده اول و دوم

از دو رابطه ۴-۲ و ۴-۳ نتیجه زیر بدست می آید :

مجموع در صد امواج عبور کرده و انعکاس یافته، با مجموع امواج اولیه ورودی در مرز بین دو ماده، برابر خواهند بود .

## نکته مهم :

چون مقاومت ظاهری هوا در مقابل عبور امواج ماوراء صوت در حد صفر می باشد، از اینرو اگر بین پروب و جسم مورد آزمایش هوا قرار گیرد، انتقال امواج صورت نخواهد گرفت و تمامی امواج در مرز تماس، برگشت می شوند. به همین منظور در انجام آزمایش ها، از یک سیال برای جایگزینی هوا استفاده می گردد . اما چون مقاومت ظاهری جسم با مقاومت ظاهری سیال، یکسان نمی باشد، در لحظه برخورد امواج به سیال نیز، واکنش های انعکاس و انکسار، طبق دو تعریف فوق روی خواهند داد.

## چند مثال :

مثال ۱ : در زمان آزمایش یک قطعه فولادی ، از آب بعنوان سیال رابط<sup>۱</sup> ( جایگزین هوا ) استفاده شده است ، چند در صد از امواج از آب عبور می نمایند و چند در صد قبل از ورود به قطعه منعکس خواهند شد ؟

$$Z_1 = 1.5 \cdot 10^5 \text{ gr/cm}^2 \cdot \text{sec.} \quad \text{مقاومت ظاهری آب}$$

$$Z_2 = 46 \cdot 10^5 \text{ gr/cm}^2 \cdot \text{sec} \quad \text{مقاومت ظاهری فولاد}$$

1 - Couplant Media

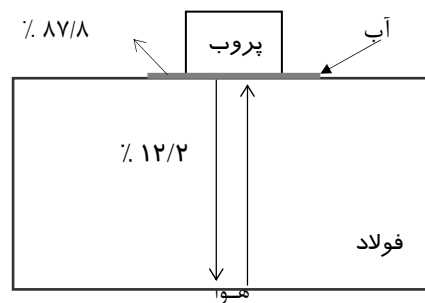
راه حل :

$$P = 4 Z_1 x Z_2 / (Z_1 + Z_2)^2$$

$$\frac{4 (46 \times 1.5) \times 10^{-10}}{(46 + 1.5)^2 \times 10^{-10}}$$

$$P = 0.122 \Rightarrow 12\%$$

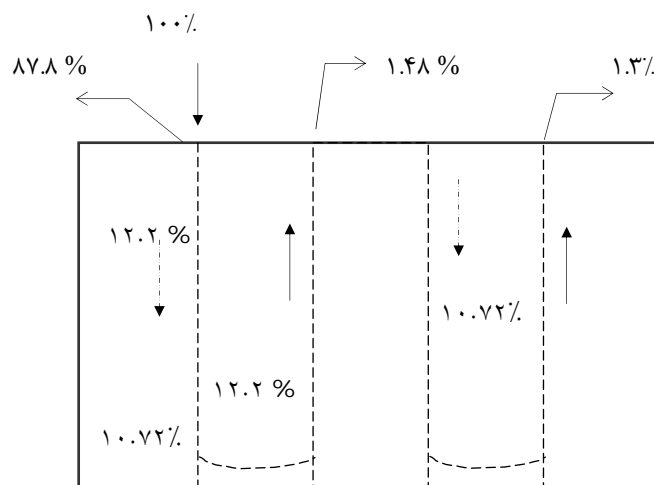
در صد امواج نفوذ کرده ۱۲.۲٪

در صد امواج منعکس شده ۸۷.۸٪  $R = 100 - 12.2 = 87.8\%$ 

شکل ۴-۱ - الف

بطوریکه در شکل ۴-۱ - الف دیده می شود، از مجموع ۱۰۰٪ امواج اولیه در برخورد با آب، فقط ۱۲/۲ در صد آن عبور کرده و ۸۷/۸ در صد آن در همان لحظه برخورد در مرز بین آب و فولاد منعکس شده اند. همین فرایند در زمان برگشت امواج از فولاد به آب نیز روی خواهد داد.

با توجه به نتیجه مثال می بینیم که سیال جایگزین هوا، خود مانعی برای عبور امواج بوده است بنابراین با انتخاب یک ماده رابط با امپدانس بیشتر، امکان عبور امواج بیشتری فراهم خواهد شد. در شکل ۱-۴ ب، نسبت عبور امواج در مرز بین آب و فولاد در چند واکنش تکراری مشاهده می گردد.



شکل ۱-۴ - ب

در مثال دیگری، بجای آب، از روغن موتور و گلیسرین، بعنوان سیال رابط استفاده می گردد، تفاوت در صد عبوردهی امواج مقایسه می شوند ( جداول ۱-۴ و ۲-۴ ).

$$Z_{FE} (Z_1) = 46 \cdot 10^5 \text{ gr / cm}^2 \cdot \text{sec.} \quad \text{امپدانس فولاد}$$

$$Z_{OIL} (Z_2) = 1.27 \cdot 10^5 \text{ gr / cm}^2 \cdot \text{sec.} \quad \text{امپدانس روغن}$$

$$Z_{GL} (Z_3) = 2.46 \cdot 10^5 \text{ gr / cm}^2 \cdot \text{sec.} \quad \text{امپدانس گلیسرین}$$

محاسبه برای روغن موتور

$$\frac{4(Z_2 \times Z_1) \times 10^{10}}{(Z_2 + Z_1)^2 \times 10^{10}}$$

$$(Z_2 + Z_1)^2 \times 10^{10}$$

$$P = 4(58.4) / 2234.5 = 0.10$$

۱۰٪ در صدامواج عبور کرده از روغن موتور

در صد امواج منعکس شده  $R = 100 - 10 = 90\%$

محاسبه برای گلسرین

$$P = 4 (Z_3 \times Z_1) / (Z_3 + Z_1)^2$$

$$P = 4 (2.46 \times 46) / (2.46 + 46)^2 = 0.192$$

$$R = (Z_3 - Z_1)^2 / (Z_3 + Z_1)^2 \quad \text{محاسبه در صد انعکاس از رابطه ۳-۴}$$

$$R = (2.46 - 46)^2 / (2.46 + 46)^2 = 0.808 \Rightarrow 80.8\%$$

در صد امواج عبور کرده از گلسرین ۱۹.۲٪

$$R = 100 - 19.2 = 80.8 \% \quad \text{در صد امواج منعکس شده}$$

از محاسبات فوق نتیجه می گیریم که گلسرین به دلیل مقاومت ظاهری بالاتر نسبت به آب و روغن موتور، امواج بیشتری را از خود عبور می دهد. اما انتخاب سیال رابط به عوامل دیگری مانند موقعیت و شرایط سطح کار، امکان تامین و مهمتر از آن هزینه تمیزکاری بعد از آزمایش بستگی پیدا می کند.

**چند توصیه :**

- ۱ - نتایج واکنش های عبور و انعکاس امواج، از سیال به جسم و یا از جسم به سیال تفاوت نخواهند داشت، بنابراین نتیجه محاسبه از هر سمت برابر خواهد بود.
- ۲ - روی سطوح زبر و ناهموار و همچنین سطوح قوس دار، از گریس معمولی با رنگ روشن استفاده می شود تا ضمن پر نمودن ناهمواری ها، مانع سایش پروب گردد.
- ۳ - ترکیب آب و گلسرین، سیالی مناسب برای اغلب آزمایش ها می باشد.
- ۴ - برای آزمایش روی سطوح صاف مانند ورق های فولادی، آب و یا مخلوط آب و گلیسرین سیال مناسبی می باشد. این امر علاوه بر ارزانی سیال، هزینه تمیزکاری را نیز کاهش می دهد.

جدول ۱-۴، (جرم مخصوص، سرعت و مقاومت ظاهری فلزات)

مقاومت ظاهری $10^5 \text{ gr} / \text{cm}^2$	سرعت $10^5 \text{ cm} / \text{sec}$			جرم مخصوص $\text{gr} / \text{cm}^3$	جنس مواد فلزات
	سطحی	عرضی	طولی		
۴۶/۳	۳	۳/۲۴	۵/۹۴	۷/۸۵	فولاد های کربنی
۴۶	۳	۳/۲۳	۵/۹	۷/۸۶	آلیاژی
۴۲-۲۵	-	۳/۳-۲/۲	۷/۳-۳/۵	۷/۳-۶/۹	چدن <sup>۱</sup>
۴۶	-	۳/۲۵	۶	۷/۷	فولاد ابزار
۴۴/۷	۲/۹۵	۳/۱۲	۵/۶۶	۷/۹	فولاد ضد زنگ ۳۰۲
۴۱/۳	۲/۱۶	۲/۹۹	۵/۳۹	۷/۶۷	فولاد ضد زنگ ۴۱۰
۴۶/۳		۳/۳	۶/۰۲	۷/۷	فولاد ضد زنگ ۴۳۰
۱۷/۲	۲/۹	۳/۱	۶/۳۵	۲/۷۱	آلومینیوم ۱۱۰۰
۱۷/۵	۲/۷۹	۳/۱	۶/۲۵	۲/۸	آلومینیوم آلیاژی
۴۲	۱/۹۳	۲/۲۶	۴/۷	۸/۹	مس ۱۱۰
۳۷	۱/۵۷	۲/۲	۴/۴	۸/۴	برنج (براس)
۲۴/۵	۰/۶۴	۰/۷۰	۲/۱۶	۱۱/۳۴	سرب خالص
۲۴/۵	۰/۷۳	۰/۸۱	۲/۱۶	۱۰/۸۸	سرب سخت
۴۹/۵	۲/۶۴	۲/۹۶	۵/۶۳	۸/۸	نیکل خالص
۴۹/۵	۲/۷۹	۳	۵/۸۲	۸/۵	این کونل Inconel
۹۹/۸	۲/۶۵	۲/۸۷	۵/۱۸	۱۹/۲۵	تنگستن
۳۸	-	۱/۵۹	۳/۶	۱۰/۵	نقره
۶۳		۱/۲	۳/۲۴	۱۹/۳	طلا
۳۰	۲/۳۲	۲/۴۱	۴/۱۷	۷/۱	روی
۲۴	۱/۵۸	۱/۶۷	۳/۳۲	۷/۳	قلع

۱ - بعلا متغییر بودن خواص شیمیائی بعضی از مواد، در ستون مقابل آن ها دو عدد حداقل و حداکثر نوشته شده است.



جدول شماره ۴-۲، (جرم مخصوص، سرعت و مقاومت ظاهری غیر فلزات)

مقاومت ظاهری $10^5 \text{ gr/cm}^2$	سرعت $\text{cm/sec}$ $10^5$			جرم مخصوص $\text{gr/cm}^3$	جنس مواد غیر فلزات
	سطحی	عرضی	طولی		
۳/۲	۱/۱۱	۱/۱۳	۲/۷۳	۱/۱۸	پرس پکس
۱۴/۴	۳/۱۴	۳/۴۳	۵/۷۷	۲/۵	شیشه ورقه ای
۱۲/۴	۳/۱۳	۳/۴	۵/۵۷	۲/۲۲	شیشه پایرکس Pyrex
۱۴/۵	-	۳/۵۲	۵/۵۷	۲/۶	شیشه کوارتز
۱۵/۲	-	۳/۸	۵/۷۳	۲/۶۵	کوارتز طبیعی
۲/۷-۱/۸	-	-	۲/۲-۱/۸	۱/۲-۱	نایلون (پلی آمیدها)
۲/۹۷	-	۰/۵۵	۱/۳۵	۲/۲	تفلن
۱/۲	-	۱/۱	۲/۹-۲/۴	۱/۲-۱/۱	صمغ اوپکسید
۱/۸	-	-	۲/۲	۰/۹	شمع پارافین
۲/۸	-	-	۲/۳	۱/۶-۱/۲	لاستیک سخت
۲/۷	-	-	۵/۱	۵/۴	باریم
۲/۳	-	-	۰/۹۸	۳/۲۳	متیلن
۲/۴	-	-	۱/۹۲	۱/۲۶	گلیسرین مایع
۱/۸	-	-	۱/۶۶	۱/۱۱	گلایکول
۱/۵	-	-	۱/۷۴	۰/۸۷	روغن موتور ۲۰ SAE
۱/۲۷	-	-	۱/۳۸	۰/۹۲	روغن ترانسفرمر
۹/۹-۶/۷	-	۳/۹۸	۶/۶۶	۱۰-۱۵	تنگستن کاربید
۱/۵	-	-	۱/۴۸	۱	آب ۲۰ درجه C
۰/۰۰۰۰۴	-	-	۰/۳۳۰	۰/۰۰۱۳	هوا
۳/۶	-	۱/۹۹	۳/۹۸	۰/۹	یخ

بدلیل متغییر بودن خواص شیمیایی بعضی از مواد، در ستون مقابل آن ها دو عدد حداقل و حداکثر نوشته شده است.

شدت صوت Acoustical Intensity

در بحث آلتراسونیک، کمیت انرژی واکنش امواج در برخورد با یک مانع، با واحد شدت صوت، دسی بل تعریف می شود و عبارتست از، مقدار انرژی مکانیکی برگشت شده به سمت کریستال گیرنده، که به انرژی الکتریکی تبدیل می گردد .

دسی بل و بل ( Bel & Decible )

بل یک واحد بدون بعد است که نسبت بین دو شدت را بیان می کند و دسی بل واحد کوچکتر آن ( یکدهم بل ) برای اندازه گیری شدت صوت بین دو مرجع صوتی بکار می رود . مثلا اگر دو منبع صوتی  $P_1$  و  $P_2$  وجود داشته باشند . برای بیان کمیت بین این دو منبع صوتی، گفته می شود،  $P_1$  معادل  $n$  دسی بل از  $P_2$  بزرگتر است .  
نسبت بین دو شدت صوت، از رابطه زیر تعیین می گردد :

$$n \text{ dB} = 10 \log_{10} P_1 / P_2 \quad \text{رابطه ۴-۴}$$

$P_1$  - شدت صوت اولیه

$P_2$  - شدت صوت ثانویه

اما چون شدت صوت نسبتی از مربع دامنه می باشد، لذا رابطه فوق برحسب دامنه پالس ها به شکل زیر نوشته می شود .

$$n \text{ dB} = 10 \log_{10} (A_1 / A_2)^2 \quad \text{رابطه ۴-۵}$$

$A_1$  - دامنه پالس اولیه

$A_2$  - دامنه پالس ثانویه

**مثال ۱ :**

شدت امواج منعکس شده از دو عیب، با دو ارتفاع در صفحه تصویر دستگاه دیده می شوند. ارتفاع پالس اول  $A_1 = 5 \text{ cm}$  و ارتفاع پالس دوم  $A_2 = 1 \text{ cm}$  می باشد . برای مقایسه ابعاد عیوب، اختلاف دسی بل بین دو پالس محاسبه می گردد .

$$n \text{ dB} = 10 \log (A_1 / A_2)^2 = 20 \log (A_1 / A_2)$$

$$n \text{ dB} = 20 \log (5 / 1) = 20 (\log 5 - \log 1) = 20 \times 0.699$$

$$n = 14 \text{ dB}$$

در مثال فوق برای معادل سازی پالس دوم با پالس اول، امپلی فایردستاده باید ۱۱ دسی بل تقویت گردد و از این طریق، می توان نسبت بین ابعاد دو مانع را تعیین نمود.

### مثال ۲:

در بخش حوزه های صوتی گفته شد که، در ناحیه افت ۲۰ دسی بل، ارتفاع پالس واکنش یک مانع به حد ۱۰٪ ارتفاع مرجع می رسد. با این فرضیه علت اختلاف دسی بل و افت ارتفاع را برای این ناحیه محاسبه می کنیم:

$$n \text{ dB} = 20 \text{ Log} (A_1 / A_2)$$

در ناحیه افت ۲۰ دسی بل، ارتفاع پالس باید به حد ۱۰٪ ارتفاع پالس مرجع برسد.

$$n \text{ dB} = 20 \text{ Log} (100 / 10)$$

$$n \text{ dB} = 20 (\text{Log} 100 - \text{Log} 10) = 20 (2 - 1)$$

$$n \text{ dB} = 20 \text{ dB} \quad \text{تفاوت ۲۰ دسی بل شده است}$$

در این مثال می بینیم، برای برابری ارتفاع پالس ۱۰٪ با ارتفاع پالس ۱۰۰٪، آمپلی فایر باید ۲۰ دسی بل تقویت گردد.

در جدول ۴-۳، نسبت های بین دسی بل و ارتفاع پالس های صفحه تصویر ملاحظه می شود که برای استفاده، باید به دو نکته مهم زیر توجه شود:

۱ - نسبت های جدول، برای موادی بدون اتلاف انرژی صوتی نوشته شده و در صورت لازم، مقدار اتلاف انرژی صوتی باید جداگانه محاسبه گردد.

۲ - بمنظور تعیین دسی بل برای ارقامی بیش از حدود جدول (بیش از ۱۴ دسی بل) مانند مثال ۳ عمل شود.

## مثال ۳:

آمیپلی فایردستگاه ۲۷ دسی بل تقویت شده است ، ارتفاع پالس جدید محاسبه می گردد .

## راه حل :

۱ - در جدول ۳-۴ دو عددی را که مجموع آن ها ۲۷ دسی بل بشود ( مثلا ۱۴ و ۱۳ دسی بل ) انتخاب می کنیم .  
 $14 \text{ dB} + 13 \text{ dB} = 27 \text{ dB}$

۲ - مقابل عدد ۱۴ دسی بل، عدد ۵ و مقابل ۱۳ دسی بل، عدد ۴/۴۷ نوشته شده است .

۳ - این دو عدد در هم ضرب می شوند .  $5 \times 4.47 = 22.35$

عدد بدست آمده ، نسبت تقویت ارتفاع پالس برای شدت ۲۷ دسی بل است . در صورت افزایش ۲۷ دسی بل به آمپلی فایر دستگاه، ارتفاع پالس آن ۲۲/۳۵ برابر بلندتر خواهد شد.

جدول ۳-۴ مقایسه ارتفاع دامنه با افزایش دسیبل

دسی بل ( dB )	نسبت افزایش دامنه ( برابر ارتفاع )
۱	۱/۱۲
۲	۱/۲۶
۳	۱/۴۱
۴	۱/۵۹
۵	۱/۷۸
۶	۲
۷	۲/۲۴
۸	۲/۵۱
۹	۲/۸۲
۱۰	۳/۱۶
۱۱	۳/۵۵
۱۲	۳/۹۸
۱۳	۴/۴۷
۱۴	۵

## رابطه پالس و فرکانس

همانطور که قبلاً در تعریف پالس های آلتراسونیک گفته شد، هر پالس از یک دسته موج تشکیل شده که در واحد زمان تکرار می گردد. برای روشنتر شدن ارتباط بین فرکانس و پالس و همچنین تأثیر هر کدام در آزمایش آلتراسونیک به تعاریف زیر توجه گردد :

- ۱ - فرکانس ( Frequency ) عبارت است از تعداد نوسانات امواج در هر ثانیه .
- ۲ - پالس ( Pulse ) عبارت است از گروه کوچکی از امواج ( یک دسته موج )، که در واحد زمان بطور مشابه تکرار می گردند.
- ۳ - فرکانس تکرار پالس ( Pulse repetition frequency ) عبارت است از تعداد پالس هایی که در هر ثانیه تکرار می گردند .
- ۴ - تفکیک سازی ( Resolution ) عبارت از توانائی تشخیص دید امواج در برخورد با عیوب نزدیک به هم است .

یکی از پارامترهای بسیار مهم در کیفیت آزمایش آلتراسونیک و آشکار سازی عیوب، تشخیص و تمایز عیوب مجاور هم می باشد، با طول پالس کوتاهتر، توانائی تفکیک سازی آزمایش بیشتر خواهد شد . طول یک پالس از رابطه زیر بدست می آید :

$$\text{Pulse length} = \frac{\text{Velocity} \times \text{number of waves}}{\text{Frequency}} \quad \text{رابطه ۴-۶}$$

### مثال ۴ :

مدت زمان انتشار هر پالس امواج با یک پروب ۴ مگاهرتز، ۲ میکرو ثانیه است. با محاسبه طول پالس ، شرایط تفکیک سازی پروب بررسی می گردد .

$$n = f (\text{MHz}) \times t (\text{sec.})$$

$$n = 4 \times 10^6 \times 2 \times 10^{-6} = 8 \quad \text{تعداد موج در یک پالس}$$

$$\text{Pulse length} = 5.9 \times 8 / 4 = 11.8 \text{ mm} \sim 12 \text{ mm} \quad \text{طول پالس}$$

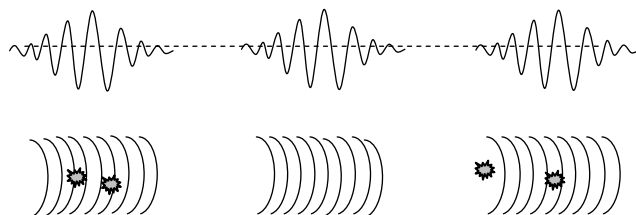
نتیجه مثال ۴ برای چندعیب در دو شکل ۲-۴-الف و ب بررسی می گردد :

شکل الف - دو عیب به فاصله ۷ میلی متر از هم در مسیر امواج قرار گرفته اند. در این حالت چون فاصله بین آنها بیش از نصف طول پالس شده ، واکنش امواج در صفحه تصویر به شکل دو پالس متمایز و مجزا دیده می شوند .

شکل ب - دو عیب به فاصله ۳ میلی متر از هم در مسیر امواج قرار گرفته اند . در این حالت چون فاصله بین آنها کمتر از نصف طول پالس است ، واکنش امواج در صفحه تصویر به شکل فقط یک پالس پیک دار دیده می شود .

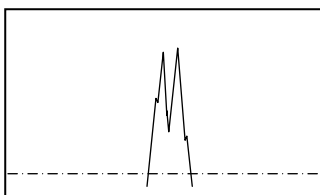
**نتایج :**

- ۱ - برای آشکار سازی دو عیب مجاور ، باید فاصله بین آنها از نصف طول پالس بیشتر باشد.
- ۲ - با توجه به ثابت بودن فرکانس هر پروب، هرچه تعداد نوسان پالس ها در ثانیه بیشتر گردد، طول پالس کوتاهتر و قدرت تفکیک سازی افزایش می یابد.

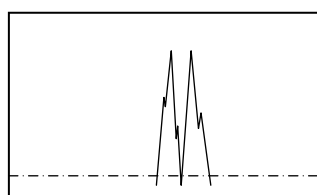


ب - دو عیب در فاصله ۳ میلی متری

الف- دو عیب در فاصله ۷ میلی متری



شکل ۲-۴ - ب



شکل ۲-۴ - الف

## اتلاف انرژی صوتی

( Attenuation )

امواج ماوراء صوت در زمان انتشار و در مسیر عبور از مواد، متناسب با مسافت طی شده، فرکانس، ساختار و ناهمگنی های ماده، بخشی از انرژی صوتی خود را تحت پدیده های فیزیکی مختلفی از دست می دهند. بیشترین مقدار اتلاف انرژی صوتی، تحت پدیده های جذب و پراکندگی روی می دهد که عمدتاً، ناشی از چهار فرایند زیرمی شوند.

۱- <i>Heat Conduction</i>	تبدیل انرژی صوتی به گرما
۲- <i>Viscous Friction</i>	اصطکاک ناشی از ویسکوزیته
۳- <i>Elastic Hysteresis</i>	پس ماند های نیرو های الاستیکی
۴- <i>Scattering</i>	پراکندگی امواج در مرز دانه ها

اما با توجه به اینکه، فقط با مطالعه مکانیزم رفتاری امواج در مواد، می توان به نوع فرایند اتلاف انرژی صوتی پی برد. لذا در این بخش بدون پرداختن به مکانیزم اتلاف انرژی صوتی، فقط به ذکر نکات مهم و مرتبط با روش های اندازه گیری آن اکتفا می گردد.

### نکات مهم :

- ۱- تشخیص مکانیزم واقعی اتلاف انرژی صوتی، با روش ها و آزمایش های معمولی و متداول غیر ممکن است.
- ۲- اتلاف انرژی صوتی برای فولاد های کربنی ساده و کم آلیاژ با فرکانسی معادل ۲ مگاهرتز تا ضخامت (فاصله برد امواج) ۱۵۰ میلی متر قابل اغماض می باشد.

- ۳ - مقدار اتلاف انرژی صوتی برای فولاد های کربنی ساده و کم آلیاژی ، با فرکانسی معادل ۴ مگاهرتز تا فاصله ۷۵ میلی متر قابل اغماض است .
- ۴ - براساس تجربه ، در شرایطی که اندازه گیری اتلاف انرژی مقدور نباشد، جایگزینی اتلاف انرژی برای فولاد کربنی ساده و کم آلیاژی به شرح زیر قابل قبول خواهد بود :
- برای فرکانس ۲/۵ مگاهرتز و فاصله بیش از ۱۵۰ میلی متر، حدود ۰/۳ دسی بل در هر سانتی متر منظور گردد .
- برای فرکانس ۴ مگاهرتز و فاصله بیش از ۷۵ میلی متر، حدود ۰/۶ دسی بل در هر سانتی متر منظور شود .
- ۶ - در فلزاتی مانند چدن ، تراکم الاستیکی فریت ها و دانه های گرافیتی بصورت ناهمگنی سبب پراکندگی و اتلاف انرژی صوتی می شوند و باید از حداقل فرکانس با طول موج های بزرگ استفاده نمود .
- ۷ - بدلیل اینکه تا فاصله سه برابر حوزه نزدیک ، حدتغییرات دامنه نسبت به مسافت طی شده یکنواخت نمی باشد، اندازه گیری دقیق اتلاف انرژی صوتی، تا فاصله حداقل سه برابر حوزه نزدیک غیرممکن خواهد بود .
- ۸ - هرگاه برای جبران اتلاف انرژی صوتی، افزایش دسی بل موجب افزایش ارتفاع پالس های چمنی، بیش از ۱۰٪ ارتفاع صفحه تصویر گردد، لازم است تا روش آزمایش تغییر یابد .

## روش های اندازه گیری اتلاف انرژی

### الف - اندازه گیری با پروب صفر درجه

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، اندازه گیری دقیق اتلاف انرژی صوتی در فاصله کمتر از سه برابر طول حوزه نزدیک ممکن نمی باشد، لذا اولین پالس واکنش در فاصله بیش از سه برابر حوزه نزدیک، مبنای مقایسه و محاسبه اتلاف انرژی قرار می گیرد .



## مراحل اندازه گیری :

مرحله ۱ - اندازه طول حوزه نزدیک از رابطه زیر محاسبه می گردد .

$$N = D^2 \times f / 4 C \quad \text{رابطه ۴-۷}$$

$N = D^2 / 4 \lambda$  بجای سرعت بر فرکانس می توان طول موج را در رابطه ۴-۷ قرار داد

$N$  - طول حوزه نزدیک ( mm )

$D$  - قطر کریستال ( قطر موثر پروب به mm )

$f$  - فرکانس پروب ( MHz )

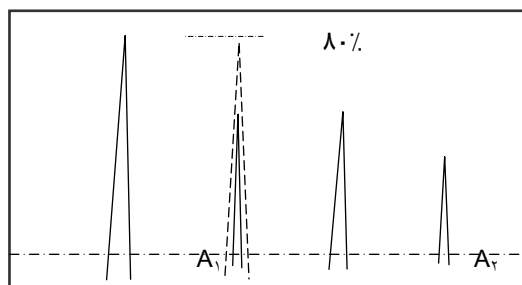
$C$  - سرعت امواج طولی ( km/sec )

$\lambda$  - طول موج ( mm )

توضیح : بمنظور سهولت در محاسبات، برای فرکانس بجای هرتز از مگاهرتز و برای سرعت بجای میلی متر از کیلومتر استفاده می شود .

مرحله ۲ - محور افقی صفحه تصویر با نمونه استاندارد با طولی بیش از ۶ برابر طول حوزه نزدیک تنظیم می گردد .

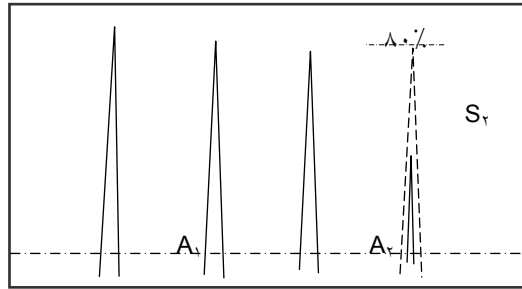
مرحله ۳ - پروب روی قطعه تحت آزمایش قرار داده می شود، در صفحه تصویر دو پالس مشخص از بازتابش ضخامت، طوری انتخاب می شوند که اولاً، پالس اول در فاصله بیش از سه برابر حوزه نزدیک قرار گیرد و ثانیاً فاصله پالس دوم دو برابر پالس اول باشد .  
( پالس های  $A_1$  ,  $A_2$  شکل ۴-۳ - الف ) .



شکل ۴-۳ - الف

مرحله ۴ - ارتفاع پالس اول ( پالس A<sub>۱</sub> شکل ۳-۴-الف )، به حد ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده شده و دسی بل دستگاه یادداشت می گردد ( S<sub>۱</sub> ) .

مرحله ۵ - با افزایش دسی بل ، ارتفاع پالس دوم ( پالس A<sub>۲</sub> شکل ۳-۴-ب )، نیز به حد ۸۰٪ رسانده می شود و دسی بل دستگاه در این موقعیت نیز یادداشت می گردد ( S<sub>۲</sub> ) .



شکل ۳-۴-ب

مرحله ۶ - تفاوت دسی بل بین دو پالس S<sub>۱</sub> و S<sub>۲</sub> محاسبه می گردد ( S = S<sub>۲</sub> - S<sub>۱</sub> ) .  
مرحله ۷ - مقادیر بدست آمده را در رابطه زیر قرار داده و مقدار اتلاف انرژی صوتی محاسبه می گردد .

$$A \Rightarrow \frac{S - 6}{2T} \quad \text{رابطه ۸-۴}$$

A - مقدار اتلاف انرژی صوتی ( دسی بل در واحد طول ) .

S - تفاوت دسی بل بین دو پالس .

T - فاصله طی شده بین پالس اول و دوم ( میلی متر ) .

#### توضیح :

چنانچه ، اختلاف شدت دامنه بین دو پالس ۶ دسی بل شود ، انتشار امواج در ماده بدون اتلاف انرژی بوده است .

$$S_2 - S_1 = 6 \text{ dB} \quad \text{ماده بدون اتلاف انرژی صوتی است}$$

## مثال ۵:

قطعه ای از جنس فولاد آلیاژی به ضخامت ۶۰ میلی متر مورد آزمایش قرار گرفته است، اتلاف انرژی صوتی در این قطعه با یک پروب صفر درجه، با فرکانس ۴ مگاهرتز به قطر ۱۰ میلی متر تعیین می گردد (سرعت امواج طولی ۵.۹ Km / Sec.).

## مراحل اندازه گیری:

مرحله ۱ - طول حوزه نزدیک محاسبه می گردد.

$$N = D^2 f / 4 C$$

$$N = 10^2 \times 4 \times 10^6 / 4 \times 5.9 \times 10^6 = 17 \text{ mm}$$

$$3 \times N = 51 \text{ mm}$$

مرحله ۲ - چون پالس ضخامت ۶۰ میلی متر بوده و بیش از ۳N است، محور افقی صفحه تصویر برابر با ۱۲۵ میلی متر، انتخاب و تنظیم می گردد.

مرحله ۳ - پروب روی سطح قطعه قرار داده می شود و دو پالس ۶۰ و ۱۲۰ میلی متر روی صفحه دیده خواهند شد (شکل ۴ - ۴).

مرحله ۴ - ارتفاع پالس اول به حد ۸۰٪ صفحه تصویر رسانده می شود و دسی بل دستگاه یادداشت می گردد (در این مثال  $S_1 = 36 \text{ dB}$ ).

مرحله ۵ - ارتفاع پالس دوم (۱۲۰ میلی متر) را، نیز به حد ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده و دسی بل یادداشت می گردد (در این مثال  $S_2 = 45 \text{ dB}$ ).

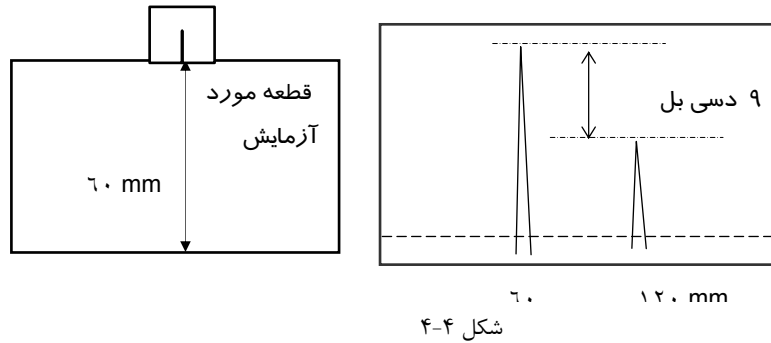
مرحله ۶ - با احتساب اختلاف دسی بل برای دو فاصله، مقدار اتلاف انرژی از رابطه زیر بدست می آید.

$$S = S_2 - S_1 = 45 - 36 = 9 \text{ dB}$$

$$T = 120 - 60 = 60 \text{ mm}$$

$$\frac{S - 6}{2T} \Rightarrow \frac{9 - 6}{2 \times 60}$$

$$A = 0.25 \text{ dB / mm} = 0.25 \text{ dB / cm}$$



### نکات مهم :

الف - در زمان آزمایش روی قطعات اصلی، ضریب بدست آمده در مجموع دو مسافت طی شده امواج ( رفت و برگشت ) ضرب و ضریب جبران اتلاف انرژی محاسبه می شود. مثلاً اتلاف انرژی برای قطعه ای از جنس مشابه به ضخامت ۸۰ میلی متر، بصورت زیر محاسبه می گردد . ( بدون تغییر ابزار آزمایش ) .

$$\text{Attenuation} = 2 \times 80 \times 0.025 = 4 \text{ dB}$$

بنابراین برای آزمایش قطعاتی به ضخامت ۸۰ میلی متر، با این پروب، باید معادل ۴ دسی بل آمپلی فایر تقویت گردد .

ب - چنانچه وجود اتلاف انرژی صوتی در جسمی موجب افزایش غیر عادی دسی بل گردد، پالس های ریز چمنی با ارتفاعی بیش از ۱۰٪، مانع آزمایش خواهند شد. در چنین حالتی، باید از پروبی متناسب با ساختار جسم استفاده نمود .

### توضیح :

منظور از پالس های چمنی، پالس هائی است که بدلیل واکنش امواج روی محور افقی صفحه تصویر ظاهر می شوند و با پالس های الکترونیکی محور افقی ( Base Line ) تفاوت دارند .

**ب - اندازه گیری با پروب زاویه ای**

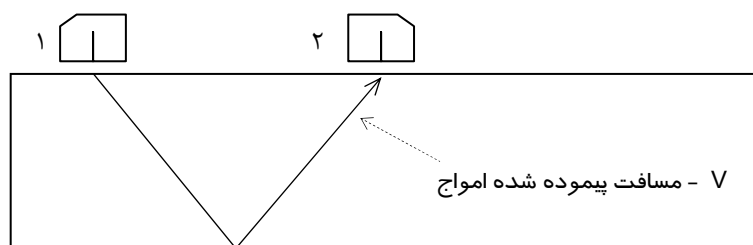
برای اندازه گیری اتلاف انرژی با امواج عرضی ( برشی ) ، از دو پروب زاویه ای مجزا و جداگانه، با ابعاد و فرکانس مشابه استفاده می گردد .

**مراحل آزمایش :**

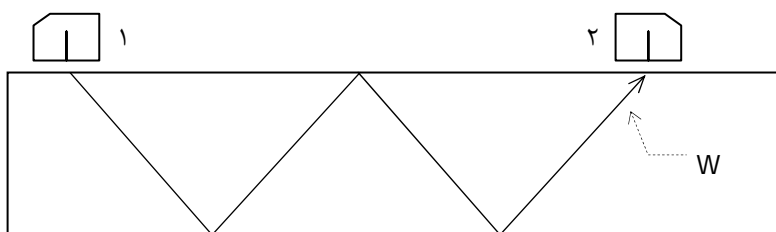
- ۱ - حوزه نزدیک محاسبه می شود .
- ۲ - محور افقی صفحه تصویر برای حداقل دو گام تنظیم می گردد .
- ۳ - دو پروب مانند شکل ۴-۵- الف، روی قطعه تحت آزمایش قرار داده می شوند در این حالت پروب شماره ۱ فرستنده و پروب شماره ۲ گیرنده خواهد بود .
- ۴ - امواج پس از طی مسافت یک گام ( V )، به کریستال گیرنده خواهد رسید و پالس واکنش آن تا ارتفاع ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده می شود . مسافت پیموده شده و دسی بل دستگاه یادداشت می گردد ( V فاصله و S<sub>۱</sub> دسی بل ) .
- ۵ - پروب ها مانند شکل ۴-۵- ب، در فاصله دوگام از هم قرار می گیرند و پالس دریافت شده توسط پروب گیرنده، تا ارتفاع ۸۰٪ رسانده می شود . فاصله طی شده و دسی بل دستگاه یادداشت می گردد ( W فاصله و S<sub>۲</sub> دسی بل ) .
- مرحله ۶ - اطلاعات بدست آمده ، در رابطه زیر قرار داده شده و اتلاف انرژی امواج صوتی محاسبه می گردد .

$$A \Rightarrow \frac{(S_2 - S_1) - 6}{2(W - V)} \quad \text{رابطه ۴-۹}$$

- A - مقدار اتلاف انرژی تلف شده
- V - بعد مسافت امواج در یک گام
- W - بعد مسافت امواج در دو گام
- S<sub>۱</sub> - مقدار دسی بل پالس برای یک گام
- S<sub>۲</sub> - مقدار دسی بل پالس برای دو گام



شکل ۴-۵ - الف



شکل ۴-۵ - ب

### یاد آوری :

چون امواج در هر دو مسیر رفت و برگشت، انرژی خود را از دست می دهند، لذا اتلاف انرژی صوتی برای هر دو مسیر رفت و برگشت امواج محاسبه می گردد .

### مثال ۶ :

محاسبه اتلاف انرژی صوتی امواج عرضی، در قطعه ای از جنس فولاد آلیاژی به ضخامت ۳۰ میلی متر مد نظر می باشد .  
برای اندازه گیری و محاسبه، از دو پروب ۴۵ درجه با فرکانس ۲ مگاهرتز به قطر معادل ۱۰ میلی متر استفاده می شود .

مراحل اندازه گیری :

- ۱ - طول حوزه نزدیک و سه برابر آن محاسبه می گردد .  
 C - سرعت امواج عرضی ( ۳.۲۳ km / sec )

$$N = D \times f / C$$

$$N = 100 \times 2 / 3.23 = 15.5 \text{ mm}$$

$$3N = 3 \times 15.5 = 46.5 \text{ mm} \quad \text{طول سه حوزه نزدیک}$$

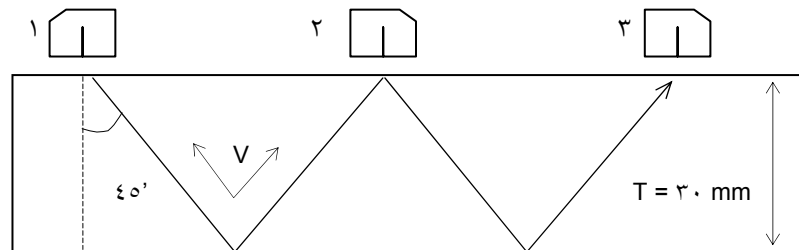
- ۲ - برای انتخاب طول محور افقی صفحه تصویر، فاصله انتشار امواج در یک گام برای ضخامت قطعه کار محاسبه می گردد .

$$\cos 45^\circ = 2T / V$$

$$V = 2T / \cos 45^\circ$$

$$V = 84.8 \quad \text{طول تئوری یک گام}$$

- با توجه به طول هرگام که بیش از ۳ N می باشد، طول محور افقی صفحه تصویر، برابر با ۲۵۰ میلی متر (بیش از دو گام) تنظیم می گردد .



شکل ۴-۶

- ۳ - پروب های ۱ و ۲ مانند شکل ۴-۶، روی قطعه قرار می گیرند و پالس واکنش پروب ۲ به حد ارتفاع ۸۰٪ رسانده می شود. فاصله V و دسی بل S1 یادداشت می گردد .  
 ( در این مثال  $V = 85 \text{ mm}$  و  $S_1 = 42 \text{ dB}$  )

۴ - پروب های فرستنده و گیرنده مانند شکل ۴-۶، در موقعیت ۱ و ۳ قرار می گیرند و نتایج مانند بند ۳ برای پالس دوم یادداشت می شود.

( در این مثال  $W = 170 \text{ mm}$  و  $S_2 = 62 \text{ dB}$  )

**توضیح:** همواره اندازه واقعی یک گام با اندازه محاسباتی آن تفاوت دارد، لذا در زمان آزمایش فقط از اندازه گام واقعی استفاده می شود.

۵ - با قرار دادن نتایج بدست آمده در رابطه زیر، اتلاف انرژی صوتی برای قطعه مورد آزمایش محاسبه می گردد.

$$A \Rightarrow \frac{(S_2 - S_1) - 6}{2(W - V)}$$

$$A \Rightarrow \frac{(62 - 42) - 6}{2(170 - 85)}$$

$$A = 0.08 \text{ dB / mm} \quad 0.8 \text{ dB / cm}$$

در این مثال بازاء هر یک سانتی متر مسافت انتشار امواج، ۰/۸ دسی بل انرژی تلف شده است و باید بازاء هر یک سانتی مترفاصله، آمپلی فایر ۰/۸ دسی بل تقویت گردد.

برای اندازه گیری اتلاف انرژی صوتی، از دو نمودار DGS و DAC نیز می توان استفاده نمود و در اساس کار تفاوت عمده ای دیده نمی شود.



## تبدیل موج / پالس های مجازی

### Wave Conversion & Spurious Indications

هرگاه امواج ماوراء صوت در حالت برشی ( غیر عمودی ) به سطح جسمی برخورد کنند، بسته به زاویه برخورد و خاصیت فیزیکی جسم، همزمان هر دو پدیده انعکاس و انکسار در سطح برخورد روی خواهد داد، که در این راستا بخشی از امواج طولی نیز به امواج عرضی و یا بالعکس تبدیل خواهد شد. اگر چه با انتخاب شیب و زاویه مناسب می توان نوع و زاویه انتشار امواج را در جسم مورد آزمایش تعیین نمود اما وجود عوامل فیزیکی دیگری نیز می توانند سبب چنین پدیده هائی گردند و با انکسار و انعکاس ناخواسته ای، مسیر امواج را تغییر دهند .

با پذیرش این مقدمه کوتاه ، به معرفی عواملی خواهیم پرداخت که می توانند از طریق انکسار و انعکاس ناخواسته و در نتیجه تبدیل موج ، موجب پدیدار شدن پالس های مجازی در صفحه تصویر گردند .

## انواع واکنش های تبدیل موج

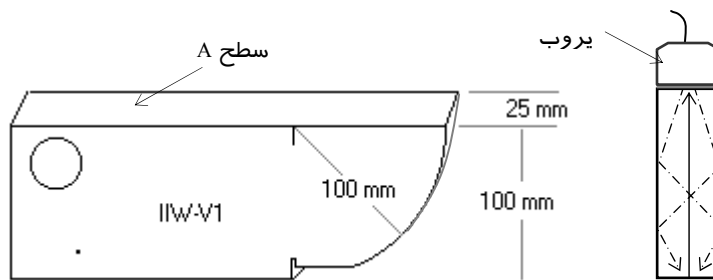
### ۱ - واکنش های جداری

در حالت خاصی از انتشار امواج، که عرض گستردگی طیف بیشتر از عرض فضای انتشار امواج باشد، حاشیه امواج پس از برخورد با جداره های محیط ، تحت پدیده انکسار به امواج طولی و یا عرضی تبدیل می گردند . این حالت برای امواج طولی که در قطعات کم عرض انتشار می یابند بیشتر روی خواهد داد .

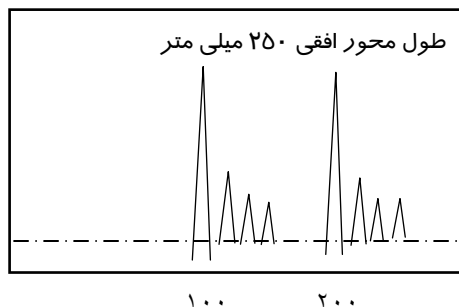
به عنوان مثال انتشار امواج طولی در نمونه استاندارد IIW-V1 بررسی می گردد.

بطوریکه در بخش نمونه های تنظیم گفته خواهد شد، یکی از روش های تنظیم محور افقی صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک، استفاده از بعد ۱۰۰ میلی متری نمونه IIW-V1 با عرضی معادل ۲۵ میلی متر می باشد. چنانچه پروب از این بعد روی نمونه قرار گیرد، عرض طیف در حوزه دور بیش از ۲۵ میلی متر خواهد بود و امواج تحت زاویه گسترش  $K\lambda/D$  به دو دیواره نمونه برخورد می نماید .

چنانچه پروب مانند شکل ۴-۱۱-الف، در موقعیت A روی نمونه تنظیم قرار می گیرد، باید دو پالس تکراری از واکنش ضخامت ۱۰۰ میلی متری روی صفحه تصویر دیده شود. اما بطوریکه در شکل ۴-۱۱-ب، ملاحظه می شود، علاوه بر پالس بازتابش از ضخامت ۱۰۰ میلی متری، پالس های دیگری نیز در مجاورت این دو پالس ظاهر شده اند که محصول واکنش امواج در برخورد با دیواره نمونه تنظیم می باشند.



شکل ۴-۱۱-الف



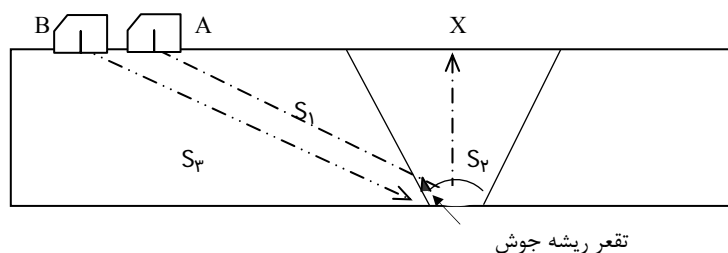
شکل ۴-۱۱-ب

اگرچه فاصله پیموده شده توسط امواج جداری بیشتر از ضخامت ۱۰۰ میلی متر می باشد و می بایست در فاصله دورتری دیده شوند، اما به علت اینکه سرعت امواج عرضی نسبت به سرعت امواج طولی کمتر است، پالس های آن اندکی بیش از ضخامت واقعی نمونه در صفحه تصویر دیده می شوند.

## ۲ - تبدیل امواج عرضی به طولی

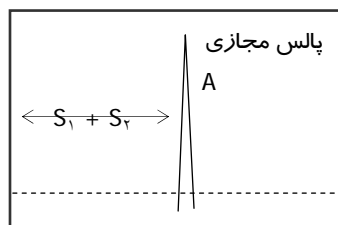
این حالت زمانی روی می دهد، که امواج عرضی تحت زاویه خاصی به سطح یک مانع محدب و قوس دار، برخورد نمایند. یک نمونه تجربه شده آن، برخورد امواج زاویه ای از یک پروب ۶۰ درجه، به عیبی مانند تقعر در ریشه جوش می باشد که امواج پس از برخورد با سطح قوس دار منکسر شده و به امواج طولی تبدیل می گردد.

( شکل ۱۲-۴-الف پروب A )

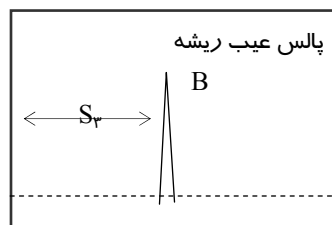


تقعر ریشه جوش

شکل ۱۲-۴-الف



شکل ۱۲-۴-ب



شکل ۱۲-۴-ج

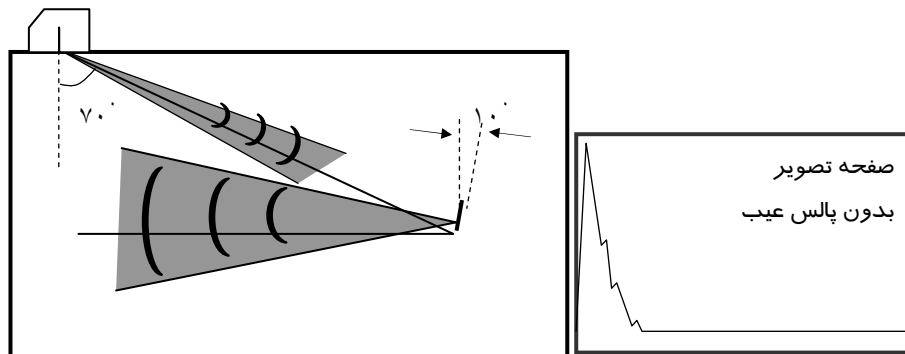
در شکل ۱۲-۴-ب، تصویر پالس A در نتیجه برخورد امواج با سطح قوس دار ( ریشه ) دیده می شود که به علت تبدیل امواج عرضی به طولی، پالس بازتابش آن با دامنه بسیار قوی و نزدیک به موقعیت یک عیب در ریشه جوش در صفحه تصویر ظاهر گردیده است.

چنین پالسی می تواند مانند پالس B، از نتیجه برخورد امواج با یک عیب مضر در پاس ریشه بوجود آمده باشد. در چنین حالتی، اگر انگشت دست ( آغشته به سیال ) را در نقطه X شکل ۴-۱۲ - الف، قرار داده و پالس روی صفحه تصویرمحوگردد، پالس مجازی خواهدبود، در غیر اینصورت پالس موجود، نتیجه واکنش امواج در برخورد با یک عیب واقعی در ریشه جوش می باشد.

### ۳ - پراکندگی و انکسار

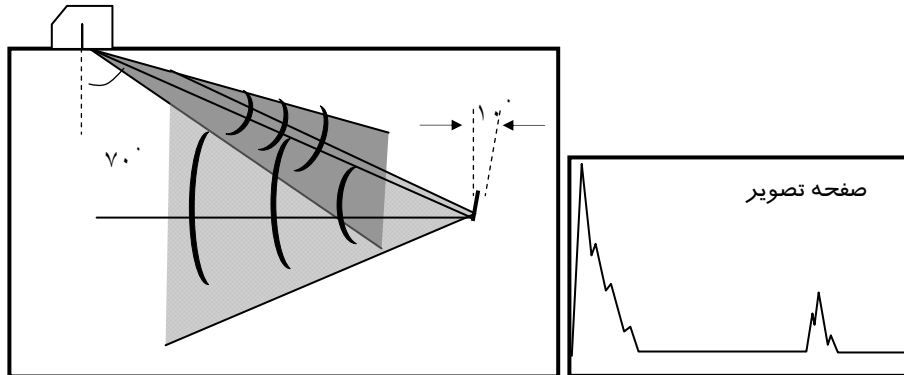
در بعضی موارد، پس از آزمایش یک اتصال جوش با یک پروب زاویه ای، علی رغم وجود عیبی در جوش، پالسی از واکنش عیب در صفحه تصویر ظاهر نمی شود. برای روشنتر شدن مطلب، دو شکل ۴-۱۳ و ۴-۱۴ بررسی می گردند:

در شکل ۴-۱۳، امواج از یک پروب زاویه ای ۷۰ درجه با فرکانس ۴ مگاهرتز ساطع شده و به عیبی شیب دار برخورد نموده است. اما بدلیل شیب عیب، امواج پس از برخورد با آن منکسر شده و پالسی دال بر وجود عیب در صفحه تصویر دیده نمی شود. این حالت در زمان آزمایش جوشهای دوطرفه ( Double Sided Groove Weld ) و عیوبی همچون فقدان ذوب دیواره ای و نفوذ ناقص روی می دهد.



شکل ۴-۱۳

در شکل ۴-۱۴، امواج ساطع شده از یک پروب زاویه ای  $70^\circ$  درجه با فرکانس ۲ مگاهرتز به همان عیب برخورد نموده است. در این حالت نیز امواج در برخورد با عیب شیب دار منکسر شده و تغییر مسیر داده اند، اما به علت وسعت عرض طیف، بخشی از امواج به طرف پروب برگشت شده و پالس واکنش آن در صفحه تصویر نمایان شده است.



شکل ۴-۱۴

#### بررسی علل :

- پس از برش قطعه ( در آزمایشگاه ) و مشاهده مقطع عیب مشخص گردید که یک عیب خطی صاف از نوع فقدان ذوب ( L.O.F ) تحت زاویه  $10^\circ$  درجه نسبت به محور قائم، در جوش وجود داشته است.
- در حالت شکل ۴-۱۳، به علت باریک بودن عرض پالس، هیچگونه واکنشی از انعکاس امواج به پروب نرسیده و پالسی نیز در صفحه تصویر دیده نمی شود.
- در حالت شکل ۴-۱۴، به علت وسعت طیف و علی رغم تغییر مسیر امواج، بخشی از حاشیه امواج به پروب رسیده و پالس واکنش آن در صفحه تصویر دیده می شود.

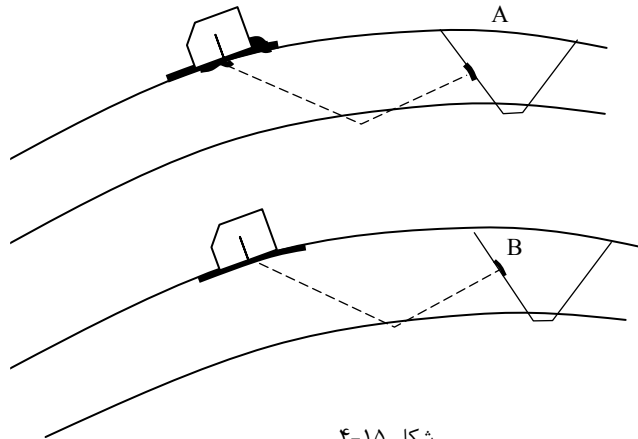
**توصیه:** برای آزمایش جوش، همواره لازم است تا قبل از آزمایش، نوع فرایند جوشکاری، آرایش اتصال و عیوب احتمالی آن مورد مطالعه قرار گیرد. چنانچه امکان دسترسی به فرکانس های متنوعی برای آزمایش نباشد حتی الامکان از دو پروب با دو زاویه متفاوت و از دو سمت جوش آزمایش انجام گیرد.

## ۴ - تجمع سیال رابط ( گریس )

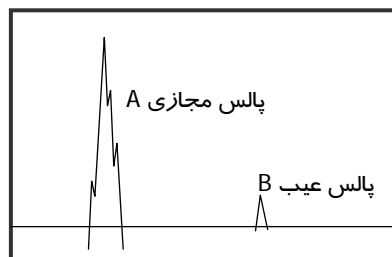
یکی از عمده مشکلات آزمایش سطوح قوس دار، نظیر آزمایش جوش طولی لوله های قطر پائین، تجمع سیال رابط در جلوی پروب است. معمولاً برای راکدنمودن سیال در آزمایش سطوح قوس دار، از گریس و یا سیال غیر روان استفاده می شود تا ضمن حفظ ارتباط امواج، نقاط خالی زیر پروب را نیز پر نماید ( شکل ۴-۱۵ ).

در چنین مواردی، تجمع گریس در جلوی پروب ممکن است، سبب واکنش های شدید امواج در سیال رابط گردد و امواج کمتری به عیب واقعی برسد. معمولاً، پالس واکنش امواج در برخورد با تجمع گریس، شبیه به پالس واکنش از یک ترک با دامنه قوی دیده می شود که به دلیل تکرار فرآیند تبدیل موج در ماده رابط، در فاصله ای بیشتر از نیمی از طول حوزه نزدیک ظاهر می گردد ( شکل ۴-۱۶ ).

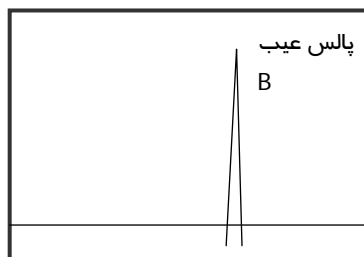
در زمان آزمایش قطعات قوس دار و حتی بعضی از قطعات تخت، در صورت مشاهده پالسی بلند و دنداندار در فاصله کوتاهی از صفحه تصویر، با لمس گریس جلوی پروب به تغییرات پالس های صفحه تصویر توجه شود. چنانچه پالس مجازی و محصول تجمع گریس باشد به محض تماس انگشت دست محو خواهد شد.



شکل ۴-۱۵



شکل ۱۶-۴ - الف



شکل ۱۶-۴ - ب

در شکل ۱۶-۴ - الف ، پالس مجازی A با دامنه ای بسیار قوی در صفحه تصویر ظاهر شده است ، در حالیکه پالس B که محصول واکنش امواج در برخورد با عیب بوده است، کوتاه تر از پالس مجازی دیده می شود .

در شکل ۱۶-۴ - ب گریس جلوی پروب برداشته شده و پالس عیب با دامنه واقعی در صفحه تصویر نمایان شده است .

البته در زمان آزمایش با پروب های ۶۰ و ۷۰ درجه روی سطوح تخت و غیر منحنی نیز ممکن است چنین پدیده ای روی دهد که با کاستن از تجمع گریس جلوی پروب ، مجازی بودن پالس قابل تشخیص خواهد بود .

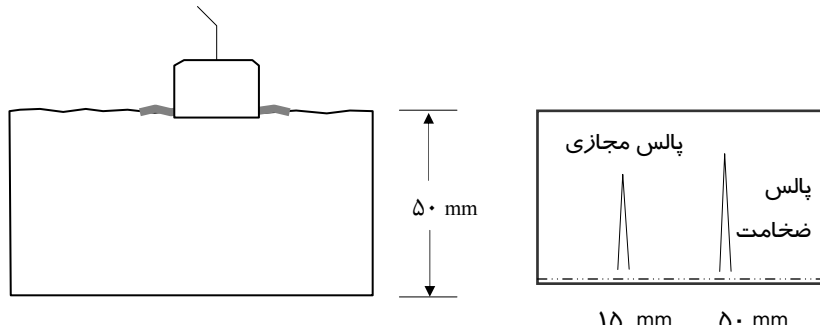
## ۵ - سطوح ناهموار

سطح زبر و ناهموار، در هرروش و تکنیکی می تواند اثر نامطلوبی در نتیجه آزمایش داشته باشد، به همین دلیل در استانداردها، برای زبری سطوح ، حد و مرزی تعیین شده است .

اما بدون معیار قرار دادن استانداردها، هرگاه حد زبری و ناهمواری سطح قطعات مورد آزمایش بیش از  $0/3$  طول موج گردد، انتقال امواج به درون قطعات با مشکل عملی مواجه خواهد شد. البته با انتخاب ماده رابط ممکن است بخشی از انفعال امواج را جبران نمود اما چنانچه میزان ناهمواری از حد متعادل بیشتتر گردد، سبب بروز پدیده انکسار در سطح تماس پروب با قطعه کار خواهد شد. اثر چنین پدیده ای برای پروبهای صفر درجه دو کریستاله بسیار محسوس تر می باشد.

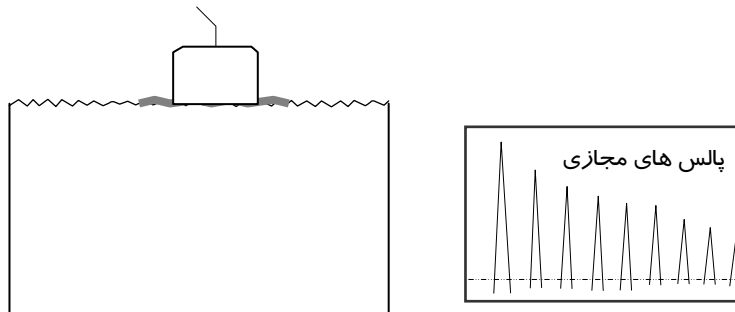
علت این امر، برخورد بخشی از امواج با گودی و ناهمواری سطح آغشته از سیال است که پس از چند واکنش تکراری و بروز پدیده تبدیل موج به سمت کریستال منعکس می شوند. نتیجه چنین واکنش هائی به شکل پالس عیب در فاصله ای بین ۱۲ تا ۱۵ میلی متری روی صفحه تصویر دیده خواهد شد.

در چنین حالتی خصوصاً اگر زبری به شکل خطوط شیاری ( اثر ماشین کاری ) باشد استفاده از لایه بیشتر ماده رابط نیز مشکل را حل نخواهد نمود و توصیه می شود در درجه اول سطح صاف شود و در صورت میسر نبودن از پروب تک کریستاله استفاده گردد .



شکل ۱۷-۴ - الف

در شکل ۱۷-۴ - الف، نتیجه واکنش امواج از یک پروب صفر درجه دو کریستاله در برخورد با سطح ناهموار دیده می شود که پالس مجازی در فاصله ۱۵ میلی متری شکل گرفته است.



شکل ۱۷-۴ - ب

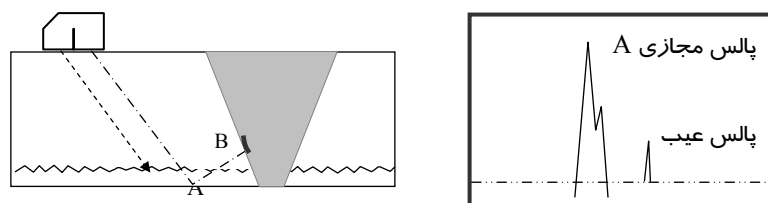


اما چنانچه سطح کار بسیار زبر و دندانه ای باشد، واکنش امواج در برخورد با عمق شیپارها مانع انتقال امواج به عمق قطعه شده و فقط پالس های مجازی تکراری در صفحه تصویر دیده خواهند شد ( شکل ۴-۱۷- ب ).

### ۶- ناهمواری پشت قطعات

نوع دیگری از تبدیل موج ، از برخورد امواج با ناهمواری سطح پشت قطعات و بیشتر برای پروب زاویه ای با شیب تند ( پروب های ۳۵ ، ۳۸ و ۴۵ درجه ) روی می دهد . امواج در زمان برخورد با ناهمواری سطح پشت قطعه منعکس شده و پالس مجازی قوی تری نسبت به پالس واکنش از یک عیب واقعی را بوجود می آورد .

در شکل ۴-۱۸ ، پالس مجازی بازتابش امواج در برخورد با ناهمواری سطح پشت قطعه و همچنین پالس واکنش امواج از برخورد با یک عیب کناره جوش ، همزمان در صفحه تصویر مشاهده می گردند . با توجه به اینکه موقعیت پالس مجازی نیز می تواند ناشی از یک عیب در ریشه جوش باشد، تفسیر پالس های مشکل خواهد شد .



شکل ۴-۱۸

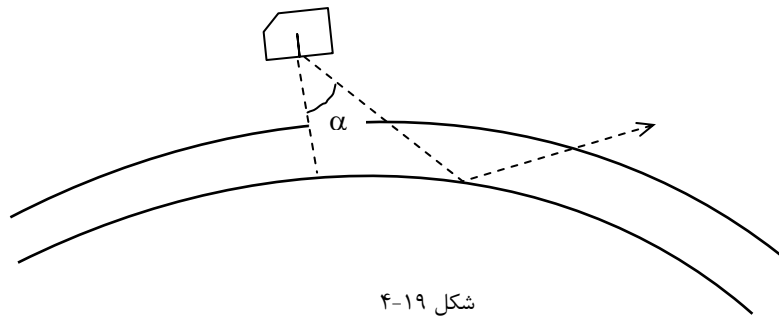
برای اطمینان از نوع واکنش ، باید با رسم نموداری از مقطع جوش، موقعیت عیب بررسی گردد . معمولا چنانچه سطح پشت قطعه ناهموار و زبر تشخیص داده شد، بهتر است از پروبی با شیب کمتر مانند ۶۰ و ۷۰ درجه استفاده نمود .

## ۷ - ساختار دانه بندی

در فلزاتی با دانه بندی درشت مانند قطعات ریخته گری ، درشتی دانه ها و مرزدانه ها موجب پراکندگی امواج و پالس های مجازی می شوند .  
 مثلاً در بعضی چدن ها ، گرافیت های خطی و کروی عامل بسیار قوی برای پراکندگی امواج صوتی می باشند . در صورت کوچک بودن طول موج ، پالس های مجازی ، محصول واکنش امواج صوتی در برخورد با مرز دانه های گرافیتی در صفحه تصویر ظاهر می گردند .  
 بطور کلی وقتی اندازه دانه بندی ساختار ماده ای بیش از یکدهم طول موج باشد، امواج در مرز دانه ها دچار پراکندگی شده و قادر به انتشار نخواهند بود .  
 ضمناً ، چنانچه در صدکربن موجود در چدن ها ، خصوصاً در چدن خاکستری از ۴٪ بیشتر گردد، پالس های مجازی متعددی که از برخورد امواج با دانه های گرافیتی بوجود می آیند، مانع آزمایش خواهند شد .

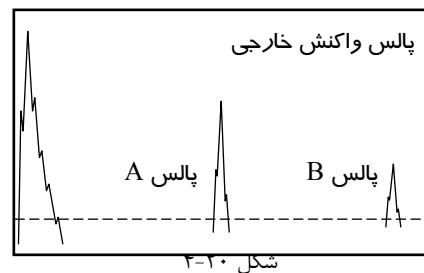
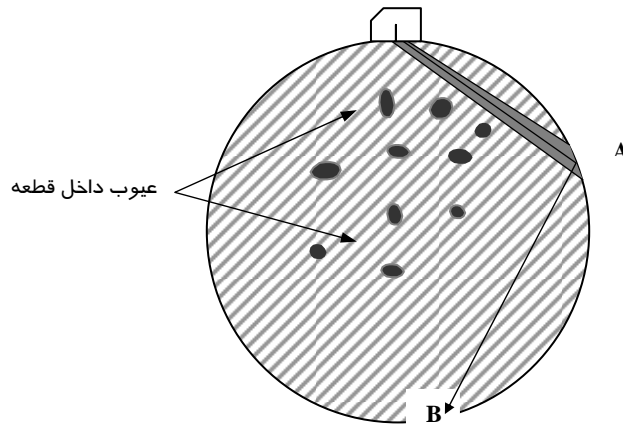
## ۸ - سطوح قوس دار ( Curved Surfaces )

یکی دیگر از مواردی که ممکن است موجب تولید پالس مجازی گردد، تبدیل موج در قطعات غیر تخت و قوس دار می باشد . تجربه نشان می دهد که امواج زاویه ای ۶۰ درجه و با لاتر، پس از برخورد با سطح قطعات استوانه ای قوس داری که قطر کمی دارند، با زاویه ای بیش از ۷۵ درجه منکسر شده ( زاویه  $\alpha$  ، شکل ۴-۱۹ ) و در تکرار انکسار به امواج سطحی تبدیل خواهند شد .



شکل ۴-۱۹

بعلاوه در قطعات استوانه ای توپر و کروی نیز، ممکن است امواج بدون نفوذ در عمق، به سطح مقابل برخورد نموده و پالس جداره خارجی در صفحه تصویر دیده می شود .  
در شکل ۴-۲۰، امواج یک پروب با زاویه ۶۰ درجه به درون قطعه ای استوانه ای انتشار یافته است بطوریکه در شکل دیده می شود، علی رغم وجود عیوب متعدد در قطعه، امواج بدون برخورد با عیوب به جداره استوانه نموده و پالسهای مجازی B,A را صفحه تصویر نمایان ساخته است .



شکل ۴-۲۰

اصولاً، زاویه انتشار، انکسار و نقطه تلاقی امواج ( Incidence Point ) در قطعات قوس دار با کمیت های آن در سطوح تخت یکسان نمی باشند و ممکن است به نسبت زاویه انتشار و شعاع قوس قطعات، واکنشهای متفاوت و ناخواسته ای در قطعه روی دهد که تفسیر پالس ها را با مشکل مواجه سازد ( بخش ده مطالعه گردد ) .

### ۹ - سطوح داغ ( Hot Surfaces )

یکی از عوامل بوجود آورنده پالس های غیرواقعی، دمای زیاد قطعات و درجه حرارت سطوح آزمایش می باشد. همانطور که می دانیم، افزایش دما سبب انبساط حجمی فلزات شده و با فاصله گرفتن دانه ها از یکدیگر، سرعت انتشار امواج کاهش خواهد یافت. بنابراین پالسهای واکنش از موانع در فواصل غیر واقعی دیده خواهند شد و مختصات نادرستی از عیوب بدست می آید که تأثیر آن در ضخامت سنجی بسیار محسوس تر است.

به همین منظور در زمان ضخامت سنجی روی سطوح داغ باید ضریبی برای تعدیل ضخامت بازاء افزایش درجه حرارت در نظر گرفته شود. طبق توصیه استاندارد ASTM در یک قانون سرانگشتی و برای اکثر مواد فولادی، به ازاء هر ۵۵ درجه سانتی گراد ۱٪ خطای ضخامت منظور می گردد.

مثال: فرض شود دستگاه آلتراسونیک و یا ضخامت سنج با نمونه ای از جنس مشابه با قطعات اصلی در درجه حرارت ۲۰ درجه سانتی گراد تنظیم شده باشد. حال چنانچه دمای سطح قطعات مورد آزمایش به ۴۴۰ درجه سانتی گراد برسد، برای خواندن ضخامت واقعی باید معادل ۸٪ از ضخامت اندازه گیری شده کسر گردد (  $8\% = 1\% \times 8 = 440 / 55$  ).

#### نکته مهم:

اصولاً آزمایش آلتراسونیک بمنظور عیب یابی و تعیین حد خوردگی با تکنیک پوشش پیوسته ( Continuous Scanning ) روی سطوح داغ کار بسیار مشکلی می باشد و حتی اگر نوع ماده رابط و پروب مناسب اختیار شده باشد، تماس نزدیک و حرکت دست با مشکل مواجه خواهد شد و کار با دستکش نیز دقت آزمایش را کاهش می دهد بنابراین آزمایش پیوسته با روش دستی روی سطوح داغ نتیجه مطلوبی نخواهد داشت و توصیه نمی شود.

#### توصیه های بخش ۴:

۱ - برای ضخامت سنجی و عیب یابی روی قطعات باریک، از پروب کوچک و حتی الامکان با فرکانس زیاد استفاده گردد.

۲ - در صورت مشاهده هر نوع پالس در موقعیت غیر معقول، شماتیک مقطع قطعه رسم شود و موقعیت پالس بررسی گردد.

- ۳ - رسم نمودار مقطعی قطعات مورد آزمایش خصوصا برای جوش ها ، مناسب ترین روش تفکیک عیوب مجازی از عیوب واقعی می باشد .
- ۴ - از تکنیک تماس انگشت جلوی پروب و نقاط مشکوک برای شناخت پالس های مجازی همواره استفاده شود .
- ۵ - تا حد ممکن از آزمایش روی سطوح زبر و ناهموار خودداری گردد .
- ۶ - برای آزمایش قطعات ریخته گری و موادی با دانه بندی درشت ، از فرکانس کم و طول موج بلند استفاده شود .
- ۷ - در زمان آزمایش اتصالات جوش با امواج زاویه ای، حداقل از دو پروب زاویه ای به تناوب استفاده شود و جهت تابش بدرستی انتخاب گردد .
- ۸ - برای آزمایش روی سطوح گرم باید از پروب و ماده رابط مخصوص استفاده گردد و حتی الامکان تفاوت دمای نمونه تنظیم با قطعات مورد آزمایش به حداقل رسانده شود. در غیراینصورت ضریب خطای آزمایش برای فلز مورد آزمایش محاسبه گردد .
- ۹ - بهترین روش برای آزمایش قطعات داغ ( گرمتر از ۷۰ درجه ) استفاده از پروبی با محفظه خنک کننده می باشد . پروب بدون محافظ فقط برای آزمایش لحظه ای قابل استفاده است که پس از هر لحظه باید خنک گردد .

## بخش ۵

### فرآیندها و روشهای آلتراسونیک

#### مقدمه :

وقتی موضوع ارتعاش ذرات و پدیده تولید امواج صوتی مطرح می شود، طیف گسترده ای از تکنیک ها و فرآیندهای آزمایش مدنظر قرار می گیرند که هر کدام با بهره گیری از خواص امواج ماوراء صوت، به نوعی در قلمرو کنترل کیفیت بکار گرفته می شوند .

اگر چه در اغلب این فرآیندها، تشخیص ناهمگنی و تغییرات ساختاری مواد و ادوات صنعتی مورد ارزیابی قرار می گیرد، اما مکانیزم اجرایی متفاوتی در مقایسه با روشهای متداول آزمایش آلتراسونیک دارند و هر کدام از این روشها با سیستم های ابزاری منحصر و ویژگیهای خاص خود بطور جداگانه بخش های مهمی از آزمایش های غیرمخرب را با عناوین زیر شامل می گردند :

۱ - Frequency Modulation

۲ - Spectral Analysis

۳ - Acoustic Holography

۴ - Acoustic Microscopy

۵ - Acoustic Emission

بطور کلی، با توجه به تفاوت های عمده ای که در روش اجرای فرآیندهای فوق و خصوصاً مکانیزم دستگاه ها و سیستم کاربردی آنها وجود دارد، لذا در این کتاب فقط به ذکر عناوین آنها اکتفا خواهد شد و در ادامه به معرفی انواع روشهایی می پردازیم که با واژه متداول آزمایشهای آلتراسونیک شناخته می شوند .

## انواع روشهای آلتراسونیک :

در مبحث آزمایش آلتراسونیک، از امواج ماوراء صوت با تکنیک ها و روشهای متفاوتی بمنظور ضخامت سنجی و آشکار سازی عیوب استفاده می گردد که به تناسب نوع انتشار امواج ، مکانیزم پاسخ گیری و نوع دستگاه ها به چهار روش اصلی زیر تقسیم می شوند .

البته در کنار روشهایی که نام برده خواهد شد، روش دیگری موسوم به امواج صوتی الکترومغناطیسی ( Electro-Magnetic Acoustic ) نیز وجود دارد که امواج از طریق تقابل میدان مغناطیسی و جریان گردابی در قطعات تولید می گردد. چنین امواجی فقط در مواد هادی الکتریسیته قابل انتشار می باشد و چون مولد امواج و کاربرد آن با روشهای متداول تفاوت دارد در بخش جداگانه ای قابل بحث خواهد بود. در تکنیک EMA ، چون عامل اصلی امواج، القاء سطح قطعات است، آزمایش بدون ماده رابط انجام می گیرد.

### انواع روشها :

Pulse Echo Method	الف - روش پالس اکو
Transit Time Method	ب - روش زمان سنجی
Resonance Method	ج - روش رزونانس
Through Transmission Method	د - روش انتقال سر به سر

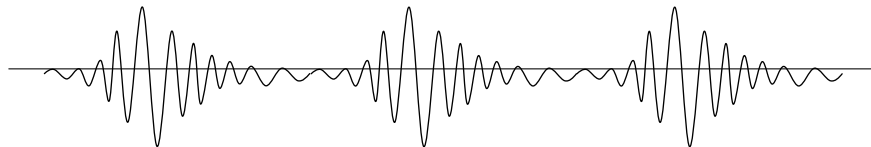
### شرح روشها :

#### الف - روش پالس اکو ( Pulse Echo Method ) :

در بخش های گذشته گفتیم که ، امواج ماوراء صوت در دسته های مساوی و کوچکی به نام پالس منتشر می شوند . هر پالس در واحد زمان بطور منظم و یکسان از حداقل تا حداکثر دامنه به نوسان درمی آید . تعداد و شکل امواج در هر پالس به سیستم الکترونیکی مولد فرکانس دستگاه آلتراسونیک و نوع کریستال پیزوالکتریک بستگی دارد.

در یک تعریف ساده، به هر فرآیند صوتی ، که امواج آن به شکل پالس های تکراری در واحد زمان انتشار یابند، پالس اکو گفته می شود .

در سیستم پالس اکو، علاوه بر تکرار منظم و یکنواخت پالس ها که صعود و نزولی منظم دارند، درفاصله بین پالس ها نیز یک واحد زمانی سکون ( Continuous Wave ) طراحی شده، تا در لحظاتی که کریستال بصورت گیرنده عمل می کند، انرژی مکانیکی بازتابش امواج، به انرژی الکتریکی تبدیل گردد . بنابراین در تکنیک و روش پالس اکو، امواج در دسته هایی از پالس های تکراری طوری انتشار می یابند که علاوه بر تکرار پالس در هر واحد معینی از زمان، به همان نسبت نیز، فاصله های معینی را بدون انرژی صوتی تکرار نمایند .



شکل ۱-۵

در شکل ۱-۵، نمونه ای از تکرار پالس های آلتراسونیک در سیستم پالس اکو مشاهده می شود که تعدادی موج با صعود و نزولی یکنواخت از حداقل تا حداکثر دامنه در نوسان هستند . بعلاوه هر تعداد از پالس های آلتراسونیک نیز در واحد زمان معینی، بطور مساوی تکرار می گردند ( Pulse Envelope ) .

#### دو نکته :

- ۱ - در یک پروب تک کریستاله، کریستال بطور متناوب در واحد زمان ، هم بصورت فرستنده و هم بصورت گیرنده عمل می کند .
- ۲ - به پروبی که هر دو عمل ارسال و دریافت امواج را همزمان انجام می دهد، پروب فرستنده/گیرنده ( Transceiver ) گفته می شود . در سیستم پالس اکو، کلیه پروب های تک کریستاله از چنین خاصیتی برخوردارند .



### اجزاء اصلی یک دستگاه پالس اکو :

Clock Circuit	۱ - سیستم کنترل زمان
Pulser Circuit	۲ - تولید کننده پالس
Sweep Circuit	۳ - مدار سویپ
Marker Circuit	۴ - تراز کننده پالس ها
Receiver Circuit	۵ - مدار گیرنده
Amplifier	۶ - تقویت کننده
Screen Display	۷ - صفحه نمایش تصویر
Piezoelectric Probe	۸ - پروب پیزو الکتریک

### مکانیزم کار دستگاه ها :

بطور معمول عملکرد مدارهای الکترونیکی در یک دستگاه آلتراسونیک پالس اکو را می توان در چند مرحله زیر خلاصه نمود .

- ۱ - پس از روشن شدن دستگاه آلتراسونیک و در لحظه شروع کار ، ابتدا سیستم زمان سنج ( Synchronizer Clock ) با هماهنگی مدار سویپ فرمانی جهت ارسال ولتاژی با جریان متناوب و یا جریان مستقیم (قطب منفی) به مدار سیگنال ساز می دهد و بطور همزمان با صفحه تصویر نیز ارتباط الکترونیکی برقرار می نماید تا فاصله بین سیگنال ها را تنظیم نماید .
  - ۲ - مدار الکترونیکی سیگنال ساز، به نسبت ضخامت کریستال ، ولتاژ مورد نیاز را برای تکرار پالس به کریستال می دهد ( بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ ولت ) .
  - ۳ - تعیین محدوده تکرار پالس در واحد زمان ( PRF<sup>۱</sup> ) بعهدده مدار سویپ است که مدار سیگنال ساز ( Pulser Circuit ) آنرا اجرا می کند.
- هرچه واحد تکرار پالس در ثانیه بیشتر گردد، حرکت الکترون های روی صفحه تصویر با رنگ تیره تری ( سبز تیره ) دیده می شوند .

۱ - Pulse Repetition Frequency ( PRF )

۴ - کریستال پس از دریافت انرژی به ارتعاش در می آید. با ارتعاش کریستال امواج ماوراء صوت به شکل پالس های تکراری تولید شده و پس از عبور از ماده رابط به درون قطعه مورد آزمایش انتشار می یابند. هرگاه امواج در مسیر خود با یک عامل ناهمگن برخورد نمایند، منعکس شده و در حد فاصله سکون بین پالس ها، کریستال را مرتعش خواهند نمود. در این حالت سطح پیزوالکتریک شارژ الکتریکی شده و ولتاژی متناسب با شدت انعکاس تولید می نماید که پس از تقویت آن توسط آمپلی فایر، نتیجه به شکل پالس در صفحه تصویر نمایان خواهد شد.

۵ - در صفحه تصویر حرکت الکترون ها بطور افقی از سمت چپ به راست توسط مدار سویچ تنظیم می شود و مدار Marker Circuit ارتفاع پالس های بازتابش را تنظیم می نماید که شدت آن توسط آمپلی فایر تقویت خواهد شد. این فرایند برای سایر پالس های آلتراسونیک بطور پیوسته تکرار می گردد ( شکل ۲-۵ ).

#### چند نکته :

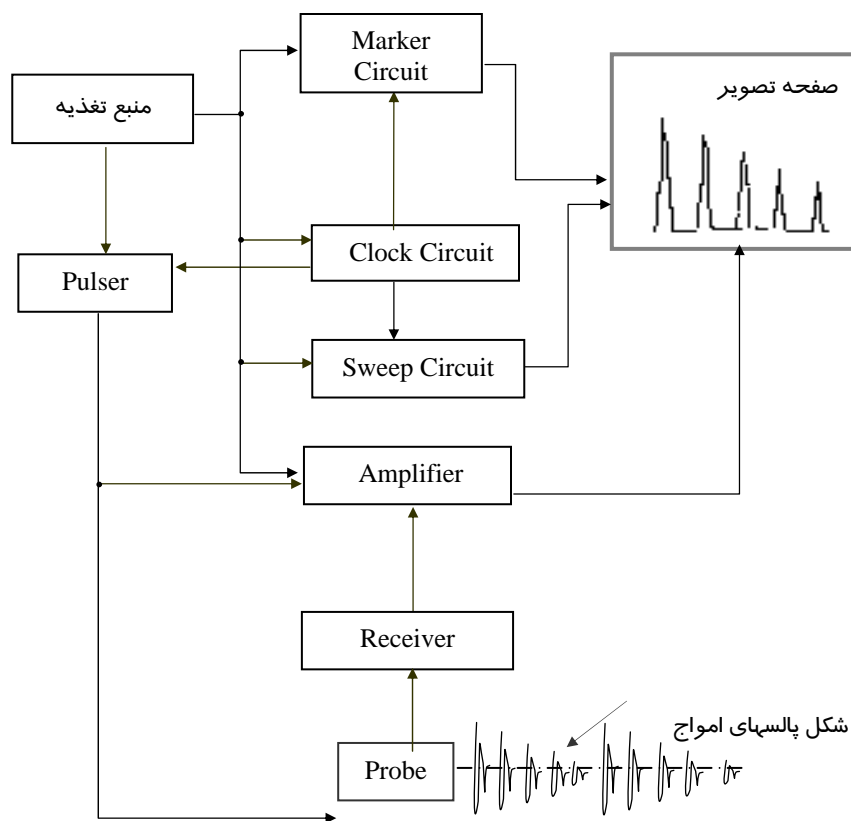
- یک دستگاه استاندارد، باید سیگنال ها را در حدی تولید نماید که ارتعاش کریستال به حالت موزون و هارمونیک درآید.
- در دستگاه های حجیم و اتوماتیک، فرکانس خروجی دستگاه، انتخابی و به اختیار قابل تنظیم می باشد.
- تکنیک پالس اکو برای انواع امواج آلتراسونیک مانند امواج طولی، عرضی، ورقه ای و سطحی کاربرد دارد.

#### سیستم های تصویری پالس اکو :

بطور کلی آنچه که در صفحه تصویر یک دستگاه آلتراسونیک، از نوع و تکنیک پالس اکو ظاهر می شود، نتیجه واکنش امواج در برخورد با انواع ناپیوستگی ها در مواد می باشد. اما تکنیک انتقال اطلاعات و نوع صفحه نمایش دستگاه های آلتراسونیک با سیستم های متفاوتی طراحی می شوند که در ادامه به معرفی سه سیستم اصلی نمایش صفحه تصویر دستگاه های پالس اکو خواهیم پرداخت.

## ۱ - سیستم نمایش آسکن ( A - SCAN )

در این سیستم، تغییرات پارامتری پالس های واکنش امواج در دو بعد طولی و عمودی روی صفحه تصویر دیده می شود که بعد طولی معرف زمان طی شده امواج و بعد عمودی شدت و دامنه واکنش امواج را نشان می دهد ( شکل ۲-۵ ) .



شکل ۲-۵ ، مدارهای یک سیستم آسکن

مکانیزم سیستم آسکن :

در سیستم آسکن، محور افقی صفحه تصویر نمادی از ضخامت و محور عمودی نشان دهنده شدت انعکاس دامنه امواج می باشد. با تفسیر علائم دریافت شده از واکنش امواج، شکل، اندازه، نوع و موقعیت عیوب ارزیابی می گردد .

قبل از هر آزمایش با این سیستم، صفحه تصویردستگاه ، با یک نمونه استاندارد و یا نمونه مرجع تنظیم شده و نتایج واکنش امواج براساس داده های اولیه، قابل تفسیر خواهند بود .

با توجه به اینکه اکثر بخشهای فصل دوم به سیستم آسکن اختصاص دارد، لذا در این بخش فقط به معرفی مدارهای آن اکتفا شده است .

## ۲ - سیستم نمایش بی اسکن ( B-SCAN )

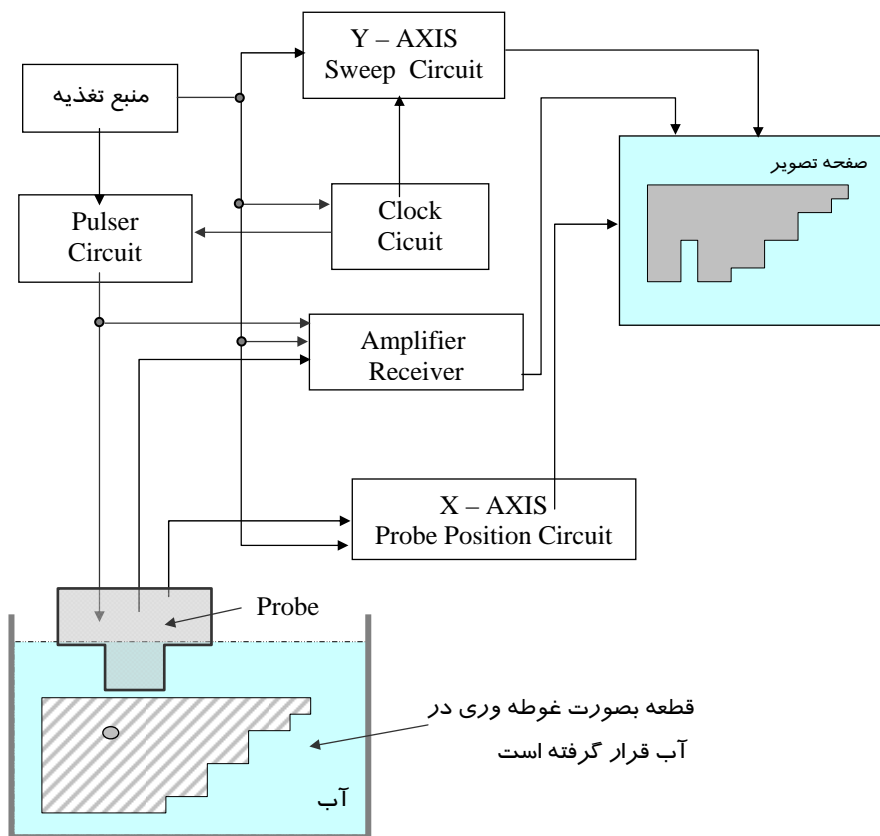
مبنای کار در این سیستم، محاسبه تغییرات زمان ، نسبت به مسافت طی شده امواج می باشد که نمای کلیه مساحت انعکاس دهنده امواج بصورت مقطع برشی، در صفحه نمایش دیده خواهد شد. یک محور نشان دهنده امتداد حرکت خطی پروب و محور دیگر نمایشگر زمان طی شده توسط امواج می باشد. مدارهای اصلی این سیستم با اندک تغییراتی تقریباً همان ترکیب اصلی پالس آکو را دارد، اما نوع نمایش صفحه تصویر دستگاه در مقایسه با آ اسکن دارای تفاوت های زیر می باشد :

**الف -** صفحه تصویر، آغشته به رنگ فسفر و حالت فلوروسنتی پیوسته دارد و تصاویر روی صفحه تصویر با تباینی از رنگ ها ( کنتراست ) دیده می شوند .

**ب -** برای نشان دادن موقعیت پروب، نسبت به نقطه مرجع ، محورا فقی صفحه تصویر با ولتاژ معینی، جابجائی پروب را مشخص می نماید که این ولتاژ توسط یک مدار الکترومکانیکی تامین می گردد .

**ج -** نتیجه واکنش امواج در برخورد با سطوح جلوی قطعه، جلوی عیب، پشت عیب و پشت قطعه، با ترکیبی از رنگهای متفاوت نشان داده می شود که با تفسیر غلظت رنگها، عمق و اندازه عیب قابل تشخیص خواهد بود .

در شکل ۳-۵، نمای مقطعی یک قطعه تحت آزمایش (نمای برشی)، در سیستم تصویری بی اسکن دیده می شود که تصویر از محور مرکزی سوراخ (عیب) برش خورده است. انتخاب نقطه برش بستگی به حد تعریف شده عیب خواهد داشت.



شکل ۳-۵، مدار کلی یک سیستم بی اسکن

## چند نکته :

- سیستم بی اسکن برای آزمایش قطعات مشابه و در اندازه های کوچک تکنیک بسیار مناسبی بشمار می آید و در مقایسه با آسکن از سرعت بسیار زیادتری برخوردار است .
- برای نتیجه گیری دقیق تراز نتایج، باید همواره از پروب هائی با قطر کم و فرکانس زیاد استفاده نمود.
- نوع حرکت پروب در زمان آزمایش بسیار اهمیت دارد بطوریکه ضمن حفظ راستای مسیر حرکت پروب و جابجائی آن، سرعت حرکت نیز باید ثابت و یکنواخت باشد .

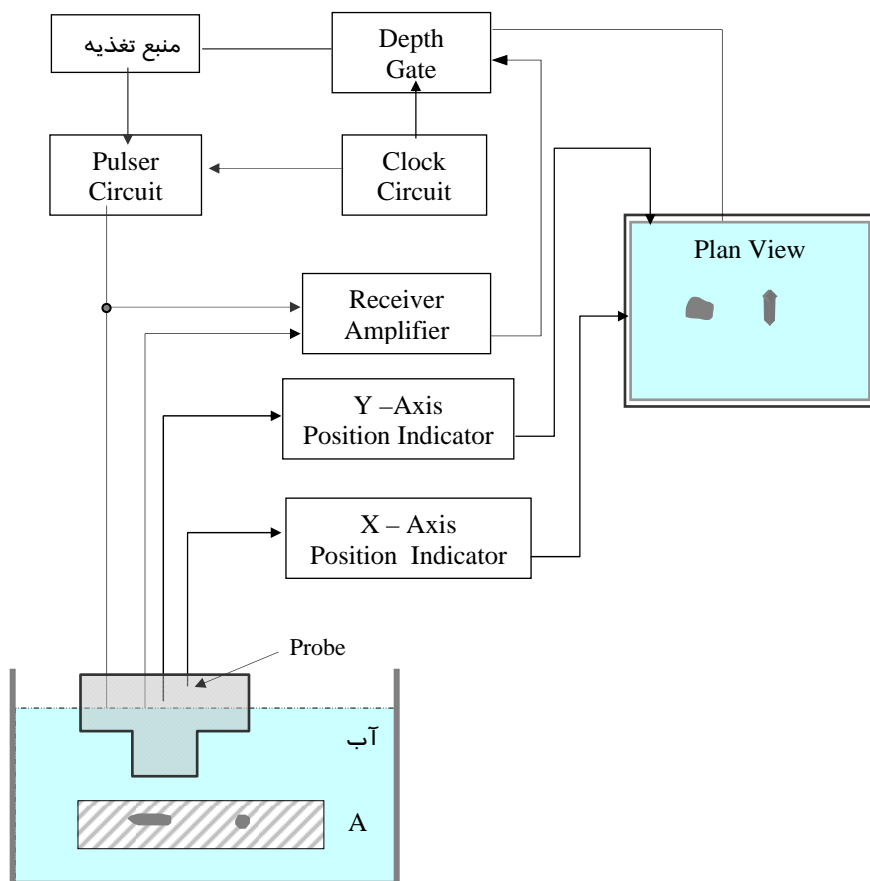
## ۳ - سیستم نمایش سی اسکن ( C-Scan )

در این سیستم ، نمای کامل کلیه نقاطی که تحت تابش امواج قرار می گیرند، بصورت تصویری از نمای بالا نمایش داده می شود. در دستگاه های قدیمی، صفحه نمایش تغییرات درون قطعات مورد آزمایش را فقط با درجه سیاهی مشخص می نمود، اما در دستگاه های پیشرفته، نتایج واکنش امواج بصورت تصاویر رنگی، با دانسیته متنوع در صفحه تصویر دیده می شوند که به سهولت موقعیت و مشخصات عیوب قابل تشخیص و تفسیر خواهند بود.

مکانیزم مدارهای الکترونیکی سی اسکن نیز مانند دو سیستم قبلی از تکنیک پالس اکو تبعیت می کنند و تفاوت عمده آنها در مداری موسوم به تعیین کننده عمق نفوذ ( Depth Gate ) است ، به کمک این مدار هر عمقی از ضخامت قطعات مورد آزمایش، به دلخواه تحت پوشش امواج قرار می گیرد و عمق عیب تعیین می شود . بدین صورت که، پس از رویت نمای یک عیب در تصویر، ضخامت قطعه ، تا مرز برخورد امواج با سطح عیب در چند لایه طبقه بندی می گردد. در این حالت زمان طی شده امواج ( Time-of-Flight ، تا برخورد با لایه حاوی عیب، نشان دهنده عمق عیب خواهد بود .

سیستم دستگاه های سی اسکن بیشتر کاربرد آزمایشگاهی دارند و بندرت ممکن است در کارهای میدانی ( سایتی ) از آن استفاده شود . از این سیستم در کارخانه های تولیدی برای کنترل کیفیت قطعات مشابه نیز استفاده می گردد .

در شکل ۴-۵، قطعه A، در حوضچه ای از آب قرار گرفته و پروب با روش غوطه وری امواج را در قطعه ارسال می دارد. تصویر نمای بالای قطعه (Plan View) در لایه ای که عیب وجود دارد در صفحه تصویر مشاهده می گردد.



شکل ۴-۵، مدارهای یک دستگاه سی اسکن

## مقایسه سیستم های پالس اکو :

- ۱ - تفسیرنتایج از طریق دو سیستم بی اسکن و سی اسکن نسبت به سیستم آسکن بمراتب آسان تر و قابل استنادتر می باشد. در دستگاه های مدرن و پیشرفته در این دو سیستم، کلیه تحولات امواج و نمودارهای صفحه تصویر به کمک مدارهای الکترونیکی هوشمند، آنالیز و ارزیابی می گردد و نتایج بسیار دقیق و قابل تفسیر، با ترکیبی از رنگهای متنوع در صفحه تصویر دیده می شوند .
- ۲ - تفسیر نتایج آسکن بیشتر به مهارت و دانش اپراتور متکی می باشد و فاکتور های تاثیرگذار در شکل ظاهری پالس، می توانند به اختیار محو و یا نقویت گردند، به همین دلیل استفاده از چاپگر با دستگاه های غیراتوماتیک آسکن، مزیتی برای مستند نمودن، نتایج آن محسوب نمی شود و فقط این امکان را به آزمایشگر خواهد داد، تا بعضی از نتایج ثبت شده را در مراحل بعدی مشاوره و کارشناسی نماید . البته در سیستم های خودکار آسکن، که عوامل و فاکتور های تاثیرگذار ثابت بوده و چاپگر بطور پیوسته عمل ثبت را انجام می دهد نتایج ثبت شده می تواند قابل استناد باشد.
- ۳ - دستگاه های بی اسکن و سی اسکن در مقایسه با آسکن بسیارگران قیمت بوده و به علت حجیم بودن برای کار های بیابانی مناسب نمی باشند .

## - اسکن های مرکب ( Multi-scans )

علاوه بر سه سیستم تصویری بیان شده ، از دهه ۱۹۸۰ ، سیستم های پیشرفته دیگری مانند پی اسکن<sup>(۱)</sup> ( تصویر دو جانبه ) ، تی اسکن<sup>(۲)</sup> ( مقطع نگار ) ، فوق تصویرسه بعدی<sup>(۳)</sup> و سیستم حافظه دار تحلیل گر<sup>(۴)</sup> در آزمایشهای آلتراسونیک بکار گرفته شده است. این سیستم ها با ترکیبی از روش های بی و سی اسکن طراحی شده و با تباین از رنگها، علاوه بر واضح تر نمودن ساختار عیوب، می توانند با سرعتی چند برابر روش های متداول ، راندمان هر آزمایش را افزایش دهند . البته ترکیب دو سیستم آسکن و سی اسکن در گذشته نیز برای کارهای آزمایشگاهی متداول بوده و مورد استفاده داشته است .

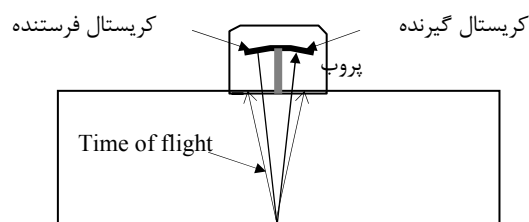
۱- Projection Image Scanning      ۲ - Thickness Scanning      ۳ - Ultra -Image III

۴ - UDRPS ( Ultrasonic Data Recording and Processing System )



### ب - روش زمان سنجی ( Transite Time Method )

در روش زمان سنجی ، مدت زمان طی شده امواج ، از لحظه ورود به قطعه مورد آزمایش تا لحظه برخورد با سطح پشت آن توسط ساعت الکترونیکی دستگاه آلتراسونیک مورد محاسبه قرار می گیرد و زمان طی شده ( Time-of- Flight ) بصورت نمادی از ضخامت در صفحه نمایش الکترونیکی دیده خواهد شد. مهمترین کار برد این فرآیند در دستگاه های ضخامت سنج های آلتراسونیک می باشد در شکل ۵-۵ ، نمونه ای از یک پروب دو کریستاله مخصوص دستگاه ضخامت سنج مشاهده می گردد .



شکل ۵-۵

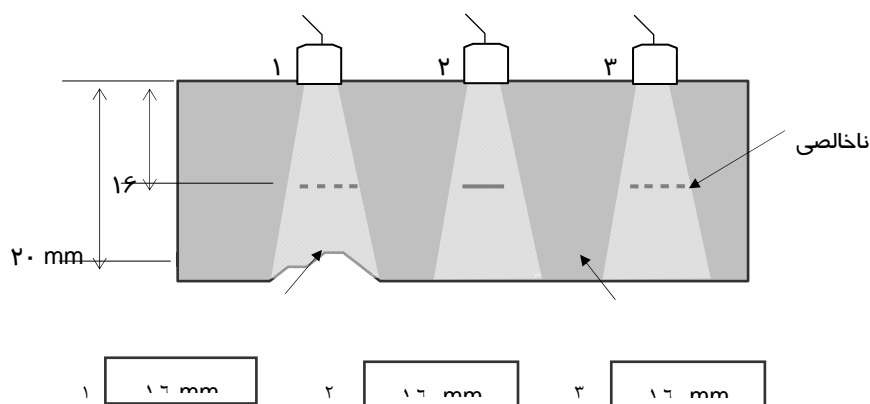
### ضخامت سنج های آلتراسونیک ( Ultrasonic Thickness Gauges )

ضخامت سنج های آلتراسونیک، دستگاه های الکترونیکی کوچک و سبکی هستند که از آنها برای اندازه گیری بسیار دقیق در کار ضخامت سنجی استفاده می گردد. در ضخامت سنج ها بجای لامپ تصویریک سیستم Electro-luminescent طراحی شده که اعداد صفحه نمایش بدون تولید حرارت با وضوح کامل قابل رؤیت هستند.

پروپ های ضخامت سنج معمولاً از نوع تک کریستاله و دو کریستاله صفر درجه و مشابه با پروپ های آلتراسونیک هستند بطوریکه بعضی از پروپ های ضخامت سنج ها برای بعضی دستگاه های آلتراسونیک نیز قابل استفاده است .

در سیستم ضخامت سنج ، همیشه اولین فرمان واکنش امواج در برخورد با مانع، مبنای سنج قرار می گیرد و دستگاه بدون توجه به اندازه مانع، سیستم زمان سنج را فعال می کند.

با این توضیح می بینیم ، چنانچه یک مانع هرچند کوچک، در مسیر امواج قرار گیرد، موجب فعال شدن سیستم زمان سنج شده و باقیمانده امواج در نتیجه گیری بی اثر خواهند بود. در شکل ۵-۶ ، برخورد امواج یک ضخامت سنج در سه موقعیت دیده می شود. بطوریکه در شکل مشخص است ضخامت سنج طبق ماهیت خود، فقط عدد ثابتی از اولین واکنش امواج را در هر سه موقعیت نشان داده و قادر نیست انواع ناپیوستگی های خطی، نقطه ای و یا خوردگی را از هم متمایز نماید . بنابراین هیچگاه نباید از ضخامت سنج معمولی بعنوان یک دستگاه عیب یاب خصوصاً در زمینه تشخیص خوردگی استفاده نمود .



شکل ۵-۶ ، صفحه دیجیتال ضخامت سنج در سه حالت ۱ ، ۲ و ۳

#### ضخامت سنج های آاسکن ( A-Scan Thickness Gauges ) :

به منظور کارآمدنمودن ضخامت سنج ها برای عیب بابی ( خصوصاً خوردگی )، در بعضی از ضخامت سنج ها ، هردو سیستم پالس اکو و زمان سنج، در یک مجموعه ادغام شده اند . بطوریکه در صفحه نمایش، هر دو حالت دیجیتال و نمودار، توأمأ مشاهده می گردند . در این نوع ضخامت سنج ها ، علاوه بر واکنش امواج در برخورد با عیوب ریز، پالس سایر واکنش های امواج نیز در صفحه تصویر دیده خواهد شد. در چنین شرایطی می توان از طریق مقایسه عدد ضخامت با ارتفاع پالس، علت کاهش ضخامت را تشخیص داد .

## ج - روش رزونانس ( Resonance Method ) :

در بخش کریستال ها گفتیم، هرگاه ضخامت کریستال ( در حال ارتعاش )، ضریبی از طول موج گردد، به نوسان منظمی درآمده و امواج با آهنگی یکنواخت تولید می شوند. این خاصیت طبق رابطه زیر، برای سایر مواد نیز صادق بوده و در تکنیک رزونانس نیز از همین خاصیت برای آزمایش آلتراسونیک استفاده شده است .

در فرآیند رزونانس که به تکنیک تشدید صوتی نیز موسوم است ، امواج ماوراء صوت با فرکانس معینی تمام ضخامت قطعه مورد آزمایش را به ارتعاش یکنواخت در می آورد .

$$F_f = c / \lambda t \quad (\text{بخش } \lambda) \text{ رابطه فرکانس پایه}$$

$$\lambda t = c / F_f \quad \Rightarrow \quad c/f = \lambda$$

$$\lambda t = \lambda \quad \Rightarrow \quad t = \lambda / \lambda \quad \Rightarrow \quad t = n\lambda / \lambda$$

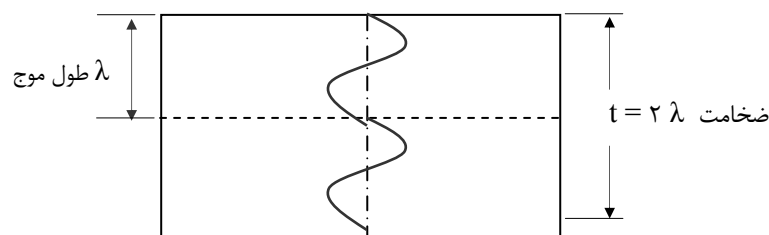
$F_f$  - فرکانس پایه ( مگاهرتز )

$t$  - ضخامت ( میلی متر )

$\lambda$  - طول موج ( میلی متر )

$n$  - ضریب نصف طول موج

با استنباط از رابطه فوق ، می بینیم، پدیده رزونانس در اجسام زمانی روی می دهد که ضخامت جسم به نسبتی از نصف طول موج قابل تقسیم باشد . با توجه به ثابت بودن سرعت و ضخامت قطعات، پارامتری که اندازه طول موج را نسبت به ضخامت تغییر می دهد فرکانس دستگاه خواهد بود .



شکل ۷-۵

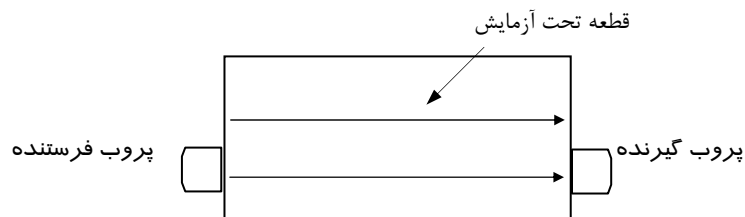
در روش رزونانس، وقتی جسمی تحت آزمایش قرار می گیرد، مولددستگاه، فرکانسی متناسب با ضریبی از نصف طول موج تولیدمی نماید. اندازه و تعداد طول موج هائی که در قطعه انتشار می یابند، مبنای سنجش دستگاه قرار می گیرد .

اگر در جسم مورد آزمایش، ناپیوستگی وجود داشته باشد، امواج در برخورد با آن ، مانند برخورد با ضخامت عمل نموده و مولد دستگاه، بطور خودکار با تغییر فرکانس، اندازه طول موج را متناسب با عمق ناپیوستگی تغییر خواهد داد و عمق ناپیوستگی بدست می آید .

تکنیک رزونانس بیشتر برای اندازه گیری ضخامت ورق های نازک فلزی و تعیین عیوبی نظیر دوپوستگی و جدایش خطی در قطعات کار برد دارد . ناهمواری سطوح و ضخیم بودن لایه سیال رابط، تأثیر نامطلوبی بر نتیجه آزمایش خواهند داشت . برای آزمایش روی سطوح زبر و ناهموار، باید از بالا ترین حد رزونانس بهره گرفت .

#### د - روش انتقال سربه سر ( Through Transmission Method )

در این روش دو پروب تک کریستاله بطور مجزا ، در دو طرف قطعه مورد آزمایش به شکلی قرار می گیرند، که یک پروب به حالت فرستنده و پروب دیگر بصورت گیرنده امواج عمل نمایند . در این روش چون امواج تمام ضخامت قطعه را طی می نماید به تکنیک انتقال "سر به سر" موسوم است .



شکل ۸-۵

## شرح روش :

- پس از تنظیم دستگاه با نمونه استاندارد و استفاده از ماده رابط ، پروب فرستنده در یک سمت و پروب گیرنده در سمت مقابل قطعه قرار داده می شود .
- امواج ماوراء صوت توسط پروب فرستنده در قطعه انتشار می یابند و پس از عبور از قطعه به پروب گیرنده می رسند . در این حالت دستگاه آلتراسونیک شدت پالس دریافتی را در صفحه تصویر نمایان می کند( شکل ۹-۵ - الف ) .
- ارتفاع پالس گیرنده به حد مرجع ( معمولاً ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر ) رسانده می شود .
- چنانچه عیبی در قطعه وجود داشته باشد، مانع عبور بخشی از امواج شده و دستگاه فقط شدت امواج دریافتی را در صفحه تصویر نشان خواهد داد ( شکل ۹-۵ - ب ) .
- ارتفاع این پالس، با پالس اولیه ( مرجع ) مقایسه شده و اندازه عیب بدست می آید .

در مراحل فوق، چنانچه هیچگونه پالسی در صفحه تصویر دیده نشود ، دو حالت زیرممکن است روی داده باشد :

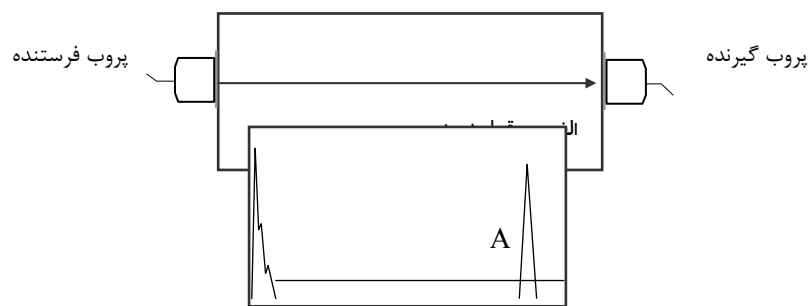
- الف ) - یکی از دو پروب فعال نمی باشد .
- ب ) - امواج با عیبی بزرگتر از قطر کریستال برخورد نموده اند .
- ج ) - ماده رابط ( Couplant ) بین پروب و سطح کارکافی نمی باشد .

بررسی شکل ۹-۵ ( تکنیک انتقال سر به سر ) :

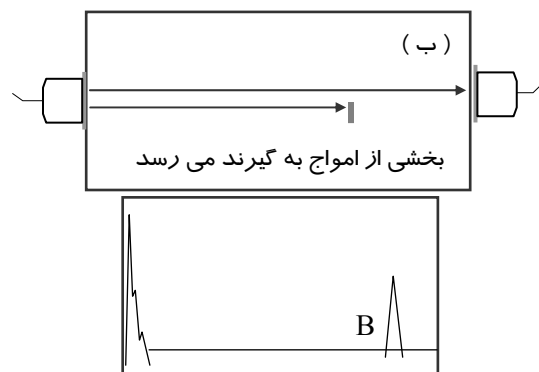
در حالت الف ، قطعه عاری از عیب می باشد و تمام انرژی امواج از طریق فرستنده به کریستال گیرنده رسیده است بنابراین حداکثر شدت امواج بصورت یک پالس بلند در صفحه تصویر دیده خواهد شد ( پالس A شکل ۹-۵ - الف ) .

در حالت ب، یک عیب کوچک مانع عبور بخشی از امواج به سمت گیرنده شده و انرژی کمتری به پروب گیرنده رسیده است . در این حالت، ارتفاع پالس امواج دریافت شده کوتاهتر دیده خواهد شد ( پالس B شکل ۹-۵ - ب ) .

با مقایسه و ارزیابی ارتفاع پالس B به نسبت ارتفاع پالس A که مطابق ابعادی از یک عیب مرجع تنظیم شده اندازه عیب بدست می آید



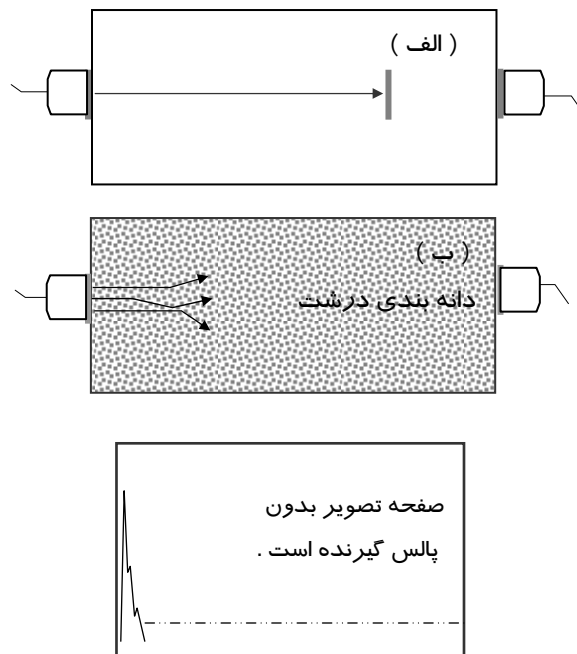
شکل ۹-۵ - الف



شکل ۹-۵ - ب ، پالس ضعیف گیرنده

بطوریکه در دو شکل مشهود است، موقعیت هر دو پالس در نقطه ثابتی از محور افقی صفحه تصویر قرار دارند، بنابراین فاصله یا عمق عیب قابل اندازه گیری نمی باشد و این نکته مهمترین محدودیت این تکنیک به شمار می آید .

در شکل ۵-۱۰ - الف، یک عیب بزرگ مانع انتقال تمامی امواج به گیرنده شده است، بطوریکه پالسی در صفحه تصویر دیده نمی شود. در چنین حالتی اندازه عیب، معادل و یا بزرگتر از مساحت کریستال ( قطر موثر پروب ) بوده است .



شکل ۵-۱۰ - الف و ب

#### نکته مهم :

تعیین اندازه دقیق عیوب با این تکنیک زمانی میسر است که قطعه تحت آزمایش همگن و بدون اتلاف انرژی صوتی باشد. در شکل ۵-۱۰ - ب، بعلاوه دانه بندی درشت قطعه تحت آزمایش، هیچ موجی به پروب گیرنده نرسیده و پالسی در صفحه تصویر دیده نمی شود. با تکیه بر همین خاصیت، از این روش برای اندازه گیری اتلاف انرژی صوتی در مواد استفاده می گردد.

### دستگاه آلتراسونیک اتوماتیک ( کاربرد انتقال سر به سر )

در سیستم های خودکار، که چند پروب همزمان با یک صفحه تصویرمشترک مورد استفاده قرار می گیرند، صفحه تصویر فقط واکنش های یک پروب را نشان می دهد و سایر پروبها به کمک مدار های الکترونیکی بطور خودکار ( اتوماتیک ) تحت کنترل قرار می گیرند

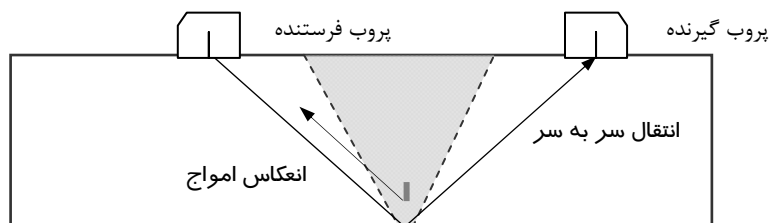
در چنین شرایطی ، هر پروب بطور جداگانه با کانالی که به آن اختصاص دارد با صفحه تصویر ارتباط برقرار نموده و روی محدوده ای از محور افقی ( گیت ) و آستانه ای معین تنظیم می گردد ( شکل ۱۱-۵ ) .

بطور کلی در دستگاه های اتوماتیک، صفحه تصویر در هر مرحله از تنظیم ، فقط با یک پروب در ارتباط تصویری قرار دارد، اما پس از اتمام تنظیم ، کنترل کلیه عملکرد پروبها همزمان بوسیله سیستم هماهنگ کننده گیت و آستانه انجام می پذیرد. در چنین شرایطی برای اطمینان از ارتباط الکترونیکی بین هر پروب با دستگاه آلتراسونیک، از روش انتقال سر به سر استفاده می گردد. برای این منظور، هر پروب علاوه بر ارتباط مسقیم و مجزائی که با سیستم خودکار دستگاه آلتراسونیک برقرار می کند، امواج را نیز با روش انتقال سر به سر به سمت پروب روبرو ارسال می نماید و مدار پیوسته ای را با پروب مقابل برقرار می کند در این حالت، تا زمانیکه عیبی در مسیر امواج قرار نگرفته، دو پروب به تناوب بصورت فرستنده و گیرنده با هم در ارتباط هستند . اما در لحظه حضور عیبی در مسیر امواج ، یکی از پروبها به حالت فرستنده در آمده و در حالیکه بخشی از امواج در برخورد با عیب منعکس می شوند، همزمان بخش باقیمانده انرژی خود را به سمت گیرنده ارسال می دارد. در این لحظه حافظه دستگاه، نتیجه هر دو واکنش را تجزیه و تحلیل خواهد نمود .

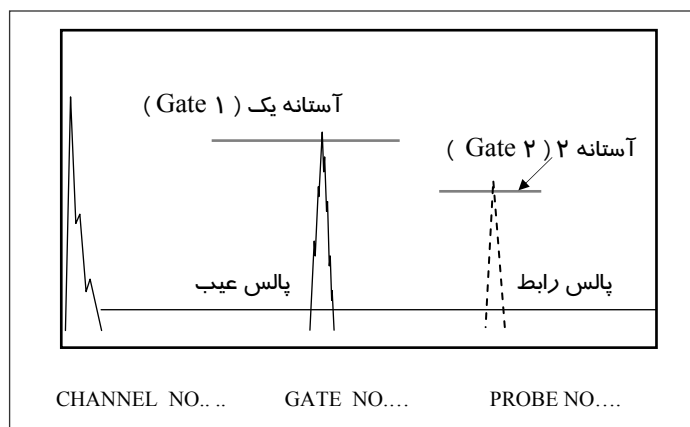
اما چنانچه عیبی بزرگتر از عرض طیف در مسیر امواج قرار گیرد و تمام انرژی آن منعکس گردد ، پروب مقابل نیز بطور خودکار در نقش فرستنده عمل خواهد نمود و فرمان مشابهی را به دستگاه می فرستد . در چنین حالتی سیستم مونیتر دستگاه آلتراسونیک علاوه بر تأیید وجود عیب توسط هر دو پروب، قطع ارتباط بین دو پروب را نیز هشدار می دهد.

با این فرآیند، علاوه بر عیب یابی توسط هر پروب، هرگاه جریان انتقال سر به سر امواج به هردلیلی مانند وجود عیب یا خرابی پروب ها برقرار نباشد، دستگاه قطع ارتباط سر به سر را بصورت نقص نشان خواهد داد .





شکل ۵-۱۱



شکل ۵-۱۲

در شکل ۵-۱۲، آستانه گیت شماره یک، حد پذیرش پالس عیب و آستانه گیت دو، کنترل سیال رابط و ارتباط بین دو پروب را بعهدہ دارد.

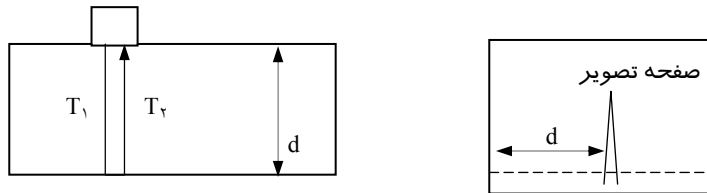
**توضیح:** البته در دستگاه های خودکار، گیت دیگری نیز مخصوص کنترل پروب ضخامت سنج طراحی می شود که خارج از بحث تکنیک انتقال سر به سر می باشد.

### کاربرد امواج طولی

همانطور که در تعاریف امواج در بخش یک گفته شد، جهت انتشار امواج طولی همسو با جهت ارتعاش ذرات انتقال دهنده امواج می باشد، در چنین حالتی مسیر انتشار امواج کاملاً مستقیم و در جهتی عمود بر سطح قطعات خواهد بود. با قبول این استدلال، جهت رفت و برگشت امواج پس از برخورد با موانع برهم منطبق بوده و زمان طی شده در هر دو حالت رفت و برگشت نیز برابر خواهند بود .

در دستگاه های آلتراسونیک، زمان رفت و برگشت امواج توسط سیستم زمان سنج محاسبه شده و مجموعه دو زمان بصورت فاصله در صفحه نمایش نشان داده می شود .

**توضیح:** چون امواج طولی در راستای مستقیم و بدون زاویه به درون اجسام انتشار می یابند، به امواج صفردرجه نیز موسومند .



شکل ۶-۱

#### ویژگی های مهم امواج طولی :

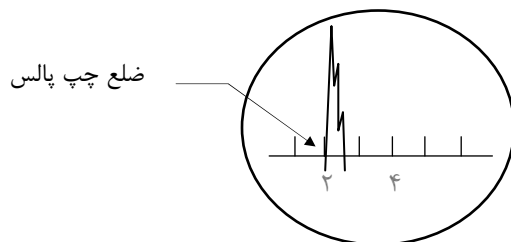
- سرعت امواج طولی بیشتر از سرعت سایر امواج است .
- در کلیه مواد جامد ، مایع و حتی بعضی گاز ها انتشار می یابند .
- بیشترین انعکاس امواج در برخورد با عیوب موازی با سطح بدست می آید .
- ساده ترین کاربرد امواج طولی در روش آزمایش آلتراسونیک، اندازه گیری ضخامت مواد فلزی و غیرفلزی می باشد، که ضخامت های کمتر از یک میلی متر تا ضخامت های چندمتر، با انواع پروبهای صفردرجه تک و دو کریستاله قابل اندازه گیری خواهد بود .

## اندازه گیری ضخامت

در فرآیند اندازه گیری ضخامت ( با پروب صفر درجه )، امواج طولی بطور قائم در یک جسم انتشار می یابند و پس از طی مسافتی معادل ضخامت جسم به سطح پشت برخورد نموده و پدیده انعکاس روی می دهد . چنانچه دو سطح زیر و روی قطعه موازی باشند، امواج تحت همان زاویه ( اولیه ) به سمت گیرنده برگشت شده و به دستگاه آلتراسونیک می رسد . دستگاه آلتراسونیک مسافت طی شده را در صفحه تصویر نشان خواهد داد .

### نکات مهم :

- ۱ - قبل از شروع به اندازه گیری ضخامت اجسام ، محور افقی صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک، باید بوسیله یک قطعه ( نمونه استاندارد و یا مرجع ) با ضخامتی معین و شناخته شده تنظیم گردد .
- ۲ - معمولاً، محور افقی صفحه تصویر به ۱۰ قسمت مساوی و هر قسمت نیز به پنج قسمت کوچکتر و مساوی تقسیم و درجه بندی شده است، بطوریکه هر درجه معادل یک پنجاهم طول محور افقی خواهد شد .
- ۳ - با انتخاب واحدی برای اندازه گیری طول ، محور افقی صفحه تصویر، برای ضخامت های مختلف قابل تنظیم می باشد. ظرفیت محور افقی صفحه تصویر ( Range )، می تواند از ۱۰ میلی متر تا چند متر انتخاب و تنظیم گردد.
- ۴ - در زمان تنظیم محور افقی دستگاه آلتراسونیک، ضلع چپ ( پای چپ ) هر پالس مبنای تنظیم محور افقی خواهد بود ( شکل ۲-۶ ) .



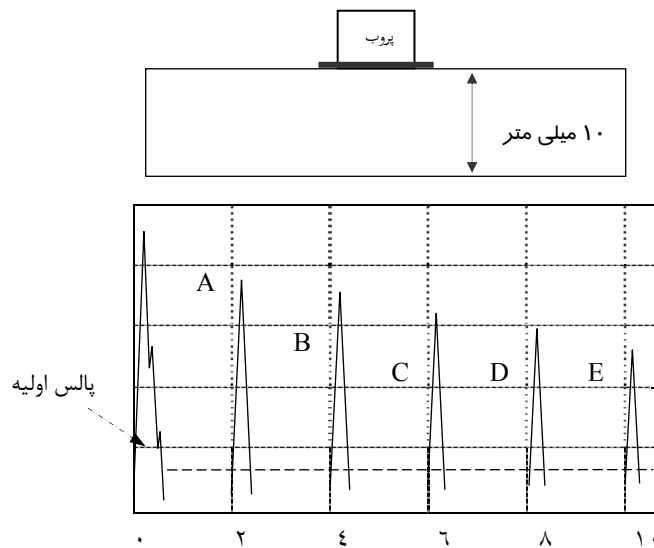
شکل ۲-۶

**مثال :**

فرض شود، می خواهیم محور افقی صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک را با یک پروب تک کریستاله برای ضخامت سنجی قطعات فولادی تنظیم نمائیم . اگر ضخامت اسمی قطعات بین ۱۵ تا ۲۰ میلی متر باشد مراحل به شرح زیر اجرا می گردد :

**مراحل اجرا :**

- ۱ - به کمک کلیدکنترل، ظرفیت محور افقی صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک، برابر با ۵۰ میلی متر انتخاب می گردد ( حدود دو برابر ضخامت اسمی ) .
- ۲ - پروب روی یک نمونه تنظیم به ضخامت ۱۰ میلی متر قرار می گیرد و به کمک کلید های جابجا کننده<sup>(۱)</sup> و کلید باز و بست کننده<sup>(۲)</sup>، اولین پالس انعکاسی از ضخامت نمونه ( بجز پالس اولیه )، روی خانه شماره ۲ و دومین پالس روی خانه شماره ۴ قرار داده می شود .  
با توجه به انتخاب طول محور افقی، خانه شماره ۲، برابر با ۱۰ میلی متر و خانه شماره ۴ برابر با ۲۰ میلی متر خواهد بود ( شکل ۳-۶ ) .



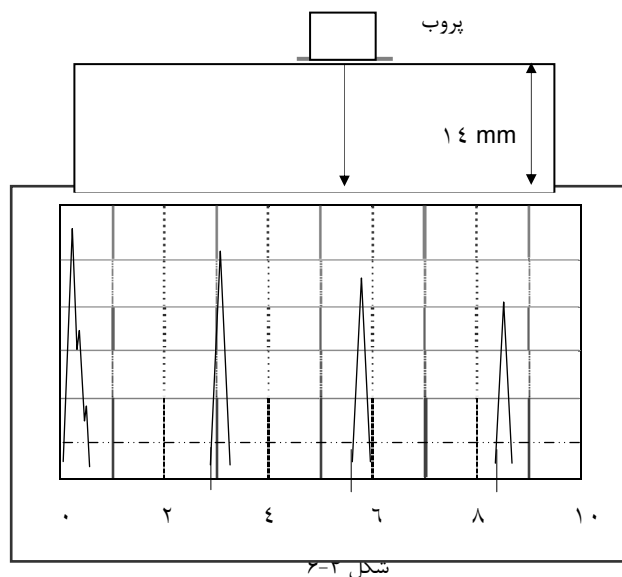
۱ - Shift Control

۲ - Calibration Control

۳ - با ادامه تنظیم ، پالس های سوم ، چهارم و پنجم نیز روی خانه های ۶ ، ۸ و ۱۰ قرار می گیرند بطوریکه هرپالس روی صفحه تصویر، نشان دهنده واحدی از تکرار ضخامت باشد ( پالس های A تا E ، شکل ۶-۳ ) .

۴ - پس از اتمام این سه مرحله، محور افقی صفحه تصویرتنظیم شده است . با قرار دادن پروب روی قطعات مورد آزمایش، محل ظاهر شدن اولین پالس ( بعد از پالس اولیه )، نشان دهنده ضخامت خواهد بود که ممکن است چند نوبت پالس های واکنش آن تکرار شوند .

در شکل ۶-۴ ، یک قطعه ضخامت سنجی شده است ، ضخامت قطعه ۱۴ میلی متر بوده، لذا اولین پالس روی عدد ۱۴ و تکرار پالس ها روی دو عدد ۲۸ و ۴۲ میلی متر دیده می شوند.



شکل ۶-۴

#### توصیه :

برای خواندن دقیق ضخامت ، بخصوص ضخامت قطعات نازک، بهتر است آخرین پالس سمت راست صفحه بر تعداد پالس های تکرار شده تقسیم گردد . بطور مثال در شکل ۶-۴ ، طول صفحه تصویر ۵۰ میلی متر بوده است، اگر سومین پالس انعکاس از ضخامت که روی عدد ۴۲ میلی متری قرار گرفته برسه پالس سمت چپ آن تقسیم گردد، ضخامت ۱۴ میلی متر بدست خواهد آمد .

**پالس اولیه ( Initial or Transmission Pulse )**

در شکل های ۳-۶ و ۴-۶، در سمت چپ صفحه تصویر یک پالس تقریباً ثابت دیده می شود، که به نامهای پالس اولیه، پالس کور و پالس صفر موسوم است. این پالس محصول تحولات امواج صوتی در حوزه کور در پروب های صفر درجه تک کریستاله می باشد که قبلاً، در بخش مربوط به حوزه های صوتی به آن اشاره شده است.

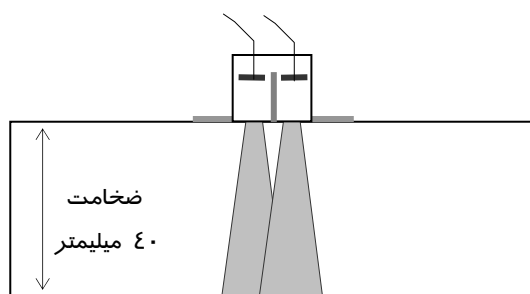
اصولاً در این حوزه، پالس واکنش انعکاسی از ضخامت کمتر از عرض پالس صفر در صفحه تصویر قابل تفسیر نخواهد بود. عرض ( پهنای ) این پالس به فرکانس و قطر پروب بستگی دارد. هرچه قطر پروب بزرگتر و فرکانس بیشتر انتخاب گردد عرض پالس اولیه ( کور ) کمتر خواهد شد.

**پروب های دو کریستاله**

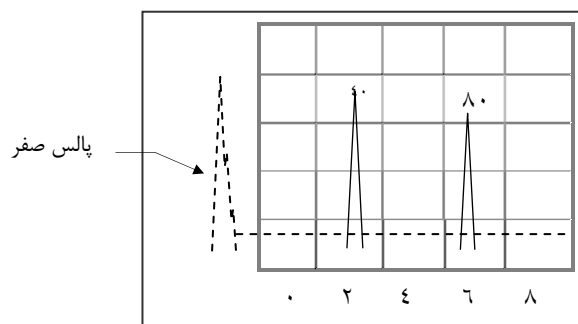
همانطور که تعریف پالس اولیه گفته شد، پالس حوزه کور در پروبهای تک کریستاله مانع اندازه گیری ضخامت در فاصله نزدیک به سطح تماس می شد. اما در پروب های دو کریستاله این امکان فراهم شده تا حوزه کور به قسمت درونی تر پروب انتقال یافته و پالس اولیه از صفحه تصویر حذف گردد. بعلاوه در پروب های دو کریستاله، بخشی از حوزه نزدیک نیز به داخل پروب انتقال یافته و همین مزیت موجب فاصله گرفتن فشارهای صوتی جلوی کریستال ها، از سطح تماس پروب می گردد، در نتیجه اندازه گیری ضخامت های بسیار کم و تفسیر عیوب نزدیک به سطح ممکن خواهد شد.

در شکل ۴-۶ - الف، یک قطعه فولادی به ضخامت ۴۰ میلی متر، با یک پروب از نوع صفر درجه دو کریستاله، در حال آزمایش است. کریستال ها، از سطح تماس فاصله دارند و امواج بعد از طی بخشی از ناحیه پرفشار حوزه نزدیک، در قطعه انتشار یافته اند.

در شکل ۴-۶ - ب، نتیجه واکنش امواج یک پروب دو کریستاله دیده می شود که پالس کور از سمت چپ صفحه تصویر خارج گردیده و نقطه صفر محور افقی، نقطه صفر اندازه گیری ضخامت شده است.



شکل ۵-۶ - الف



شکل ۵-۶ - ب

### اندازه گیری ضخامت های کم

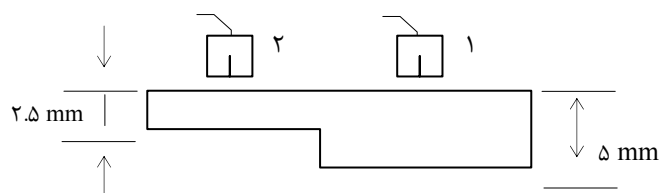
برای اندازه گیری دقیق ضخامت های بسیار کم با دستگاه آلتراسونیک، ( ضخامت کمتر از ۳ میلی متر )، محور افقی صفحه تصویر باید بوسیله دو ضخامت مختلف تنظیم گردد. این روش بمنظور بالا بردن ضریب دقت اندازه گیری کاملاً ضروری می باشد و چنانچه تنظیم محور افقی فقط با یک ضخامت انجام گیرد، بعلت کوتاه بودن طول محور افقی، خطای اندازه گیری، بیش از ۰/۵ میلی متر خواهد شد. برای این منظور، لازم است تا برای اندازه گیری ضخامت های کم، یک نمونه تنظیم با دو ضخامت معین و متناسب با ضخامت قطعات اصلی در اختیار قرار گیرد. نمونه های پله ای مناسبترین نمونه برای چنین تنظیم هائی می باشند.

## مثال :

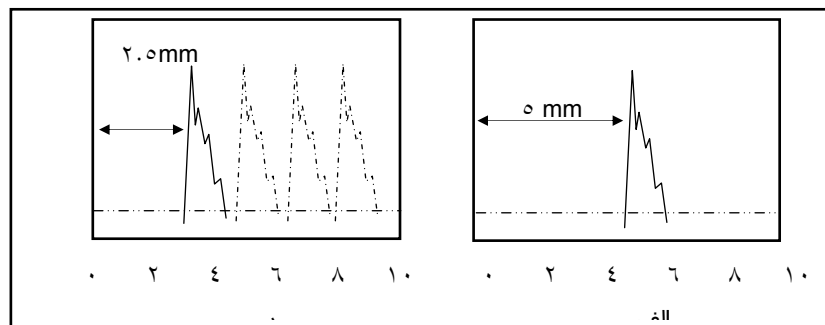
محور افقی دستگاه آلتراسونیک، برای اندازه گیری ضخامت تیوب های یک واحد مبدل حرارتی تنظیم می گردد. فرض شود ضخامت اسمی تیوب ها، حدود ۳ میلی متر است .  
برای تنظیم محور افقی دستگاه، از یک نمونه تنظیم پله ای با ضخامت های ۲/۵ و ۵ میلی متر استفاده می گردد .

## روش اجرا :

- ۱ - طول محور افقی ( ظرفیت ) صفحه تصویر معادل ۱۰ میلی متر انتخاب می گردد
- ۲ - پروب روی ضخامت ۵ میلی متری نمونه تنظیم قرار گرفته و به کمک کلیدهای کنترل، پالس واکنش آن روی عدد ۵ میلی متری قرار داده می شود ( پروب ۱، شکل ۶-۶ - الف ) .
- ۳ - در مرحله بعد، پروب روی ضخامت ۲/۵ میلی متری نمونه تنظیم قرار می گیرد و بکمک کلید های کنترل ، پالس واکنش آن روی عدد ۲/۵ قرار داده می شود (پروب ۲، شکل ۶-۶ - ب ) .



شکل ۶-۶ - الف



شکل ۶-۶ - ب



۴ - پروب به دفعات در دو موقعیت ضخامت های نمونه تنظیم قرار می گیرد تا پالس های انعکاس یافته از دو ضخامت بطوردقیق روی دو عدد ۲/۵ و ۵ میلی متر تنظیم گردند.

در این حالت محور افقی صفحه تصویردستگاه آلتراسونیک برای اندازه گیری ضخامت های کمتر از ۵ میلی متر تنظیم شده است .

**توضیح :** باید توجه داشت که در زمان تنظیم صفحه تصویر برای ضخامت های کم، بدلیل عرض زیاد پالس های تکراری، تفکیک بین آنها مشکل خواهد بود و به همین منظور فقط اولین پالس از هر ضخامت جداگانه و مستقل تنظیم می گردد .

### اندازه گیری ضخامت مواد غیر فولادی

با توجه به اینکه اکثر نمونه های استاندارد تنظیم از جنس فولاد ساخته شده اند، لذا برای اندازه گیری ضخامت قطعاتی غیر از فولاد، به دو روش زیر عمل می شود :

#### ۱ - تهیه نمونه مرجع ( نمونه تنظیم ) :

نمونه ای پله ای با ضخامت های دقیق و همجنس قطعات مورد آزمایش تهیه و دستگاه آلتراسونیک با آن تنظیم می گردد، در این صورت اندازه گیری ضخامت مانند مثال قبل انجام خواهد شد .

#### ۲ - روش مقایسه ای :

در این روش کافی است نمونه ای با ضخامت معین از فولاد در دسترس باشد و با استفاده از رابطه نسبی سرعت انتشار امواج در دو ماده ( رابطه ۶-۱ ) ، ضخامت معادل فولاد، برای جنس مورد آزمایش محاسبه گردد . ضخامت معادل بدست آمده ، معیار تنظیم صفحه تصویردستگاه آلتراسونیک با نمونه فولادی خواهد بود .

#### رابطه بین سرعت و جنس :

طبق رابطه ۶-۱ ، نسبت سرعت امواج در ماده اول به سرعت امواج در ماده دوم برابر است با ضخامت ماده اول به ضخامت ماده دوم .

$$T_1 / T_2 = V_1 / V_2 \quad \text{رابطه ۶-۱}$$

$T_1$  - ضخامت نمونه فولادی ( mm )

$T_2$  - ضخامت معادل فولاد ( mm )

$V_1$  - سرعت امواج در جسم اول ( km/sec )

$V_2$  - سرعت امواج در جسم دوم ( km/sec )

### مثال :

می خواهیم ضخامت قطعاتی از جنس مس را با استفاده از یک نمونه فولادی، به ضخامت ۲۵ میلی متر اندازه گیری نمائیم .

سرعت امواج طولی در فولاد ۵/۹ کیلو متر در ثانیه و سرعت امواج طولی در مس ۴/۷ کیلومتر در ثانیه است ( جدول ۱-۴ ، بخش ۴ ) .

### مراحل انجام :

۱ - طبق رابطه ۱-۶ ضخامت معادل برای مس در مقایسه با ضخامت معادل برای نمونه ۲۵ میلی متری فولاد محاسبه می گردد .

$$T_{Fe} / T_{Cu} = V_{Fe} / V_{Cu}$$

$$25 / T_{Cu} = 5.9 / 4.7$$

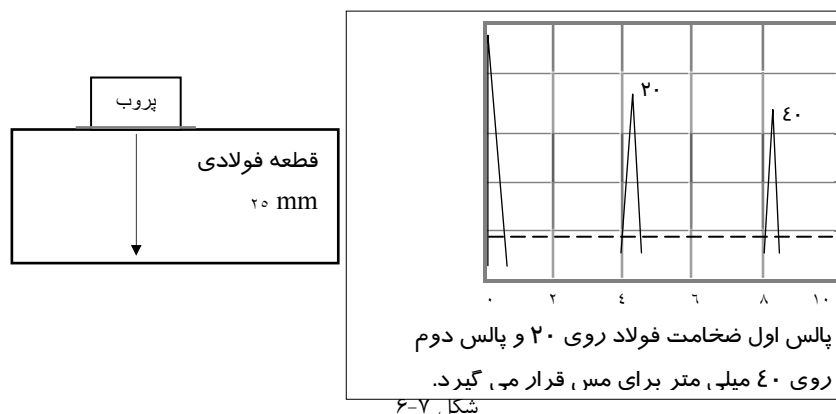
$$T_{Cu} = 19.91 \text{ mm} \sim 20 \text{ mm}$$

۲ - از محاسبه فوق نتیجه می گیریم که ضخامت هر ۲۵ میلی متر فولاد، تقریباً برابر با ضخامت ۲۰ میلی متر مس می باشد .

۳ - با قرار دادن پروب روی نمونه فولادی، پالس برگشت از ضخامت ۲۵ میلی متر فولاد در صفحه تصویردستگاه آلتراسونیک دیده می شود .

۴ - بدون تغییر پروب و نمونه تنظیم و بکمک کلید های کنترل ، پالس ۲۵ میلی متر فولاد، روی عدد ۲۰ میلی متری و تکرار آن روی عدد ۴۰ میلی متری محور افقی صفحه تصویرقرار داده می شوند ( شکل ۶-۷ ) .

با این تنظیم، محور افقی صفحه تصویر برای آزمایش قطعات مسی تنظیم شده و با قرار دادن پروب روی قطعات مسی ، ضخامت واقعی آنها بطور مستقیم روی محور افقی صفحه تصویر دستگاه خوانده می شود .



### نکات مهم اندازه گیری ضخامت

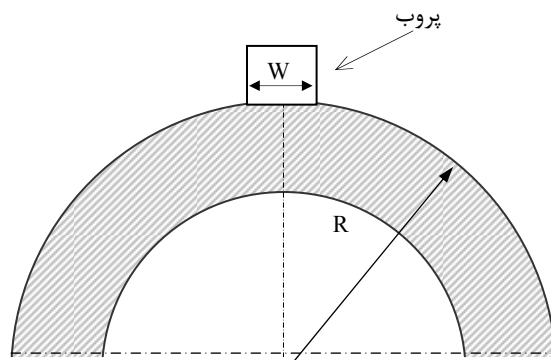
اگر چه اندازه گیری ضخامت اجسام با دستگاه ضخامت سنج معمولی، به مراتب آسان تر از اندازه گیری با دستگاه آلتراسونیک است، اما بدلیل ویژگی ضخامت سنج ها، در بسیاری از موارد اندازه گیری ضخامت، مشکل و گاه غیرممکن خواهد بود. در موارد متعددی دیده شده که بعلت تغییرات ساختاری مواد و وجود عیوب ریز، دستگاه ضخامت سنج نتایج غیرواقعی را نشان داده است.

اما در کار ضخامت سنجی با دستگاه آلتراسونیک نکات فنی ظریفی وجود دارند که دانستن آنها برای اندازه گیری دقیق ضخامت اجسام الزامی می باشد. در ادامه نکات مهم و تکنیکی ضخامت سنجی شرح داده می شود:

- ۱ - برای اندازه گیری دقیق ضخامت های کمتر از ۱۰ میلی متر و عیوب نزدیک به سطح، سعی شود از پروب دو کریستاله استفاده شود.
- ۲ - برای اندازه گیری ضخامت های کمتر از ۵ میلی متر، پروب دو کریستاله با فرکانس بیش از پنج مگاهرتز و قطر کمتر از ۱۰ میلی متر استفاده گردد.
- ۳ - یک پروب ۵ مگاهرتز ( و بالاتر ) به قطر کمتر از ۸ میلی متر، هیچ عیبی را در حوزه دور تشخیص نمی دهد.

- ۴ - برای اندازه گیری ضخامت های بسیار کم ، از تکنیک تنظیم با دو ضخامت استفاده گردد .
- ۵ - پروب های با قطر کمتر از ۱۰ میلی متر برای اندازه گیری ضخامت های بیش از ۱۰۰ میلی متر مناسب نمی باشند .
- ۶ - برای اندازه گیری ضخامت های بیش از ۱۰۰ میلی متر، قطر مفید پروب دو کریستاله، باید بیش از ۱۵ میلی متر باشد .
- ۷ - برای اندازه گیری ضخامت قطعات ضخیم ( ضخامت بیش از ۲۰۰ میلی متر ) ، پروب تک کریستاله با قطر بیش از ۱۵ میلی متر مناسبتر است .
- ۸ - پروب های با فرکانس پائین ، برای سطوح ناهموار مناسبتر هستند. با فرکانس کمتر، طول موج بزرگتر شده و طول موج های بلند می توانند اثر سطح ( Skin Effect ) را خنثی نموده و مانع انعکاس های زائد سطحی گردند .
- ۹ - استفاده از پروب دو کریستاله روی سطوح زبر و ناهموار، موجب شکل گیری پالس های مجازی و غیرواقعی خواهد شد .
- ۱۰ - برای اندازه گیری فولاد های کربنی ساده و چکش خوار با دانه بندی متوسط و ریز، پروب هائی با فرکانس بین ۲ تا ۵ مگاهرتز مناسب هستند .
- ۱۱ - برای اغلب فولاد های آستنیتی، از پروب هائی با فرکانس ۲ مگاهرتز و در بعضی شرایط از فرکانس کمتر استفاده شود .
- ۱۲ - برای مواد با دانه بندی درشت نظیر قطعات چدنی، از فرکانس کمتر از ۲ مگاهرتز و در مواردی کمتر از یک مگاهرتز استفاده گردد .
- ۱۳ - طول موج باید در حدی انتخاب گردد، که امواج بتوانند از مرز بین گرافیت های خطی و یا کروی در مواد چدنی عبور نمایند .
- ۱۴ - برای پروب های با فرکانس بالاتر از ۴ مگاهرتز ، انتخاب طول محور صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک بیش از ۲۰۰ میلی متر مناسب نمی باشد .
- ۱۵ - تماس سطح مقطع پروب با سطح قطعه کار، در نتیجه گیری و کیفیت آزمایش بسیار مؤثر است و برای آزمایش سطوح قوس دار، مانند لوله های قطر کم و همچنین مخازن کوچک، باید از پروب کوچک و متناسب با سطح نشیمنگاه استفاده نمود .

۱۶ - در زمان آزمایش سطوح خمیده ، چنانچه رابطه بین شعاع قوس قطعه با ابعاد پروب خارج از محدوده رابطه زیر باشد، پروب باید در محفظه ای مخصوص با قوسی مشابه سطح قطعه قرار گیرد ( شکل ۶-۸ ) .



شکل ۶-۸

$$R \geq W^2 / \epsilon$$

W - قطر و یا عرض پروب ( بعد نشیمنگاه پروب )

R - شعاع انحنای قطعه تحت آزمایش

۱۷ - بطور دلی برای آزمایش سطوحی با سطح قوسی با شعاع کمتر از ۱۵۰ میلی متر، بهتر است پروب در یک محفظه هم قوس با سطح کار قرار گیرد.

۱۸ - برای ضخامت سنجی در محیط های گرم، تنظیم دستگاه آلتراسونیک با نمونه تنظیم، باید در درجه حرارت مشابه با آزمایش قطعات اصلی انجام گیرد. در صورت تفاوت درجه حرارت بیش از ۵۵ درجه، باید ضریب دما در محاسبه ضخامت منظور گردد .

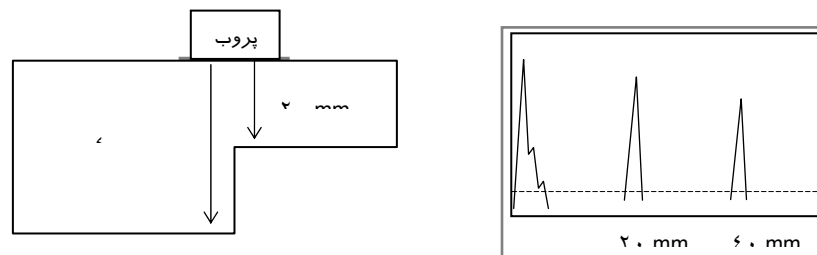
۱۹ - برای اندازه گیری بسیار دقیق ضخامت، لازم است تا جنس و ساختار آلیاژی قطعه مورد آزمایش بدقت مشخص شده باشد و در صورت امکان قبل از ضخامت سنجی، سرعت انتشار امواج در قطعه محاسبه گردد .

## اندازه گیری عیوب

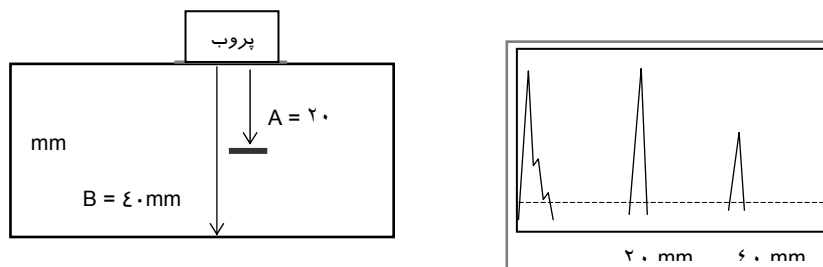
## پروب صفر درجه

همانطور که در بحث ضخامت سنجی گفته شد، امواج پس از عبور از ضخامت یک قطعه و بر خورد با سطح پشت آن منعکس شده و واکنش چنین برخوردی به شکل پالس، در صفحه تصویر ظاهر نمایان می گردد.

در شکل ۹-۶ الف، یک پروب صفر درجه در شرایطی روی یک قطعه پله ای قرار گرفته که امواج همزمان با هر دو ضخامت ۲۰ و ۴۰ میلی متری قطعه در تماس می باشند. در این حالت دو پالس واکنش از دو ضخامت قطعه روی خانه ۲۰ و ۴۰ میلی متری در صفحه تصویر دیده می شوند.



شکل ۹-۶ الف



شکل ۹-۶ ب

حالت مشابهی در شکل ۹-۶ - ب، دیده می شود که این بار نیز دو پالس از برخورد امواج با ضخامت ۴۰ میلی متری و یک مانع در عمق ۲۰ میلی متری روی محور افقی صفحه تصویردستگاه ظاهر شده اند . با مقایسه دو شکل الف و ب ، می بینیم که موقعیت طولی پالس برخورد امواج با مانعی در عمق ۲۰ میلی متر، مشابه با پالس برخورد امواج با ضخامت ۲۰ میلی متری بوده است، بنابراین می توان نتیجه گرفت ، معیار تعیین کننده ارتفاع و موقعیت هر پالس در صفحه تصویر، محل و اندازه مانعی است که در مسیر امواج قرار می گیرد و یک عیب نیز چنانچه در مسیر امواج قرار گیرد مانند مانعی برای عبور امواج عمل خواهد نمود .

بطوریکه در شکل مشخص است، اگر چه فاصله هر دو پالس در یک نقطه مساوی از صفحه تصویر دیده می شوند، اما شدت واکنش ها نمی توانند یکسان باشند و عواملی چون سطح مقطع، شکل هندسی و جهت برخورد امواج، تعیین کننده شدت انعکاس و در نتیجه بلندی ارتفاع پالس خواهد بود . اصولاً برای ارزیابی شدت انعکاس پالس واکنش از یک عیب ، حدآن با پالس واکنش از ضخامت قطعه ( Back-wall Echo ) مقایسه می گردد . هر چه مساحت مانع ( عیب ) بیشتر باشد، امواج کمتری به انتهای ضخامت قطعه رسیده و دامنه انعکاس آن کوتاهتر و در مقابل دامنه انعکاس از عیب بیشتر خواهد شد.

این ویژگی مهمترین خاصیت فرآیندهای امواج ماوراء صوت است و تعیین ناپیوستگی ها و عیوب بر مبنای همین پدیده استوار می باشد .

### حد آشکار سازی عیوب :

آنچه مسلم است، یکی از اهداف اصلی و مهم کاربرد آلتراسونیک آشکار سازی ناپیوستگی ها، نا همگنی ها و در تعریف جامع تر، آشکار سازی عیوب در قطعات مختلف می باشد. هر عیب بسته به ماهیت خود دارای ابعاد و شکل هندسی خاصی است که در نتیجه برخورد متقابل امواج، پالس واکنش آن در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک ظاهر می گردد.

از نقطه نظر تئوری حداقل اندازه (طول) عیب قابل تشخیص با روش امواج ماوراء صوت، معادل یک دهم طول موج است . یعنی هرگاه عیبی به اندازه یک دهم طول موج، بصورت مانعی در مسیر امواج ماوراء صوت قرار گیرد آشکار می گردد .

اما در عمل چنین نیست و عوامل دیگری مانند شکل هندسی عیب ، ساختار فیزیکی جسم، خواص ماده رابط، اتلاف انرژی صوتی ، تکنیک آزمایش و عوامل دیگری ، مانع از تحقق این تئوری می شوند . تجربه نشان می دهد ، بدلیل تحولاتی که روی محور افقی صفحه تصویر روی می دهد، حتی با رعایت دقیق پارامترهای آزمایش، عیبی که بزرگترین بعد آن کمتر از یک سوم طول موج باشد، با روش های عادی و غیرآزمایشگاهی قابل تشخیص نخواهد بود. به منظور روشنتر شدن این موضوع، به مثال زیر توجه گردد .

#### مثال :

با یک پروب صفر درجه ، به قطر ۲۰ میلی متر و فرکانس ۲/۵ مگاهرتز، قطعه ای از جنس فولاد به ضخامت ۵۰۰ میلی متر مورد آزمایش می باشد . تعیین حداقل قطر معادل عیوب قابل تشخیص در این قطعه، با روش نمودار DGS مورد بررسی قرار می گیرد ( شکل ۱۱ - ۶ ) .

#### شرایط اولیه آزمایش :

- سیال رابط آب می باشد .
- قطعه بدون اتلاف انرژی صوتی فرض می شود .
- در قطعه یک عیب ریز وجود دارد .
- صفحه دستگاه آلتراسونیک بدون علائم ریز چمنی ( Grass ) فرض شده است .

#### مراحل آزمایش :

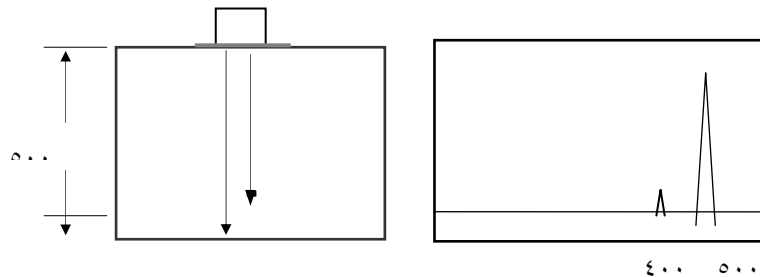
- ۱ - محور افقی صفحه تصویردستگاه آلتراسونیک با یک نمونه استاندارد برای ضخامت ۷۵۰ میلی متر تنظیم می گردد .
- ۲ - پس از قرار گرفتن پروب روی سطح کار ، پالس ضخامت قطعه در فاصله ۵۰۰ میلی متری صفحه تصویردستگاه ظاهر خواهد شد ( شکل ۱۰-۶ ) .
- ۳ - ارتفاع آن به حد ۸۰٪ رسانده می شود ، در این حالت آمپلی فایر شدت ۳۸ دسی بل را نشان می دهد .



۴ - پروب به سمت عیب حرکت داده می شود . پالس واکنش بسیار کوتاهی از عیب در عمق ۴۰۰ میلی متری نمایان خواهد شد .

۵ - با افزایش دسی بل دستگاه آلتراسونیک ، ارتفاع آن به حد ۸۰٪ رسانده می شود . در این حالت شدت آن به ۷۰ دسی بل رسیده است .

تفاوت دسی بل دو پالس به ارتفاع ۸۰٪  $32 = 70 - 38$



شکل ۶-۱۰

۶ - روی محور افقی نمودار DGS ، نقاط ۵۰۰ میلی متری ضخامت و ۴۰۰ میلی متری عمق عیب علامت زده می شود ( دو نقطه A و B ) .

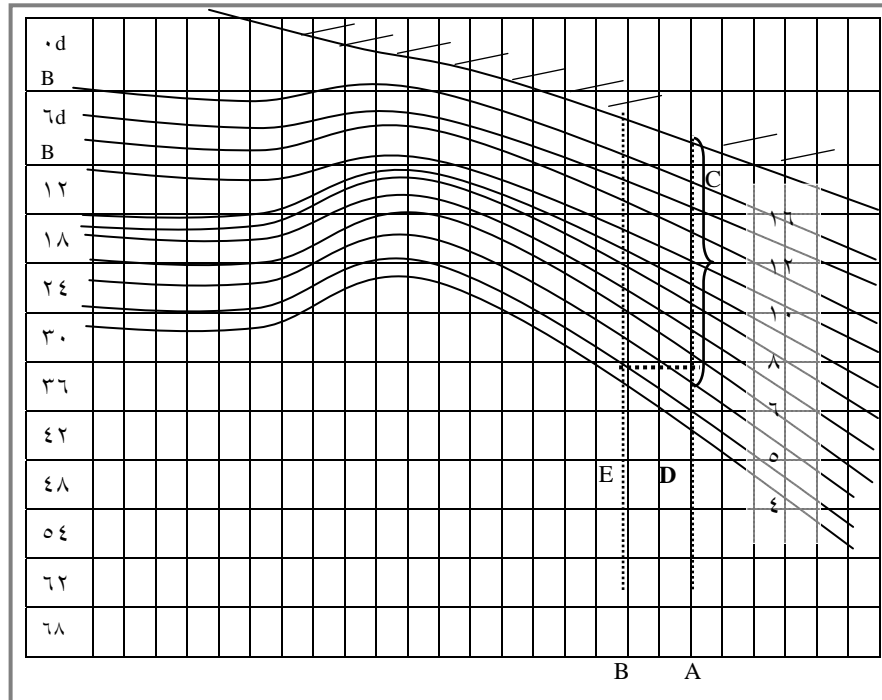
**توضیح:** در شکل ۶-۱۱ نمونه ای از نمودار DGS مشاهده می گردد، روش استفاده از این نمودار در صفحه ۱۶۶ آمده است .

۷ - از این دو نقطه دو خط عمودی رسم می گردد . از نقطه برخورد خط عمودی A با منحنی هاشور زده نقطه C بدست خواهد آمد.

۸ - از نقطه C ، معادل اختلاف دسی بل بین پالس ضخامت و پالس عیب ( ۳۲ دسی بل ) کسر می گردد و به نقطه D می رسمیم .

۹ - از نقطه D ، خطی موازی محور افقی رسم می شود تا نقطه E بدست آید .

۱۰ - چون نقطه E روی منحنی معادل یک عیب ۱/۵ میلی متری قرار گرفته پس اندازه عیب ۱/۵ میلی متر بوده است .



با اجرای مراحل فوق اندازه عیب بدست آمد، اما آنچه در این مثال اهمیت دارد، امکان رؤیت عیب در حالت عادی آزمایش است و لذا سؤال زیر مطرح می گردد :

اگر ارتفاع پالس ضخامت در صفحه تصویر ۱۰۰ میلی متر فرض شود ، ارتفاع پالس عیب چقدر خواهد بود ؟

برای بدست آوردن ارتفاع پالس عیب از رابطه لگاریتمی زیر استفاده می شود که  $A_1$  ارتفاع پالس ضخامت و  $A_2$  ارتفاع پالس عیب می باشند :

$$n \text{ dB} = 20 \cdot \text{Log } A_1 / A_2 \quad \text{رابطه ۴-۵ ، بخش ۴}$$

$$32 \text{ dB} = 20 \cdot (\text{Log } 100 - \text{Log } A_2)$$

$$32 \text{ dB} = 20 \cdot (2 - \text{Log } A_2)$$

$$20 \cdot \text{Log } A_2 = 40 - 32 = 8 \text{ dB}$$

$$\text{Log } A_2 = 8 / 20 = 0.4 \Rightarrow A = 2.5 \text{ mm}$$

بنابراین از این مثال چنین نتیجه گرفته می شود که وقتی ارتفاع پالس ضخامت به حد ۱۰٪ ارتفاع صفحه تصویر برسد، ارتفاع پالس عیب فقط به حد ۲/۵ در صد خواهد رسید .  
در این مثال صفحه تصویر بدون علائم چمنی ( Grass ) فرض شده بود، اما با توجه به ضخامت زیاد قطعه و افزایش ۳۲ دسی بل ، وجود پالس های ریز و چمنی اجتناب نا پذیر خواهد بود .  
در حقیقت اگر پالس ضخامت تا حد ۱۰٪ ارتفاع صفحه تصویر فرض شود ، پالس یک عیب به قطر ۱/۵ میلی متر و به ارتفاع تقریبی ۲/۵ در صد در بین پالس های ریز و چمنی صفحه تصویر کاملاً محو خواهد شد .

### نتایج تجربی :

طبق تجربه ، حتی در بهترین شرایط آزمایش، نتایج زیر اجتناب ناپذیر خواهد بود .  
۱ - در عمق بیش از ۴۰۰ میلی متر ، عیبی کوچکتر از ۳ میلی متر قابل تشخیص نمی باشد .  
۲ - در عمق بیش از ۳۰۰ میلی متر ، عیبی کوچکتر از ۲ میلی متر دیده نمی شود .  
۳ - در عمق بیش از ۱۵۰ میلی متر، عیبی با قطری کمتر از ۱ میلی متر دیده نخواهد شد.  
۴ - بعلاوه پروبهایی که فرکانس آنها کمتر از ۲ مگاهرتز باشد، قادر به تشخیص عیبی به قطر یک میلی متر نخواهند بود .

### تعریف عیب :

اصولاً در واژه عمومی و رایج آزمایش آلتراسونیک ، به هر نوع ناپیوستگی که مانع انتشار و انتقال امواج گردد، عیب گفته می شود . اما وقتی نتیجه آزمایش در قالب کنترل کیفیت مد نظر باشد و ارزیابی عیوب تابع قوانین کد و استاندارد قرار گیرند، تعریف عیب با آنچه که گفته شد، تفاوت خواهد داشت . بنابراین در این کتاب، قبل از ورود به محدوده استاندارد و یا کد، از واژه عیب با مفهوم عادی آن استفاده می گردد .

با توجه به تعریف فوق، در این بخش به معرفی انواع روش هایی خواهیم پرداخت که از طریق مقایسه پالس عیب با پالس عیوب ساختگی در یک نمونه مرجع و یا با پالس واکنش از ضخامت، ماهیت عیوب اندازه گیری و ارزیابی می شود.

## انواع روش ها :

### ۱- منحنی تعدیل دامنه نسبت به فاصله

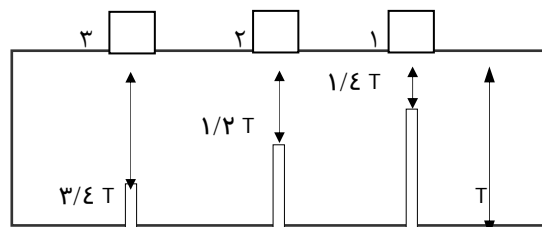
D.A.C ( Distance Amplitude Correction )

در این روش که به تکنیک DAC موسوم است ، پالس های واکنش از عیوب در قطعات مورد آزمایش با پالس های واکنش عیوب مصنوعی در یک نمونه مرجع، در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک مورد مقایسه قرار می گیرند . برای این منظور، با استفاده از یک نمونه مرجع که در آن عیوب مصنوعی تعبیه شده، یک منحنی به نسبت تغییرات ارتفاع پالس های عیوب مصنوعی در فواصل متفاوت رسم می شود و الگوی حد پذیرش عیوب قرار می گیرد.

در زمان آزمایش قطعات اصلی، ارتفاع پالس یک عیب در هر نقطه از محور افقی صفحه تصویر با ارتفاع منحنی الگو مقایسه شده و حد پذیرش آن مشخص می گردد. برای رسم منحنی DAC ، نمونه ای همجنس و هم شکل با قطعات اصلی طبق استاندارد تهیه می شود که در آن سوراخ هایی با قطر و عمق معینی ایجاد شده است ( شکل ۱۱-۶ ) .

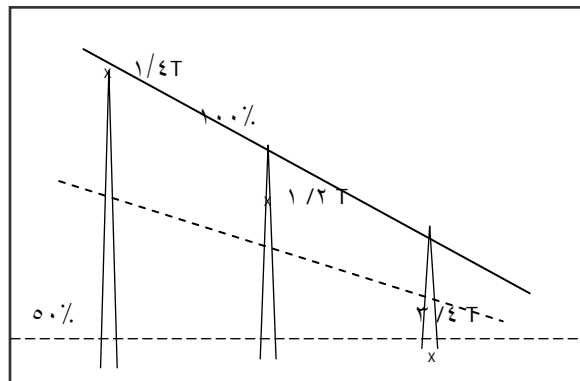
### مراحل رسم منحنی :

- ۱ - محور افقی صفحه تصویر با یکی از نمونه های استاندارد تنظیم می گردد .
  - ۲ - پس از این تنظیم، پروب روی نمونه DAC قرار می گیرد و پالس بازتابش اولین سوراخ نزدیک به سطح در صفحه تصویر نمایان خواهد شد ( شکل ۱۲-۶ ، پروب ۱ ) .
- ابعاد نمونه DAC متناسب با ضخامت قطعات مورد آزمایش و استاندارد تعیین می گردد.



شکل ۱۲-۶ ، نمونه تنظیم DAC

- ۳ - پالس بازتابش از سوراخ نزدیک به سطح به حد ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده شده و نقطه عطف آن علامت گذاری می شود.
- ۴ - بدون تغییر دسی بل، پروب در دو موقعیت ۲ و ۳ به ترتیب در مقابل سوراخ های دوم و سوم قرار می گیرد.
- ۵ - نقاط عطف پالس واکنش از هر سوراخ، روی صفحه تصویر علامت زده می شود.
- ۶ - با اتصال نقاط بدست آمده، منحنی تعدیل دامنه نسبت به فاصله رسم می گردد ( شکل ۱۳-۶ ).



شکل ۱۳-۶

- ۷ - در زمان آزمایش قطعات اصلی ارتفاع پالس واکنش از هر عیب، روی محور افقی، با ارتفاع منحنی مقایسه می گردد. پالس هر عیب که بلندتر از حد معینی از منحنی باشد، عیب محسوب خواهد شد. حد پذیرش عیوب، بسته به روش آزمایش و نوع استاندارد، ممکن است از  $20\%$  تا  $100\%$  ارتفاع منحنی نمودار تعیین گردد.

#### نکات مهم :

- ۱ - این روش برای عیوب کوچکتر از قطر موثر پروب کار برد دارد و طبیعی است که پالس بازتابش از عیبی بزرگتر، ارتفاعی بیش از حد منحنی خواهد داشت.
- ۲ - در روش حد پذیرش، پالس هر عیبی که ارتفاع آن بیش از حد معینی از ارتفاع منحنی باشد برای ارزیابی بعدی علامت گذاری می شود.

۳ - مردود و یا قابل قبول بودن هر نقطه علامت گذاری شده ، به روش بررسی و نوع استاندارد آزمایش بستگی خواهد داشت .

۴ - جنس و شکل هندسی نمونه تنظیم، باید همجنس و مشابه قطعات اصلی باشد . در صورت استفاده از نمونه تنظیمی غیر همجنس با قطعات اصلی، لازم است تا اتلاف انرژی و ضریب تسطیح جداگانه محاسبه گردد .

## ۲ - روش افت شش دسی بل ( ۶ dB-Drop Technique )

هرگاه نیمی از انرژی طیف امواج ساطع شده از یک پروب با مانعی مسطح برخورد نماید، تفاوت انرژی واکنش آن نسبت به زمانی که تمامی امواج با همان عیب برخورد نموده باشد، شش دسی بل خواهد بود .

$$n \text{ dB} = 20 (\log 100 - \log 50) \quad (\text{بخش ۴}) \quad \Rightarrow 6 \text{ dB}$$

از این خاصیت برای اندازه گیری عیوب خطی ( طولی ) مسطح و عیوب حجمی با شکل هندسی منظم ( صاف ) استفاده می شود .

### مراحل آزمایش :

۱ - محور افقی صفحه تصویر برابر حداقل دو برابر ضخامت قطعات مورد آزمایش انتخاب و با نمونه استاندارد تنظیم می گردد .

۲ - پروب مانند شکل ۱۴-۶ ، روی سطح کار قرار گرفته و ارتفاع پالس بر گشت از ضخامت به حد معینی از صفحه تصویر رسانده می شود ( پالس الف- شکل ۱۵-۶ ) .

۳ - با حرکت آرام پروب در سطح قطعه ، امواج به عیب برخورد نموده و پالس عیب دیده خواهد شد. با جابجائی تدریجی پروب، بلندترین پالس انعکاسی امواج در صفحه تصویر بدست می آید .

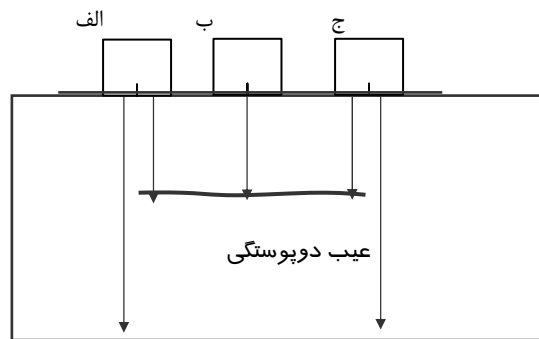
۴ - بکمک کلید کنترل دسی بل ( Gain control ) ارتفاع این پالس را به حد ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده و حد ارتفاع مرجع به دست می آید ( شکل ۱۵-۶ - ب ) .

۵ - پروب بآرامی در یک سمت عیب حرکت داده می شود، هرگاه ارتفاع پالس عیب به نصف ارتفاع حد مینا برسد ( شکل ۱۵-۶ - ج )، نیمی از پرتوی امواج با عیب در تماس خواهد بود .

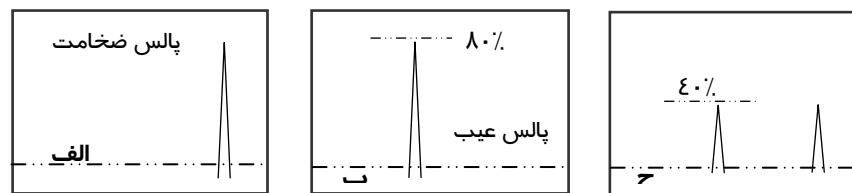
۶ - درمقابل مرکز پروب ( Probe Index ) علامت زده می شود و انتهای یک سمت عیب بدست می آید ( شکل ۶-۱۶ ) .

۷ - برای اطمینان از درست بودن نقطه بدست آمده ( مرحله ۵ )، آمپلی فایر دستگاه شش دسی بل تقویت می گردد. چنانچه ارتفاع پالس آن به حد ارتفاع مرجع ( ۸۰٪ ) برسد، نقطه بدست آمده مرز یک سمت عیب خواهد بود، در غیراینصورت آزمایش با دقت بیشتری باید تکرار گردد .

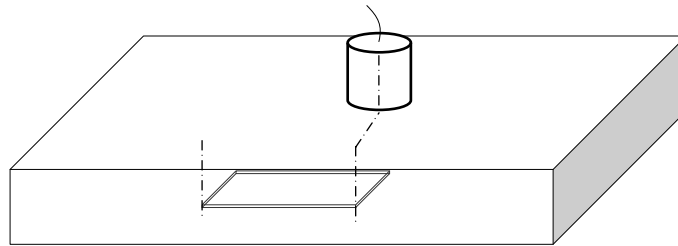
۸ - مراحل فوق برای تعیین مرز سایر جهات عیب تکرار می شوند. در هر مرحله، پالس نصف شده، باید با پالس مرجع همان سمت مقایسه گردد .



شکل ۶-۱۴، برخورد امواج با ضخامت و عیب



شکل ۶-۱۵ - الف، ب و ج



شکل ۱۶-۶ ، روش علامت گذاری انتهای عیب

### ۳ - تکنیک افت ۲۰ دسی بل

#### ۲۰ dB- Drop Technique

قبلا در بحث حوزه های صوتی، محدوده شدت صوت در سه ناحیه از طیف امواج ، نسبت به مرکز انتشار آن شرح داده شد . تفاوت انرژی صوتی در ناحیه مجاور حاشیه امواج ، نسبت به مرکز انتشار آن ۲۰ دسی بل می باشد و از این خاصیت برای اندازه گیری انواع عیوب استفاده می گردد . شیوه آزمایش با این تکنیک تقریباً مشابه روش افت شش دسی بل است با این تفاوت که چون در این تکنیک از حاشیه ۲۰ دسی بل امواج استفاده می شود ، ارتفاع پالس عیب در مرز پایانی هر سمت عیب به حد ۱۰٪ ارتفاع پالس مینا خواهد رسید .

یاد آور می شود که طبق رابطه لگاریتمی دسی بل ( بخش ۴ )، هر گاه ارتفاع پالس ۱۰٪ کاهش یابد، معادل ۲۰ دسی بل انرژی آن تفاوت خواهد داشت .

$$n \text{ dB} = 20 \cdot \text{Log } A_1 / A_2$$

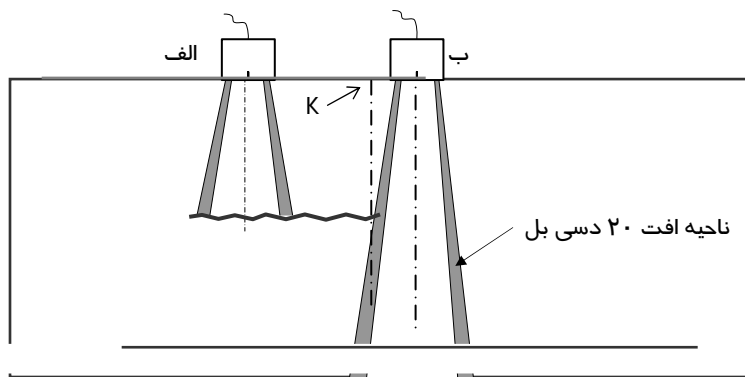
$$n \text{ dB} = 20 \cdot \text{Log } 100 / 10$$

$$n \text{ dB} = 20 \cdot (\text{Log } 100 - \text{Log } 10)$$

$$n \text{ dB} = 20 \cdot (2 - 1) = 20 \text{ dB}$$



در شکل ۶-۱۷، امواج در دو حالت تابش به ضخامت و عیب دیده می شوند. در حالت الف، تمام طیف امواج با عیب برخورد نموده و در حالت ب، ناحیه افت ۲۰ دسی بل با عیب در تماس است.



شکل ۶-۱۷

### روش اندازه گیری :

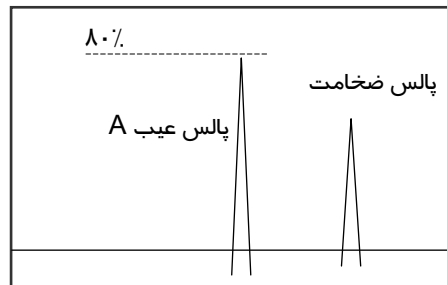
- ۱ - محور افقی صفحه تصویر، با نمونه استاندارد IIW-V1 و یا نمونه ای با ضخامت معین، معادل حداقل دو برابر ضخامت اسمی قصعات اصلی تنظیم می گردد.
  - ۲ - پروب روی سطح قطعه اصلی قرار می گیرد و پس از مشاهده پالس ضخامت، پروب تا برخورد امواج با عیب، روی سطح قطعه حرکت داده می شود.
  - ۳ - پس از برخورد کامل امواج با عیب، حداکثر ارتفاع پالس انعکاس بدست می آید و حد آن به ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده می شود (پالس A شکل ۶-۱۸ - الف).
  - ۴ - با تداوم حرکت پروب در یک سمت عیب، به تدریج ارتفاع پالس عیب کوتاه تر شده و در نهایت ارتفاع آن به حد ۱۰٪ ارتفاع مرجع خواهد رسید (شکل ۶-۱۸ - ب، پالس B).
- در این حالت حاشیه ۲۰ دسی بل با مرز یک سمت عیب در تماس می باشد.

۵ - چنانچه این نقطه مرز نهائی یک سمت عیب باشد با افزایش ۲۰ دسی بل ، ارتفاع آن به حد ارتفاع پالس مرجع (۸۰٪) خواهد رسید (پالس C شکل ۱۸-۶ - ب) . در غیر اینصورت باید، آزمایش با دقت بیشتری تکرار گردد .

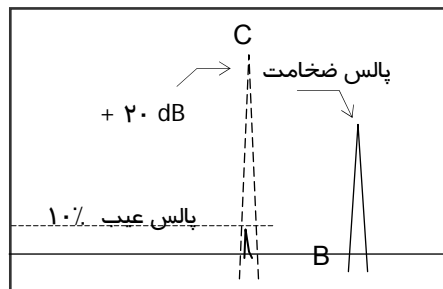
۶ - پس از اطمینان از صحت نقطه بدست آمده ، در فاصله ای معین از مرکز پروب روی سطح قطعه علامت زده می شود . این نقطه مرز پایانی یک سمت عیب خواهد بود .

( شکل ۱۷-۶ - ج ، نقطه K ) .

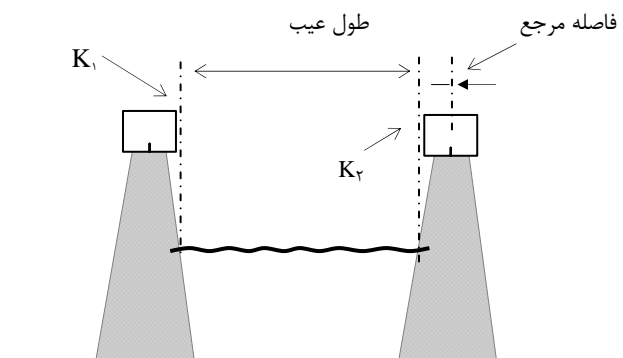
۷ - مراحل ۴ ، ۵ و ۶ برای سمت دیگر عیب تکرار می گردند و نقاطی مشابه نقطه K در هر سمت بدست می آید .



شکل ۱۸-۶ - الف



شکل ۱۸-۶ - ب



شکل ۱۸-۶-ج

در شکل ۱۸-۶-ج ، طول عیب پس از برخورد حاشیه افت ۲۰ دسی بل با دو سمت عیب دیده می شود که دو نقطه انتهایی عیب ( $K_1$  و  $K_2$ ) با مرکز پروب فاصله دارند ، این فاصله باید قبلا بدست آمده باشد .

#### نکات مهم :

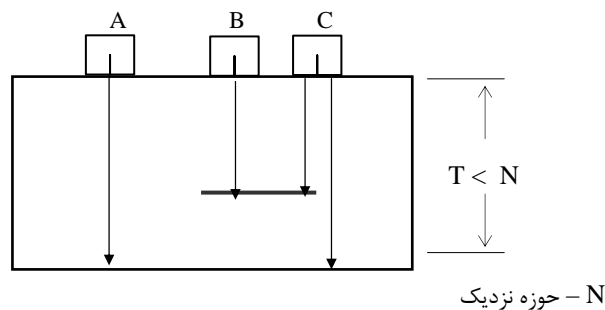
- ۱ - قبل از آزمایش باید با رسم طیف امواج ، فاصله حاشیه ۲۰ دسی بل طیف از مرکز پروب بدست آمده باشد ( $K_1$  ,  $K_2$  شکل ۱۸-۶-ج) .
- ۲ - چون ارتفاع واکنش امواج در تمام طول عیب یکسان نمی باشد ، لذا حد ۱۰٪ ارتفاع پالس در هر سمت عیب ، باید با حد ارتفاع پالس مرجع در همان سمت عیب مقایسه گردد.
- ۳ - با تکنیک افت ۲۰ دسی بل انواع عیوب ریز و درشت، خطی دنداندار و حجم دار قابل اندازه گیری می باشد .

#### ۴ - روش مقایسه ای ( Comparison Method )

در این روش دامنه پالس انعکاس یافته از واکنش امواج در برخورد با سطح پشت قطعه، مبنای مقایسه و اندازه گیری طول عیب قرار می گیرد. این روش مخصوص اندازه گیری عیوب درشتتر از قطر پروب و روی قطعاتی است که ضخامت آنها کمتر از طول یک حوزه نزدیک و تا حداکثر ۲۰ میلی متر باشد .  
توضیح : پالس انعکاس از ضخامت، با واژه Backwall Echo شناخته می شود .

#### روش اجرا :

- ۱ - محور افقی صفحه تصویر با نمونه استاندارد تنظیم می گردد .
- ۲ - پس از قرار گرفتن پروب روی سطح قطعه مورد آزمایش، پالس انعکاسی از ناحیه سالم قطعه روی صفحه ظاهر می شود .
- ۳ - به کمک کنترل دسی بل ، پالس ضخامت در ارتفاع معینی ( ۸۰٪ ) رسانده می شود .  
( شکل ۱۹-۶ پروب A و شکل ۲۰-۶ - الف پالس  $A_1$  ) .
- ۴ - با حرکت پروب به سمت عیب، پالس واکنش از عیب ظاهر خواهد شد . با تداوم حرکت، بتدریج ارتفاع پالس عیب زیاد تر و در مقابل از ارتفاع پالس ضخامت کاسته شده و در نهایت محو می گردد ( شکل ۱۹-۶ پروب B و شکل ۲۰-۶ - ب پالس  $B_1$  )

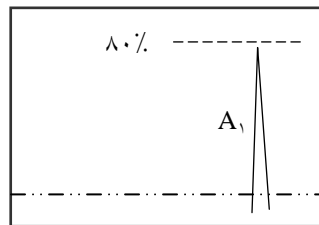


شکل ۱۹ - ۶

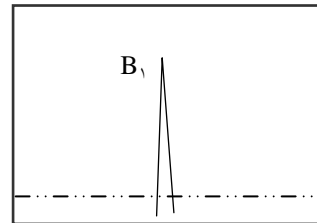
۵ - با حرکت پروب در یک سمت عیب، مجدداً پالس ضخامت همراه با پالس عیب در صفحه تصویر ظاهر می شوند. در لحظه ای که ارتفاع هر دو پالس برابر گردند، در مقابل مرکز پروب علامت زده می شود.

این نقطه مرز پایانی یک سمت عیب می باشد ( شکل ۱۹-۶ پروب C، شکل ۲۰-۶-ج، پالس های  $A_1$ ,  $B_1$  ).

۶ - مراحل ۴ و ۵ برای سمت دیگر عیب تکرار می گردد.

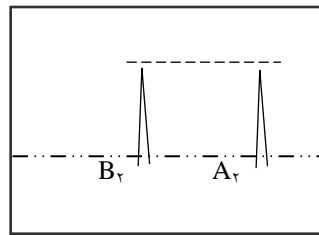


الف - فقط پالس ضخامت دیده می شود



ب - فقط پالس عیب دیده می شود

شکل ۲۰-۶-الف، ب



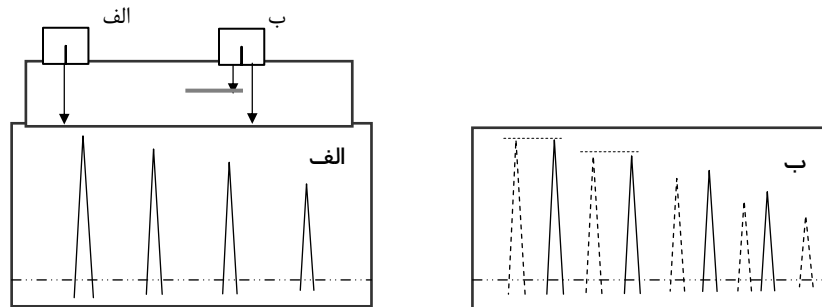
شکل ۲۰-۶-ج، پالس عیب و ضخامت مساوی هستند

### ۵ - روش تکرار پالس ( Multiple Echo Pattern )

این روش برای ضخامت های کمتر از ۱۰ میلی متر و عیوب برابر و یا بزرگتر از قطر موثر پروب مناسب است . پروب مورد استفاده باید از تفکیک سازی بسیار خوبی برخوردار بوده و بتواند فاصله عیوب مجاور هم را بخوبی از هم متمایز نماید .

#### مراحل آزمایش :

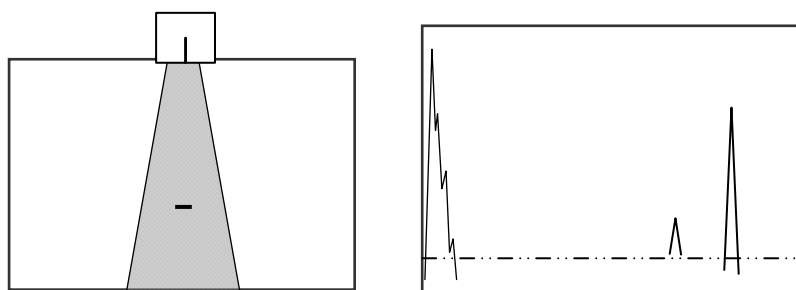
- ۱ - محور افقی صفحه تصویر با نمونه استاندارد برای حداقل چهار برابر ضخامت قطعات مورد آزمایش تنظیم می گردد .
- ۲ - پس از قرار گرفتن پروب روی سطح کار ( ناحیه عاری از عیب )، چهار پالس برگشت از ضخامت، به حالت تکراری در صفحه تصویر دیده خواهند شد ( شکل ۶-۲۱ - الف ) .
- ۳ - اولین پالس تا حد ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده می شود .
- ۴ - پروب روی سطح کار حرکت داده می شود . در زمان برخورد امواج با عیب، پالس های تکراری عیب در کنار پالس های ضخامت ظاهر می شوند .
- ۵ - با جابجائی مختصر پروب ، در یک لحظه ارتفاع یک یا چند پالس عیب با یک یا چند پالس ضخامت برابر خواهند شد ( شکل ۶-۲۱ - ب ) .
- ۶ - در این لحظه، مرکز پروب مرز نهائی یک سمت عیب می باشد . در مقابل مرکز پروب روی سطح کار علامت زده می شود .
- ۷ - مراحل ۴ ، ۵ ، ۶ ، در سایر جهات تکرار می گردد .



شکل ۶-۲۱، الف و ب

### ۶ - نمودار دی جی اس ( Distance Gain Size )

با تعریفی که در ابتدای این بخش داشتیم ، به هر عیبی که مساحت آن کمتر از مساحت موثر پروب باشد، عیب ریز گفته می شود . با این تعریف چنانچه یک عیب ریز در مسیر امواج قرار گیرد، بخشی از امواج از اطراف آن عبور نموده و به انتهای ضخامت قطعه برخورد می نمایند . در چنین حالتی دو پالس انعکاسی از ضخامت قطعه و عیب همزمان در صفحه تصویر ظاهر خواهند شد که ارتفاع پالس ضخامت آن، به اندازه عیب بستگی خواهد داشت. بنابراین برای تعیین اندازه یک عیب ریز، باید رابطه ای بین پالس واکنش عیب و پالس ضخامت برقرار نموده و با مقایسه شدت واکنش ها، اندازه عیب تعیین گردد . برای چنین منظوری، از نمودار منحنی DGS استفاده می شود .



شکل ۶-۲۲

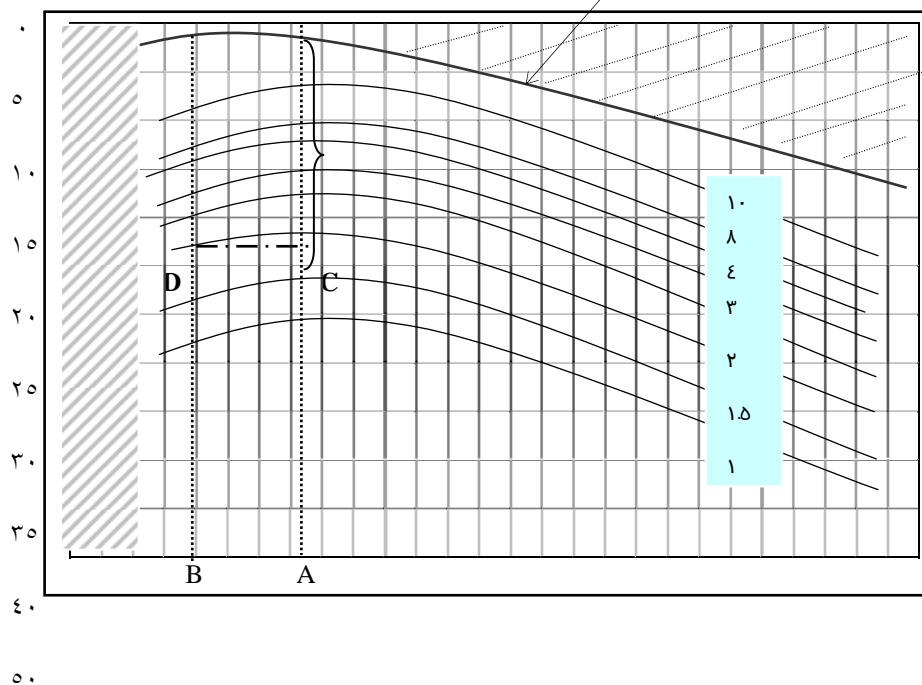
بطوریکه در شکل ۶-۲۲، دیده می شود یک عیب ریز در مسیر امواج قرار گرفته و هر دو پالس انعکاس از عیب و ضخامت همزمان روی صفحه تصویر دیده می شوند . در چنین حالتی با جابجائی پروب ، تغییر قابل ملاحظه ای در شکل پالس ضخامت دیده نخواهد شد .

### مشخصات نمودار DGS

محور افقی نمودار DGS بر اساس ضخامت (فاصله طی شده امواج) و محور عمودی، بر پایه شدت انعکاس امواج در واحد دسی بل تقسیم بندی شده و برای هر اندازه از قطر معادل عیب یک منحنی رسم گردیده است.

هر منحنی نشان دهنده اندازه معینی (قطر و یا مساحت) از یک عیب به نسبت شدت انعکاس آن در فواصل مختلفی از نمودار می باشد.

منحنی، هاشم، زده



\*

در شکل ۲۳-۶، تقسیم بندی محور افقی نمودار در دو ردیف نوشته شده، اعداد ردیف اول برای پروب ۲ مگاهرتز و اعداد ردیف دوم مخصوص پروب ۴ مگاهرتز می باشند.



## روش استفاده :

برای اندازه گیری عیوب با روش DGS مراحل زیر اجرا می گردند :

- ۱ - با استفاده از یک نمونه استاندارد ، محور افقی صفحه تصویر متناسب با ضخامت قطعه کار انتخاب و تنظیم می شود .
  - ۲ - با قرار دادن پروب روی سطح قطعه مورد آزمایش، پالس بازتابش ضخامت در ناحیه ای عاری از عیب روی صفحه تصویر دیده خواهد شد .
  - ۳ - ارتفاع پالس ضخامت تا  $80\%$  ارتفاع صفحه تصویر رسانده می شود . در این مرحله محل پالس ضخامت و دسی بل دستگاه یاد داشت می گردند .
  - ۴ - سپس برای آشکار سازی عیب، پروب به آرامی روی سطح قطعه حرکت داده می شود بمنظور سهولت در یافتن محل عیب، آمپلی فایر به دلخواه تقویت می گردد. پس از ظاهر شدن پالس عیب، با جابجائی پروب ، حداکثر ارتفاع پالس عیب بدست خواهد آمد.
  - ۵ - با افزایش دسی بل، ارتفاع آن به حد  $80\%$  ارتفاع صفحه تصویر رسانده شده و دسی بل دستگاه و عمق عیب یادداشت می گردد .
  - ۶ - روی محور افقی نمودار DGS ، از دو نقطه A و B ، معادل ضخامت و عمق عیب دو خط بموازات محور عمودی رسم می شود ( شکل ۲۳-۶ ) .
  - ۷ - از نقطه تقاطع خط عمودی ضخامت با منحنی هاشور زده ، معادل دسی بل افزوده شده ( تفاضل بند ۳ و ۵ )، پائین آمده و نقطه C به دست می آید .
  - ۸ - از نقطه بدست آمده یک خط بموازات محور افقی رسم می گردد تا خط عمودی عیب را در نقطه D قطع نماید .
  - ۹ - این نقطه روی یکی از منحنی های نمودار قرار می گیرد . عدد نوشته شده روی منحنی نشان دهنده قطر و یا مساحت معادل عیب خواهد بود .
- چنانچه نقطه به دست آمده، بین دو منحنی قرار گیرد ، اندازه عیب میانگین مقادیر دو منحنی مجاور هم خواهد بود .

## مثال :

قطعه ای فولادی به ضخامت ۷۵ میلی متر با یک پروب ۴ مگاهرتز به قطر ۲۰ میلی متر آزمایش می گردد. در زمان آزمایش ، پالس عیبی در عمق ۴۰ میلی متری در صفحه تصویر مشاهده گردیده است . تعیین اندازه معادل عیب با استفاده از نمودار منحنی های DGS ، مد نظر می باشد .

## دو نکته :

- ۱ - اصولاً نمودار DGS برای اندازه گیری عیوب در فاصله ای بیش از یک حوزه نزدیک طراحی شده است ، لذا هر عیبی که در فاصله ای کمتر از یک حوزه نزدیک قرار گرفته باشد، با این روش قابل اندازه گیری نخواهد بود .
- ۲ - در بعضی از نمودارها ، محور افقی بر حسب ضریبی از حوزه نزدیک تقسیم بندی شده است و الزاماً قبل از اقدام به آزمایش و انتقال اطلاعات به نمودار، باید اندازه طول حوزه نزدیک محاسبه شده باشد . در این مثال نیز قبل از شروع مراحل ، طول حوزه نزدیک محاسبه می گردد .

## محاسبه حوزه نزدیک :

$$N = D^2 \times f / 4 \times C$$

$$N = 10^2 \times 4 \times 10^6 / 4 \times 5.9 \times 10^6$$

$$N = 17 \text{ mm}$$

N - حوزه نزدیک ( mm )

D - قطر پروب ( mm )

f - فرکانس (  $10^6$  HZ )

C - سرعت امواج (  $10^6$  m/Sec )

با توجه به طول حوزه نزدیک ، می بینیم ضخامت قطعه و عمق عیب ، هر دو در فاصله ای بیش از یک حوزه نزدیک قرار دارند و اندازه گیری با نمودار DGS امکان پذیر می باشد .  
با اجرای مراحل بعد اندازه عیب محاسبه می گردد :

## تعدیل سطح ( ضریب انتقال )

( Transfer Correction )

یکی از پارامترهای مهمی که در زمان آزمایش آلتراسونیک مطرح است، تفاوت سطح قطعه کار با سطح نمونه تنظیم می باشد. در شرایط عادی، سطح قطعات مورد آزمایش نسبت به سطح نمونه تنظیم، ناهموارتر و زبرتر می باشد و ممکن است امواج در برخورد با چنین سطوحی، تحت پدیده های انکسار و انعکاس کوتاه و ریزی قرار گرفته و بخشی از انرژی خود را از دست بدهند. بنابراین قبل از آغاز هر آزمایش، لازم است تا تفاوت اتلاف انرژی بین سطح نمونه تنظیم و سطح قطعات کار اندازه گیری و محاسبه گردد.

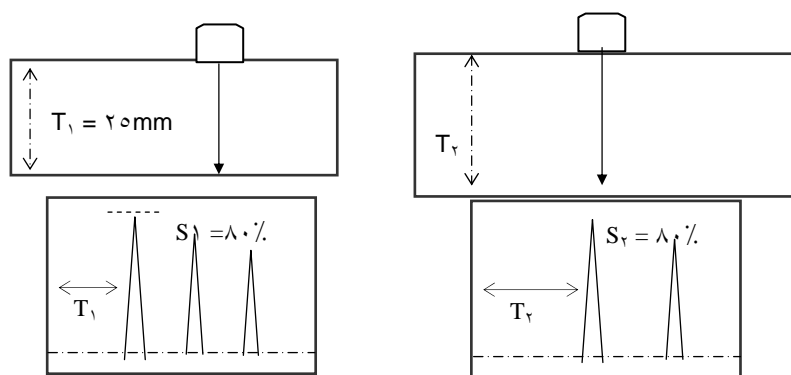
## روش های اندازه گیری

برای اندازه گیری ضریب تعدیل اتلاف انرژی به علت تغییر سطح، روش های متفاوتی وجود دارد که دو روش زیر برای محاسبه ضریب تغییر سطح با امواج صفر درجه و زاویه ای متداول می باشند. در هر دو روش علاوه بر محاسبه، از منحنی های نمودار D.G.S نیز استفاده شده است.

### الف - اندازه گیری با پروب صفر درجه

#### مراحل اندازه گیری :

- ۱ - صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک، با نمونه ای استاندارد تنظیم می شود،
- ۲ - با قرار دادن پروب روی نمونه تنظیم، ارتفاع پالس بازتابش ضخامت نمونه به حد ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویررسانده می شود. فاصله پالس ضخامت نمونه تنظیم در صفحه تصویر و دسی بل آن یادداشت می گردند (  $S_1$  و  $T_1$ ، شکل ۷-۴ ).
- ۳ - سپس پروب روی سطح قطعه اصلی قرار می گیرد، در این حالت نیز پس از رساندن ارتفاع پالس ضخامت آن به ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر، فاصله پالس ضخامت و دسی بل آن یادداشت می شوند (  $T_2$  و  $S_2$ ، شکل ۷-۴ ).



شکل ۴-۷

۴ - با داشتن اطلاعات و نتایج بدست آمده، ضریب تسطیح از رابطه ۴-۱۰ قابل محاسبه خواهد بود.  
 رابطه ۴-۱۰  $T_C = E_C - E_d$

$T_C$  - ضریب انتقال ( به دسی بل )

$E_C$  - حد تعدیل دامنه ( تفاوت دسی بل بدون اختلاف در سطح )

$E_d$  - تفاوت ارتفاع دو پالس روی نمودار D.G.S ( به دسی بل )

۵ - حد تعدیل از رابطه ۴-۱۱ بدست می آید در این رابطه اگر اتلاف انرژی صوتی در قطعه وجود نداشته باشد، حد تعدیل فقط تفاوت دسی بل بین نمونه تنظیم و قطعات خواهد بود.

$$E_C = S_2 - S_1$$

بدون اتلاف انرژی صوتی

$$E_C = S - (2 \times T_2 \times A) \quad \text{رابطه ۴-۱۱}$$

$S$  - تفاوت دسی بل بین پالس نمونه تنظیم با پالس ضخامت قطعه ( دسی بل )

$A$  - اتلاف انرژی در ماده ( دسی بل در هر میلی متر. قبلاً باید محاسبه شده باشد )

$T_2$  - ضخامت قطعه اصلی ( میلی متر )

۶ - روی محور افقی نمودار D.G.S، از دو نقطه معادل با ضخامت نمونه و ضخامت قطعه اصلی دو خط عمودی A و B رسم می گردد ( شکل ۴-۸ ) .

۷ - تفاوت دسی بل دو نقطه تقاطع این دو خط با منحنی بی نهایت ( هاشورزده ) معادل  $E_d$  بدست می آید .

۶ - با قرار دادن مقادیر  $E_C$  و  $E_d$  در رابطه ۴-۱۱، ضریب تسطیح بدست خواهد آمد .

## مثال ۷:

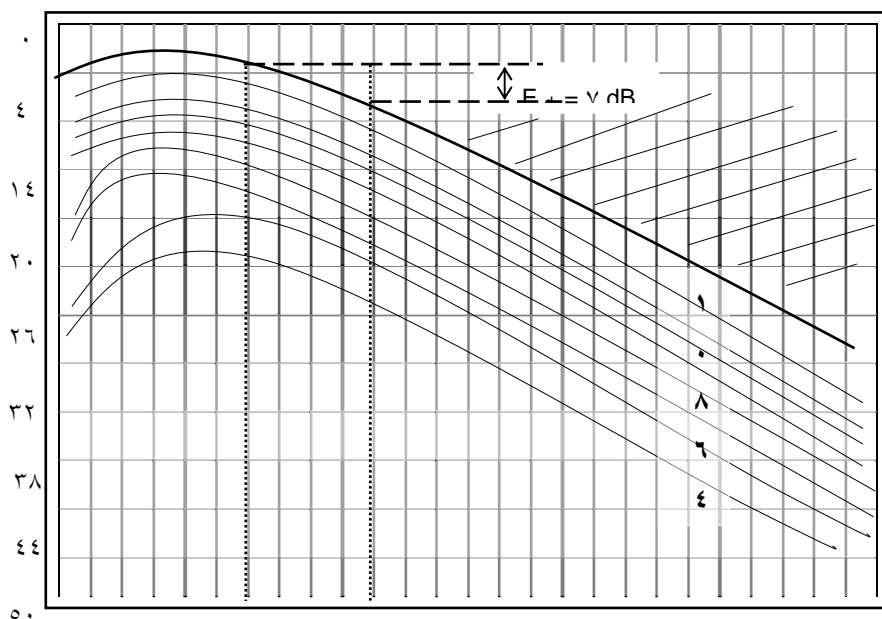
ضریب تسطیح برای یک قطعه ریخته گری به ضخامت ۶۰ میلی متر محاسبه می گردد. اصولاً انتشار امواج در قطعات ریخته گری، با اتلاف انرژی صوتی صورت همراه است که در این مثال مقدار آن قبلاً محاسبه و  $A = 0.01 \text{ dB/mm}$  فرض می شود.

## مراحل اندازه گیری:

۱- پس از تنظیم صفحه تصویر، پروب روی نمونه تنظیم قرار گرفته و پالس انعکاس از ضخامت تا ارتفاع ۸۰٪ رسانده می شود.

در این مرحله، ضخامت ۲۵ میلی متر و شدت آن ۳۴ دسی بل شده است.

۲- پس از قرار دادن پروب روی قطعه اصلی، پالس ضخامت تا حد ارتفاع ۸۰٪ رسانده می شود. در این مرحله، ضخامت ۶۰ میلی متر و شدت آن ۴۶ دسی بل شده است.



۵۶

۳- مقادیر  $S$ ,  $T_r$  و  $A$ ، در رابطه زیر قرار داده شده و اندازه  $E_C$  محاسبه می گردد.

$$S = S_1 - S_2 = 46 - 34 = 12 \text{ dB}$$

$$T_r = 60 \text{ mm}$$

$$A = 0.01 \text{ dB / mm}$$

$$E_C = S - (2 \times T_r \times A)$$

$$E_C = 12 - (2 \times 60 \times 0.01) = 12 - 1.2 = 10.8 \text{ dB}$$

۴- از دو نقطه ۲۵ و ۶۰ میلی متر محور افقی نمودار D.G.S ( شکل ۸-۴ )، دو خط عمودی رسم می گردد.

۵- از روی نمودار، تفاوت دسی بل دو ضخامت  $E_C = 7 \text{ dB}$  شده است.

۶- با قرار دادن مقایر  $E_C$  و  $E_d$ ، ضریب انتقال سطح از رابطه زیر بدست می آید.

$$T_C = E_C - E_d = 10.8 - 7 = 3.8 \text{ dB} \quad \text{ضریب انتقال سطح}$$

### ب - اندازه گیری با پروب زاویه ای :

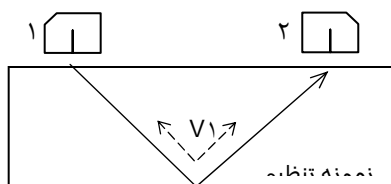
در این روش نیز مانند اندازه گیری اتلاف انرژی از دو پروب مشابه بصورت فرستنده و گیرنده استفاده می گردد. قبل از شروع آزمایش، مقدار اتلاف انرژی در ماده تحت آزمایش باید تعیین شده باشد

#### مراحل اندازه گیری :

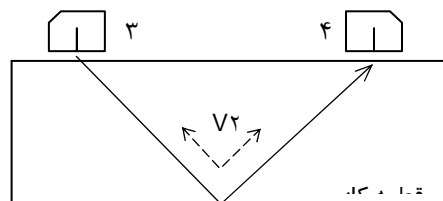
۱- با استفاده از نمونه تنظیم، طول محور افقی صفحه تصویربرابر با حداقل دو گام ضخامت قطعات اصلی تنظیم می گردد.

۲- دو پروب مانند شکل ۹-۴، روی نمونه تنظیم قرار می گیرند. ارتفاع پالس دریافتی پروب گیرنده ( پروب شماره ۲) به  $0.8$  ارتفاع صفحه تصویر رسانده شده، دسی بل و طول برد امواج یادداشت می گردند ( $S_1, V_1$ ).

۳ - دو پروب مانند شکل ۴-۹-ب، روی قطعه اصلی قرار می گیرند. در این حالت نیز، پس از رساندن ارتفاع پالس دریافتی پروب گیرنده به حد ۸۰٪، دسی بل دستگاه و فاصله طی شده امواج یادداشت می گردند ( $V_2$  و  $S_2$ ) شکل ۴-۹-ا).



شکل ۴-۹-الف



شکل ۴-۹-ب

۴ - نتایج بدست آمده، برای محاسبه حد تغییرات دامنه، در رابطه زیر قرار داده می شود.

$$E_C = S - (V_x \times A)$$

$E_C$  - حد تعدیل دامنه (دسی بل) .

$S$  - اختلاف دسی بل دو پالس نمونه تنظیم و قطعه اصلی (دسی بل)

$V_x$  - فاصله طی شده در قطعه تحت آزمایش (میلی متر)

$A$  - ضریب اتلاف انرژی ماده (دسی بل در میلی متر)

۵ - معادل طول برد امواج (فاصله  $V_1$  و  $V_2$ ) روی محور افقی نمودار DGS، دو خط عمود رسم می گردد. تفاوت ارتفاع (بر حسب دسی بل) نقاط تقاطع دو خط با منحنی هاشور زده یادداشت می شود ( $E_d$ ) .

۶ - ضریب تسطیح از رابطه زیر بدست می آید .

$$T_C = E_C - E_d$$

$E_d$  - اختلاف دسی بل از روی نمودار D.G.S .

$T_C$  - ضریب انتقال سطح (تسطیح) .

## نکات مهم :

- ۱ - چنانچه جسم بدون اتلاف انرژی صوتی باشد ، S برابر با  $E_C$  خواهد بود و دیگر لزومی به محاسبه  $E_C$  نمی باشد .
- ۲ - در مواردی که ضخامت نمونه مرجع با ضخامت قطعات اصلی برابر باشد ، نیازی به استفاده از نمودار D.G.S نمی باشد و  $E_C = E_d$  خواهد شد.
- با این توضیحات ، اگر قطعات بدون اتلاف انرژی صوتی باشند و ضخامت نمونه مرجع با ضخامت قطعات اصلی برابر باشند ، ضریب تسطیح برابر با تفاضل دسی بل ها (  $S_2 - S_1$  ) خواهد بود .

## مثال ۸ :

ضریب اختلاف سطح برای قطعه ای از جنس فولاد کربنی ساده به ضخامت اسمی ۳۰ میلی متر به صورت زیر محاسبه می گردد .

در این مثال با توجه به ضخامت کم و جنس قطعه، نیازی به محاسبه اتلاف انرژی صوتی نخواهد بود و فقط مقدار اتلاف انرژی بدلیل تفاوت دو سطح اندازه گیری می شود .  
برای اندازه گیری ضریب اختلاف سطح از دو پروب ۴۵ درجه با فرکانس و ابعاد کاملاً مشابه استفاده می گردد .

## مراحل اندازه گیری

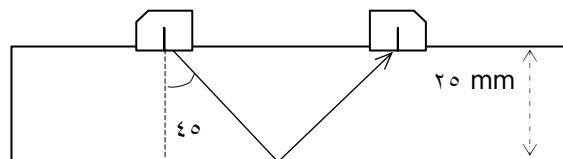
۱ - طول محور افقی صفحه تصویر با نمونه استاندارد IIW-V1 ، معادل حداقل دو برابر گام تئوری ، برای ضخامت ۳۰ میلی متر تنظیم می شود .

$$V = 2T / \cos 45^\circ = 2 \times 30 / 0.707 = 84.8 \text{ mm} \quad \text{اندازه گام تئوری}$$

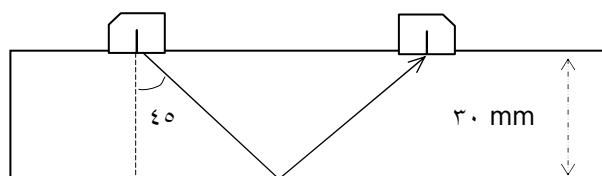
۲ - دو پروب مانند شکل ۱۰-۴-الف ، روی نمونه استاندارد IIW-V1 ، قرار می گیرند و پس از رساندن ارتفاع پالس گیرنده به حد ۸۰٪ ، دسی بل و مسافت یادداشت می گردد .  
دسی بل ۳۴ و فاصله ۷۲ میلی متر شده است .



۳ - سپس دو پروب مانند شکل ۴-۱۰ - ب ، روی قطعه اصلی قرار می گیرند . فاصله طی شده امواج و دسی بل یادداشت می گردد ( دسی بل ۴۰ و فاصله ۸۵ میلی متر ) .



شکل ۴-۱۰ - الف



شکل ۴-۱۰ - ب

۴ - با قرار دادن مقادیر بدست آمده در رابطه زیر، حد تغییرات دامنه به نسبت اتلاف انرژی صوتی بدست می آید .

$$E_C = S - (\gamma \times V_{\gamma \times A})$$

$$S = S_{\gamma} - S_1 = 42 - 34 = 8 \text{ dB}$$

در این مثال اتلاف انرژی در ماده صفر (  $A = 0 \text{ dB}$  ) فرض شده است .

$$E_C = S - (\gamma \times V_{\gamma \times 0})$$

$$E_C = S \quad \Rightarrow \quad 8 \text{ dB}$$

۵ - روی محور افقی نمودار DGS از دو نقطه ضخامت ۷۲ و ۸۵ میلی متر دو خط عمود رسم می گردد تا منحنی هاشور زده را در دو نقطه قطع نمایند . تفاوت دسی بل این دو نقطه نسبت به منحنی هاشور زده ۴ دسی بل شده است (  $E_d = 4 \text{ dB}$  ) .

۶ - از رابطه زیر ضریب انتقال سطح بدست می آید .

$$T_C = E_C - E_d = 8 - 4 = 4 \text{ dB}$$

## نکات قابل ذکر :

- ۱ - با توجه به مثال فوق ، چنانچه ماده بدون اتلاف انرژی صوتی باشد ، فاصله طی شده امواج در میزان اتلاف انرژی بی تأثیر خواهد بود .
- ۲ - ضریب تسطیح برای سطوح صاف و عاری از ناهمواری، می تواند بدون محاسبه و بسته به حد تمیزی ، بین ۲ تا ۴ دسی بل انتخاب گردد .
- ۳ - ماده رابط برای اجرای آزمایش روی قطعه اصلی، باید همجنس با ماده بکار رفته در زمان محاسبه ضریب تسطیح باشد .
- ۴ - در تعریف تئوری ( سر انگشتی )، امواج ماوراء صوت می توانند از سطوح زبرو ناهموار تا حد یک هشتم طول موج عبور نمایند . لذا برای آزمایش روی سطوح زبر باید فرآیند آزمایش و نوع ماده رابط مطابق با حد زبری انتخاب گردد .
- ۵ - بطور کلی، سطح تماس نباید مانع ورود امواج به درون ماده مورد آزمایش گردد .
- ۶ - چنانچه تفاوت دسی بل بین سطح تنظیم و سطح قطعه اصلی موجب تشدید پالس های چمنی گردد، باید تغییراتی در روش داده شود .

## مراحل اجرا :

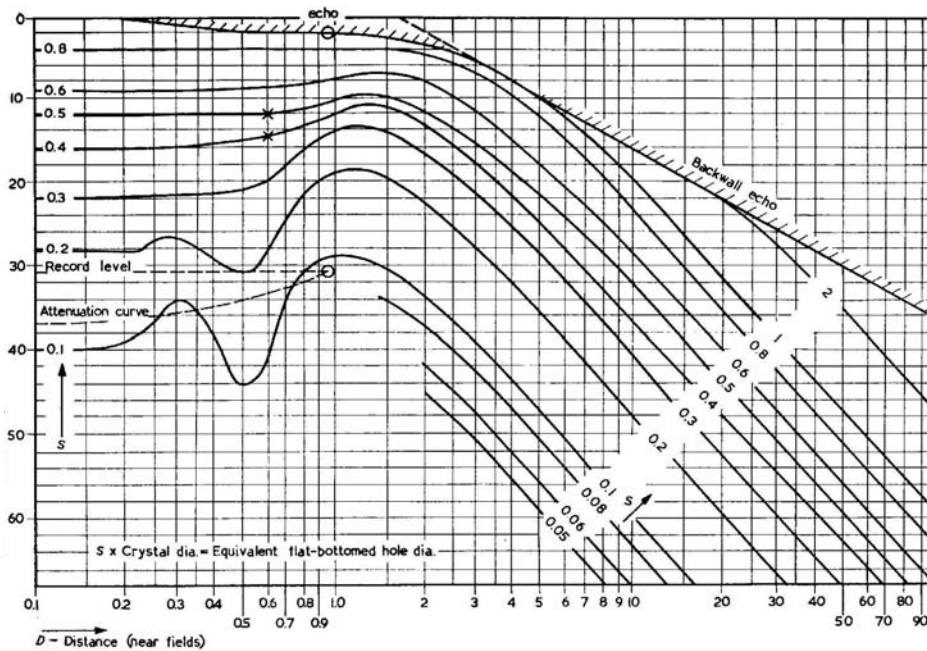
- ۱ - پس از تنظیم محور افقی صفحه تصویر ، پروب روی سطح کار حرکت داده می شود تا ضخامت ۷۵ میلی متر قطعه در صفحه تصویر ظاهر گردد .
- ۲ - ارتفاع پالس ضخامت به ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده شده ( ارتفاع مرجع ) و مقدار دسی بل دستگاه یادداشت می گردد ( ۴۲ دسی بل ) .
- ۳ - پروب روی سطح کار حرکت داده می شود . معمولاً به علت ریز بودن عیب ، با درجه حساسیت عادی پالس عیب دیده نخواهد شد، لذا با تقویت آمپلی فایر و افزایش دسی بل عیب جستجو می شود .
- ۴ - پس از مشاهده پالس عیب در صفحه تصویر، ارتفاع پالس آن به حد ارتفاع پالس مرجع رسانده شده و مقدار دسی بل و عمق عیب یادداشت می گردد ( پالس در عمق ۴۰ میلی متری و دسی بل ۶۸ شده است ) .
- ۵ - روی محور افقی نمودار DGS از دو نقطه ( عمق ) ۴۰ و ۷۵ میلی متر دو خط بموازات محور عمودی رسم می گردد .
- ۶ - از نقطه تلاقی خط عمودی ۷۵ میلی متری با منحنی هاشور زده ، معادل ۲۶ دسی بل کسر می گردد و نقطه C ( شکل ۶-۲۳ ) بدست می آید .

$$\text{تفاوت دسی بل بین پالس ضخامت و پالس عیب} \quad \text{dB} = 68 - 42 = 26$$

- ۷ - از این نقطه یک خط موازی با محور افقی طوری رسم می شود تا خط عمودی ۴۰ میلی متری را در نقطه D ( شکل ۶-۲۲ ) قطع نماید .
  - ۸ - نقطه D روی یکی از منحنی ها قرار گرفته است . عدد روی منحنی معادل قطر عیبی را نشان می دهد که در قطعه وجود داشته است .
- در این مثال اندازه عیب ۱/۵ میلی متری می باشد .

## نکات مهم :

- ۱ - نمودار DGS برای تعیین اندازه عیوب بسیار ریز، مناسبترین روش بشمار می آید و در کارهای تحقیقاتی ( Researching ) برای تعیین سه بعد عیوب از این منحنی استفاده می شود.
- ۲ - اصولاً منحنی های نمودار دی جی اس ، در فاصله کمتر از یک حوزه نزدیک ، کارائی دقیقی ندارند و هر چه عمق و یا مسافت طی شده امواج بیشتر گردد، نتیجه بهتری به دست می آید.
- ۳ - در بعضی از نمودار ها، محور افقی بر حسب ضریبی از طول حوزه نزدیک تقسیم بندی می شود و لازم است تا قبل از هرآزمایش ، طول حوزه نزدیک محاسبه گردد . با تقسیم اندازه ضخامت و عمق عیب بر طول حوزه نزدیک ، فاصله برای هر کدام محاسبه می گردد.

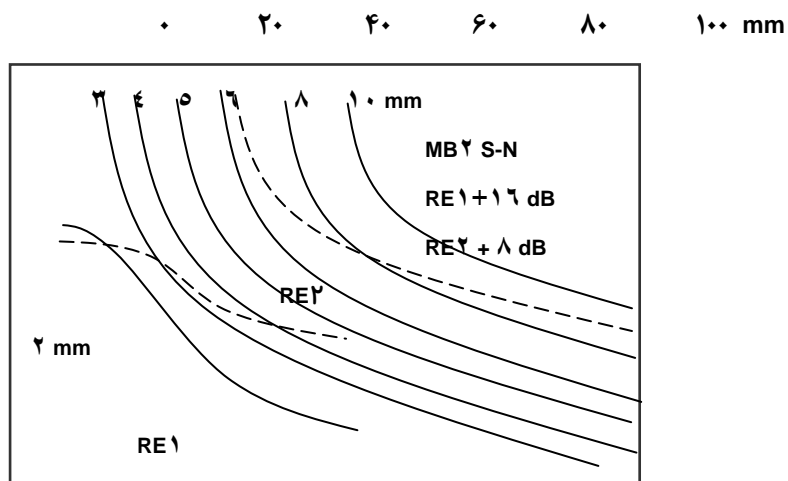


شکل ۲۴-۶ ، نمودار DGS

۴ - اغلب تولیدگان پروب، این نوع نمودار را روی قاب پلاستیکی چاپ و ارائه می کنند. هر نمودار چاپ شده مخصوص یک نوع پروب با قطر و فرکانس مشخصی است که قابل اتصال در جلوی صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک می باشد.

در شکل ۶-۲۵، یک نمونه از نمودار DGS، مخصوص پروبهای صفردرجه و قابل اتصال به صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک مشاهده می گردد. این نوع نمودارها، در اندازه های متفاوتی، مخصوص به هر دستگاه آلتراسونیک طراحی و ارائه می شوند.

نمودار زیر مختص به یک پروب تک کریستاله صفر درجه دو مگاهرتز از نوع کوچک تهیه شده است.



شکل ۶-۲۵

## روش های غوطه وری ( Immersion Methods )

همانطور که در بخش های قبل اشاره شد، امواج آلتراسونیک پس از عبور از ماده جلوی کریستال به سطح قطعات می رسند و برای عبوردهی امواج به درون قطعات از یک سیال بعنوان ماده رابط استفاده می گردد. چنانچه حجم ماده رابط کم بوده و فقط عمل انتقال امواج را انجام دهد، روش آزمایش تماس مستقیم خوانده می شود اما اگر ماده رابط دارای حجم باشد، روش آزمایش غوطه وری محسوب خواهد شد. بنابراین روش های آزمایش آلتراسونیک را می توان در دو روش تماس مستقیم و غوطه وری تعریف نمود .

در روش تماس مستقیم، لایه کم حجمی از سیال بعنوان رابط امواج بین پروب و سطح کار قرار می گیرد و پروب همواره در حالت تماس مستقیم با سطح کار خواهد بود. اما در روش غوطه وری، حجم قابل توجهی از یک سیال فاصله بین پروب و سطح قطعه را اشغال نموده و امواج پس از طی حجم سیال ( غالباً آب )، به سطح قطعه می رسند .

اصول اساسی هر دو روش به لحاظ فاکتورهای فیزیکی و تئوری تقریباً مشابه هستند و عمده ترین تفاوت آنها ، که بسیاری از پارامترهای تفسیر را متمایز می کنند، میزان حجم و حالت سیال بین پروب و جسم مورد آزمایش است .

در روش غوطه وری میزان حجم آب، زاویه انتشار، جهت تابش و درجه حرارت آب ثابت می باشند، به همین دلیل کنترل پارامترهای آزمایش نسبت به روش تماس مستقیم آسانتر و دقیق تر انجام می گیرد .

**توضیح :**

با توجه به اینکه بیشتر مطالب کتاب ، الزاماً به روش های تماس مستقیم مربوط می شود ، لذا مطالب این بخش فقط به روش غوطه وری اختصاص یافته است .

برتری های روش غوطه وری :

- ۱ - سرعت آزمایش غوطه وری، بسیار بیشتر از روش تماس مستقیم است .
- ۲ - امواج پس از طی مسافت حوزه نزدیک وارد اجسام می گردند و لذا هیچگاه حوزه کور و پالس صفر در صفحه تصویر دیده نخواهند شد . به همین دلیل با پروب های تک کریستاله نیز، عیوب نزدیک به سطح قابل تشخیص و تفسیر می باشند .
- ۳ - دفعات تنظیم و تغییر پارامترها ، کمتر انجام می گیرد .
- ۴ - به علت عدم تماس پروب با سطح کار ، مشکل سایش پروب وجود نخواهد داشت .
- ۵ - برای آزمایش خطوط لوله زیر دریائی، سکو های حفاری دریائی و تسهیلات زیرآبی فقط از تکنیک های غوطه وری می توان استفاده نمود .
- ۶ - این روش در بازرسی قطعات مشابه و همچنین در روش اتوماتیک کاربرد گسترده تری دارد . در سیستم آزمایش با تکنیک های بی اسکن و سی اسکن اغلب از روش غوطه وری استفاده می شود.

محدودیت ها :

- ۱ - به دلیل تسهیلات جانبی و پیچیده، برای کار های متنوع و بیابانی کارائی ندارد .
- ۲ - در مقایسه با روش تماس مستقیم ، هزینه آزمایش ها بسیار بیشتر می باشد .
- ۳ - فقط از پروب های مخصوص و ضد نفوذ آب استفاده می شود و از هر پروبی نمی توان استفاده نمود .
- ۴ - این روش همواره با مصرف زیاد آب همراه می باشد .
- ۵ - نیاز به تسهیلاتی نظیر سیستم آب ریز و مدار بسته برای بازیافت آب خواهد داشت .

انواع روش های غوطه وری :

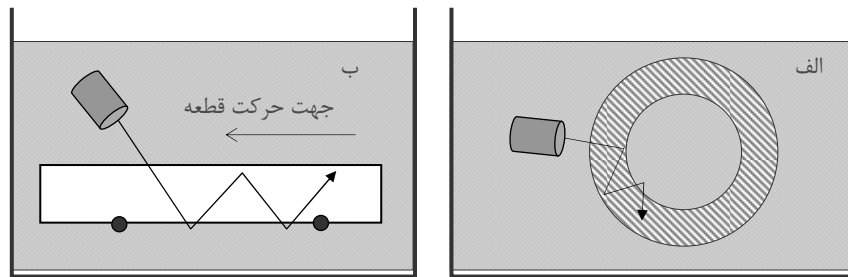
تکنیک های روش غوطه ور، بسته به نوع ارتباط سیال بین پروب و قطعه و نوع ظروف آزمایش به سه روش اصلی زیر تقسیم می شوند :

- ( ۱ ) - پروب و قطعه غوطه ور
- ( ۲ ) - غوطه وری موضعی
- ( ۳ ) - روش کانونی

### ۱ - پروب و قطعه هردو غوطه ور :

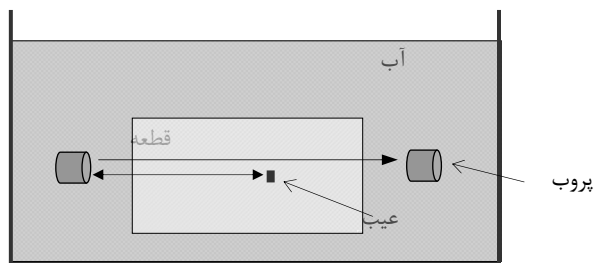
این روش، که اولین روش غوطه وری محسوب می شود، بیشتر برای آزمایش قطعات کوچک و مشابه کاربرد دارد. در این روش پروب همراه با قطعه مورد آزمایش هر دو در ظرف سیال ( آب ) غوطه ور هستند .

ظرف سیال و موقعیت پروب طوری طراحی می شود که قطعات در فاصله ای ثابت و معین تحت تابش امواج قرار می گیرند .



شکل ۱-۷ - الف

در شکل ۱-۷ - الف ، پروب و قطعه هر دو در سیال غوطه ور هستند . معمولاً در این روش پروب در جای ثابتی قرار گرفته و جسم در حال حرکت است . در شکل ۱-۷ - ب ، یک قطعه با همین روش و با تکنیک انتقال سر به سر مورد آزمایش قرار گرفته است .



شکل ۱-۷ - ب

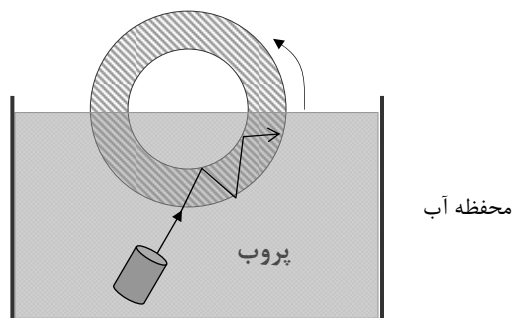


## ۲ - غوطه وری موضعی ( Bubbler Method ) :

در روش موضعی ، معمولاً ناحیه محدودی از قطعه کار بطریق غوطه وری تحت پوشش امواج قرار خواهد گرفت که ممکن است به چند حالت زیر انجام می گیرد :

### الف - غوطه وری پروب

در این روش پروب در جای ثابتی درون یک ظرف آب تعبیه شده و ناحیه محدودی از قطعه را تحت پوشش امواج قرار می دهد ( شکل ۷-۲ ) . این روش مخصوص آزمایش قطعات بزرگ در کارخانجات تولیدی می باشد .



شکل ۷-۲

### ب - پروب محفظه ای

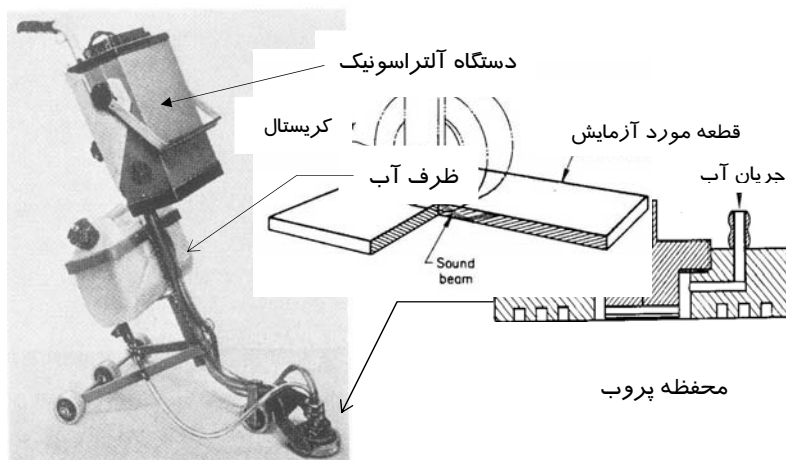
در نوع محفظه ای ، پروب در یک فنجانک مخصوص تعبیه شده و حجم ثابتی از آب روان در فاصله بین پروب و سطح کار در گردش خواهد بود . از این نوع محفظه برای آزمایش جوش طولی لوله ها در سیستم آلتراسونیک اتوماتیک و آزمایش ورق های فولادی با سیستم های اتوماتیک و یا دستگاه سیار ( Mobile Carriage ) استفاده می شود .

در نوع سیار، یک دستگاه آلتراسونیک، یک ظرف آب و محفظه پروب روی یک سیستم چرخ دار کوچک ( گاری ) نصب می گردند . در هنگام آزمایش، با حرکت گاری، در حالیکه آب در محفظه پروب در جریان است ، پروب روی سطح ورق فولادی کشیده شده و آزمایش انجام می گیرد ( شکل ۷-۳ ) .

با دستگاه های سیار چرخ دار می توان یک ورق فولادی به ابعاد ۶ متر مربع را در مدت زمان کمتر از ۱۰ دقیقه آزمایش نمود .

### ج - چرخ دوار ( Wheel Type Probe )

در نوع چرخ دوار ، کریستال بطور ثابت در یک چرخ لاستیکی تعبیه شده و درون آن حجم ثابتی از آب قرار می گیرد . با چرخش محفظه حول محور دوار، امواج پس از عبور از حجم آب، به درون قطعه انتشار می یابند . این نوع پروب ها توسط کارخانه سازنده و مطابق نوع کاربرد طراحی و ساخته می شوند ( شکل ۷-۴ ) .



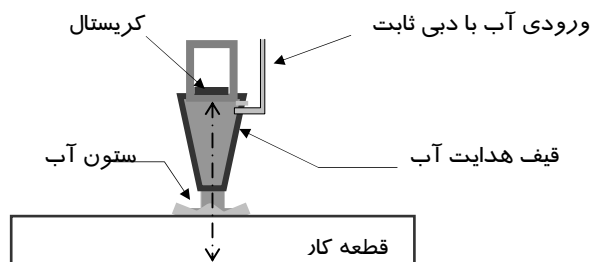
شکل ۷-۳ ، گاری سیار

شکل ۷-۴ ، پروب چرخ دوار

امواج

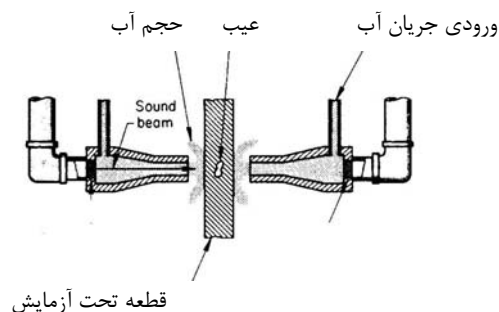
## ۳- روش کانونی ( Focused Column ) :

در این روش محفظه پروب به شکلی طراحی شده که جریان آب به صورت یک ستون متمرکز، با سرعت و حجمی ثابت، امواج را به درون قطعات هدایت می کند. در شکل ۵-۷، نمونه ای از یک محفظه پروب کانونی دیده می شود که ستون آب در فاصله ای معین از سطح کار امواج را به درون قطعه ارسال می دارد.



شکل ۵-۳

در شکل ۶-۷، نمونه دیگری از سیستم انتقال کانونی مشاهده می گردد که دو یا چند پروب به صورت محیطی قطعه مورد آزمایش را احاطه نموده و قطعه در حال حرکت تحت پوشش چرخشی امواج قرار گرفته است



قطعه تحت آزمایش

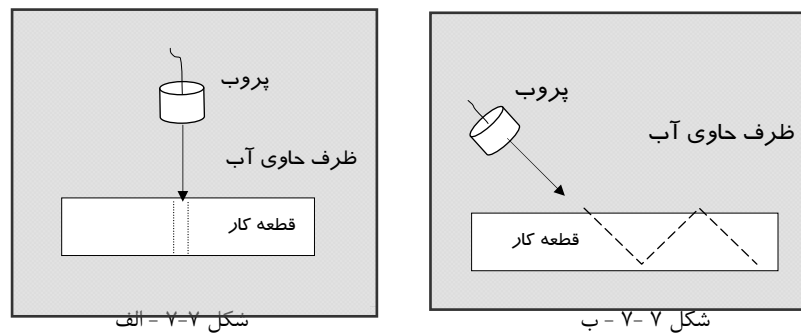
شکل ۶-۷

### تبدیل موج در روش های غوطه وری

همانطور که در تعریف امواج در بخش یک اشاره شد، فقط امواج طولی قادر به انتشار در سیالات می باشند، بنابراین در روش های غوطه وری، امواج تا قبل از ورود به درون قطعات، فقط به حالت طولی انتشار می یابند و به تناسب زاویه برخورد امواج با سطح تماس، ممکن است امواج عرضی و یا طولی در قطعات تولید گردد.

در شکل ۷-۷ الف، امواج طولی با زاویه صفر درجه به سطح قطعه برخورد نموده و با همان زاویه نیز به درون قطعه انتشار یافته اند.

اما در شکل ۷-۷ ب، چون امواج تحت زاویه ای بیش از حد بحرانی اول (بخش ۴) به سطح قطعه برخورد نموده اند، تحت اثر نیروی برشی تغییر ماهیت داده و بصورت امواج عرضی در قطعه انتشار یافته اند.



شکل ۷-۷ الف

شکل ۷-۷ ب

### تعیین بعد حجمی آب

با نگاهی به سرعت امواج در مواد (بخش ۴، جداول ۱-۴ و ۲-۴)، می بینیم که سرعت امواج در آب معادل یک چهارم سرعت انتشار آن در فولاد می باشد. بنابراین اگر ارتفاع حجم آب بین پروب و سطح جسم معادل ۱۰ میلی متر فرض شود، این فاصله روی محور افقی صفحه تصویر برابر با ۴۰ میلی متر فولاد دیده خواهد شد.

با این توضیح می بینیم ، انتخاب فاصله بین پروب تا سطح جسم مورد آزمایش به دلخواه نبوده و تابع عواملی چون ضخامت جسم و طول محور افقی صفحه تصویر خواهد بود .  
برای تعیین فاصله مناسب بین پروب ( مرکز انتشار ) تا سطح برخورد امواج به سطح قطعات از رابطه سرانگشتی زیر استفاده می شود .

$$X = 1/4 T + 6 \text{ mm} \quad (\text{رابطه ۷-۱})$$

X - فاصله پروب تا سطح کار ( میلی متر )

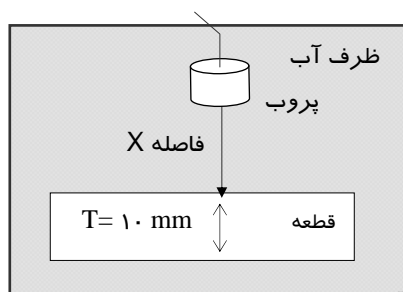
T - ضخامت تقریبی قطعه کار ( میلی متر )

**مثال :** فاصله پروب تا قطعه کار برای آزمایش قطعه ای به ضخامت ۱۰ میلی متر، با روش غوطه وری محاسبه می گردد.

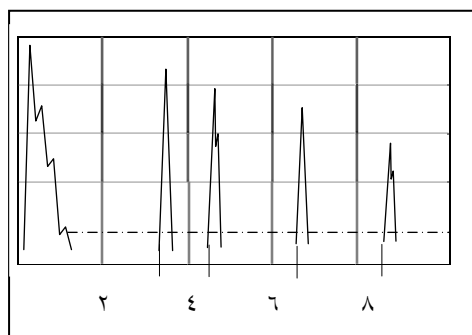
$$X = 1/4 T + 6 \Rightarrow (1/4 \times 10) + 6 \text{ mm}$$

$$X = 2.5 + 6 = 8.5 \text{ mm}$$

چنانچه طول محور افقی برابر با ۱۰۰ میلی متر انتخاب شده باشد، اولین پالس انعکاس از ضخامت روی عدد ( ۴ × ۸/۵ ) ۳۴ و پالس انعکاس از پشت قطعه ( ۳۴+۱۰ ) روی عدد ۴۴ میلی متری صفحه تصویر قرار می گیرند که پالس های تکراری آنها روی ۶۸ و ۸۸ میلی متری دیده خواهند شد ( شکل ۷-۸ ب - ) .



شکل ۷-۸ - الف



شکل ۷-۸ - ب

## توضیح مهم :

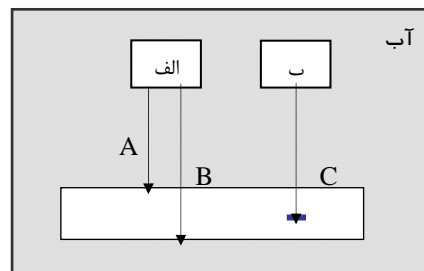
ضریب افزایش فاصله برای قطعاتی با ضخامت کمتر از ۲۰ میلی متر ، حدود ۶ میلی متر و برای ضخامت های بیشتر، باید طوری انتخاب گردد، که تکرار پالس جلوی قطعه در فاصله بین پالس ضخامت و عیب قرار نگیرد .

## تفسیر علائم

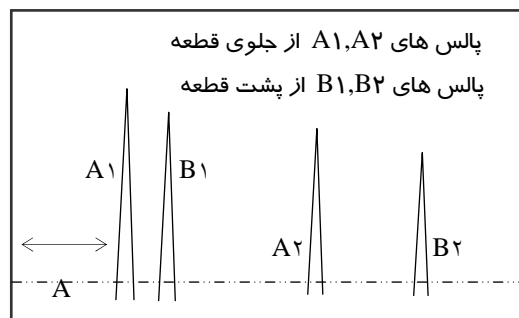
در روش غوطه وری ، امواج ماوراء صوت پس از طی حجمی از آب به سطح قطعه برخورد می نمایند و دو واکنش از برخورد امواج با سطح جلو و پشت قطعه روی خواهد داد. واکنش اول به علت تغییر محیط از آب به قطعه و واکنش دوم ، به علت تغییر محیط از قطعه به آب در پشت قطعه رخ می دهد . اگر قطعه از جنس فولاد فرض شود، طبق رابطه زیر، معادل ۸۷/۵ درصد از امواج در مرز بین آب و جسم فولادی منعکس شده و باقیمانده امواج به درون قطعه نفوذ خواهند نمود .

$$P = 4 (Z_1 \times Z_2) / (Z_1 + Z_2)^2 \quad \text{رابطه ۲-۴، بخش ۴}$$

در شکل ۷-۹ در حالت الف، که امواج در ناحیه سالم انتشار یافته، دو پالس  $A_1$  و  $B_1$  و تکرار آنها  $A_2$  و  $B_2$  در صفحه تصویر ظاهر شده اند ( شکل ۷-۱۰ ). پالس اول ( $A_1$ ) حاصل انعکاس امواج در برخورد با سطح جلوی جسم و  $B_1$  پالس انعکاس از پشت جسم می باشد .



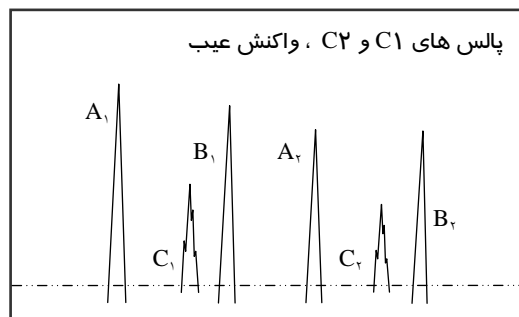
شکل ۷-۹



شکل ۷-۱۰

چنانچه در قطعه عیبی مانند حالت ب شکل ۹-۷، وجود داشته باشد، علاوه بر دو پالس جلو و پشت قطعه، پالس برگشت از عیب نیز در فواصل بین دو پالس جلو و پشت ضخامت ظاهر می شود.

در شکل ۱۱-۷، دو پالس  $C_1$ ،  $C_2$  نتیجه واکنش امواج در برخورد با عیب می باشند. هر چه اندازه عیب بزرگتر گردد، ارتفاع پالس انعکاس آن بلندتر و در مقابل پالس منعکس شده از پشت قطعه کوتاه تر می گردد، اما هیچکدام تأثیری در ارتفاع و موقعیت پالس جلوی قطعه نخواهند داشت.



شکل ۷-۱۱

## بخش ۸

### نمونه های تنظیم

تعاریف :

#### ۱- تنظیم یا کالیبراسیون ( Calibration ) :

یکی از فاکتورهای بسیار مهم در انواع آزمایش های آلتراسونیک، تنظیم دستگاه مطابق با مجموعه عواملی است که کرائی سیستم های الکترونیکی دستگاه، عملکرد پروبها ، دقت عمل محورهای عمودی و افقی و همچنین توانائی آشکارسازی عیوب را مشخص نماید. در بحث آزمایش آلتراسونیک به کلیه عملیاتی که برای اجرای چنین اهدافی انجام می گیرد، تنظیم گفته می شود .

#### ۲- تنظیم های پایه ( Basic Calibrations ) :

به تنظیم هائی گفته می شود که با انجام آن، کرائی فنی سیستم ها و مدارهای الکترونیکی دستگاه آلتراسونیک مورد ارزیابی قرار می گیرند.

#### ۳ - تنظیم های دوره ای ( Periodic Calibrations ) :

شامل تنظیم هائی می شود که دستگاه آلتراسونیک و پروب ها، پس از هر دوره معین کارکرد، طبق استاندارد آزمایش مورد بازنگری و ارزیابی فنی قرار می گیرند .

#### ۴ - تنظیم های عادی ( Normal Calibrations ) :

به تنظیم های قبل از هرآزمایش گفته می شود که محور افقی و عمودی صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک ، طبق روش و مشخصات فنی آزمایش تنظیم می گردند .



### ۵ - نمونه تنظیم ( Calibration Block ) :

به قطعه ای جامد با شکلی منظم گفته می شود که دارای جنس، شکل هندسی و ابعاد معینی بوده و از آن برای تنظیم صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک استفاده می گردد .

### انواع نمونه های تنظیم :

#### الف - نمونه استاندارد ( Standard Test Block ) :

به نمونه تنظیمی گفته می شود که با ابعاد، شکل هندسی و جنس مشخصی طراحی شده و عیوب مصنوعی شناخته شده ای در آن تعبیه شده باشد. این نوع نمونه ها توسط مؤسسات معتبر و مطابق با نیازهای استانداردهای بین المللی طراحی و عرضه می گردند

#### ب - نمونه مرجع ( Reference Test Block ) :

به نمونه تنظیمی گفته می شود که با ابعاد معین ، همجنس و کاملاً مشابه با قطعات مورد آزمایش ساخته شود و عیوب ساختگی مانند سوراخ و یا شیار، مطابق استاندارد پذیرش عیوب در آن ایجاد شده باشد .

### معرفی نمونه های استاندارد :

با نتیجه گیری از تعاریف فوق، می بینیم که قبل از هرآزمایش، دستگاه آلتراسونیک و کلیه پروب های مربوط به هر آزمایش باید با استفاده از نمونه های استاندارد و مرجع تنظیم گردند. بدلیل اهمیت نمونه های تنظیم، آشنائی و شناخت کاربردی هرکدام از ضروریات اصلی برای آزمایشهای آلتراسونیک محسوب می گردد. اما با توجه به اینکه نمونه های مرجع از تنوع گسترده ای برخوردار بوده و مطابق روش آزمایش و متناسب با شکل هندسی قطعات مورد آزمایش ساخته می شوند، قابل بحث در بخش های مربوطه خواهند شد، لذا در این بخش فقط به معرفی نمونه هائی خواهیم پرداخت که با عنوان نمونه های تنظیم استاندارد ( Standard Test Block ) شناخته می شوند

## نمونه های استاندارد

روش های کاربرد آزمایش آلتراسونیک در استانداردهای مختلف به تناسب موضوع آزمایش و شرایط کار متفاوت تعریف می گردد و هر استاندارد، در بخش کنترل کیفیت و آزمایش آلتراسونیک ، به نوع خاصی از نمونه تنظیم و روش استفاده از آن اشاره می کند. لذا در ادامه، ابتدا استانداردهای مرجع و سپس انواع نمونه های استاندارد معرفی و شرح داده می شوند .

### استانداردهای مرجع :

استاندارد هائی که در زیر نام برده می شوند بعنوان شاخص ترین منابع مرجع برای کنترل کیفیت محصولات مطرح هستند و انواع نمونه های تنظیم بر اساس همین استانداردها معرفی می گردند .

#### ۱ - ASME & ASTM - Calibration Blocks :

ASME, ( American Society of Mechanical Engineers )

ASTM, ( American Society for Testing and Materials )

#### ۲ - AWS, Calibration Blocks :

AWS, ( American Welding Society )

#### ۳ - ISO, IIW , IOW , BSI & ESI - Calibration Blocks :

ISO , ( International Organization for Standardization )

IIW, ( International Institute of Welding )

IOW, ( Institute of Welding )

BSI, ( British Standard Institution )

ESI, ( Electricity Supply Industry )

## انواع نمونه های استاندارد :

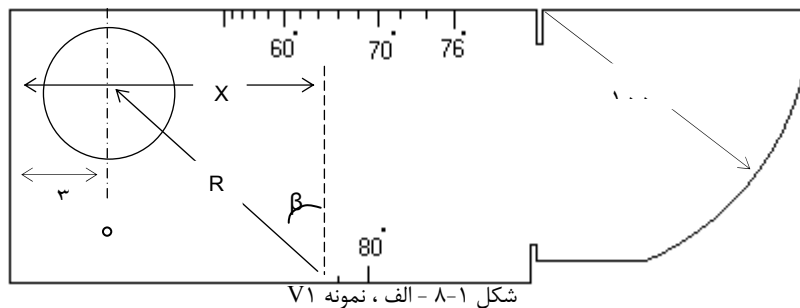
### ۱- نمونه تنظیم IIW-V1 :

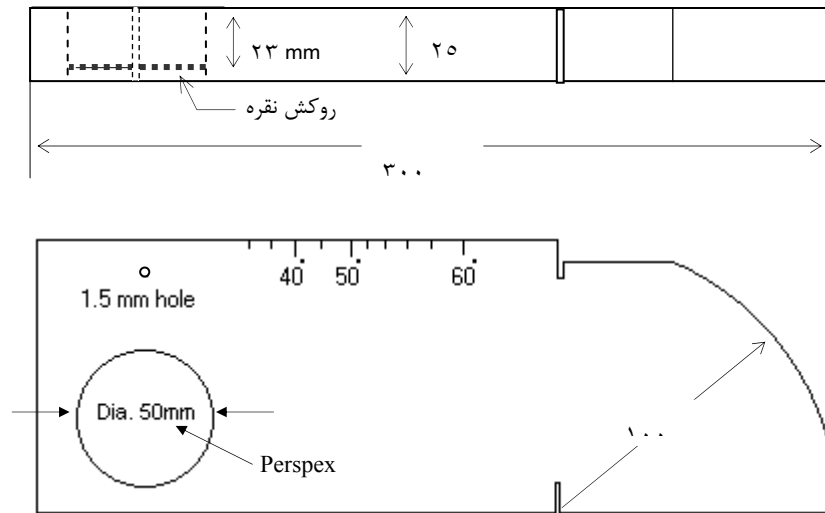
نمونه استاندارد V1 توسط انستیتوی بین المللی جوش طراحی شده و با همین نام در بیشتر استانداردها شناخته می شود. با این نمونه که مورد پذیرش اغلب استانداردها می باشد، تنظیم های زیر انجام می گیرد.

- ۱- تنظیم محور افقی برای ضخامت سنجی ، با ضخامت های ۲۵ ، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی متر.
- ۲- تعیین توانائی نفوذ پروب های صفر درجه ( با استوانه پرس پکسی ) .
- ۳- تعیین توانائی آمپلی فایر با سوراخ ۱/۵ میلی متر .
- ۴- تعیین محدوده حوزه کور و توانائی تفکیک سازی پروب های صفر درجه .
- ۵- تنظیم محور افقی با پروب صفر درجه برای امواج زاویه ای .
- ۶- تعیین مرکز انتشار امواج و تنظیم محور افقی برای پروب های زاویه ای .
- ۷- تعیین زاویه واقعی پروب های زاویه ای و اندازه گیری زاویه پروب هائی که زاویه اسمی آنها نا معلوم می باشد ( از رابطه ۸-۱ و مطابق شکل ۸-۱ - الف ) :

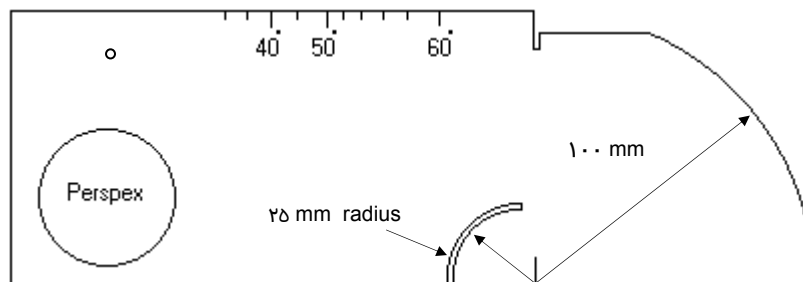
در شکل های ۸-۱ و ۸-۲ دو نمونه V1 با تفاوتی مختصر دیده می شوند :

$$\text{Sin } \beta = X - ۳۵ / R \quad \text{رابطه ۸-۱}$$





شکل ۸-۱ - ب، دو نمای دیگر نمونه V1



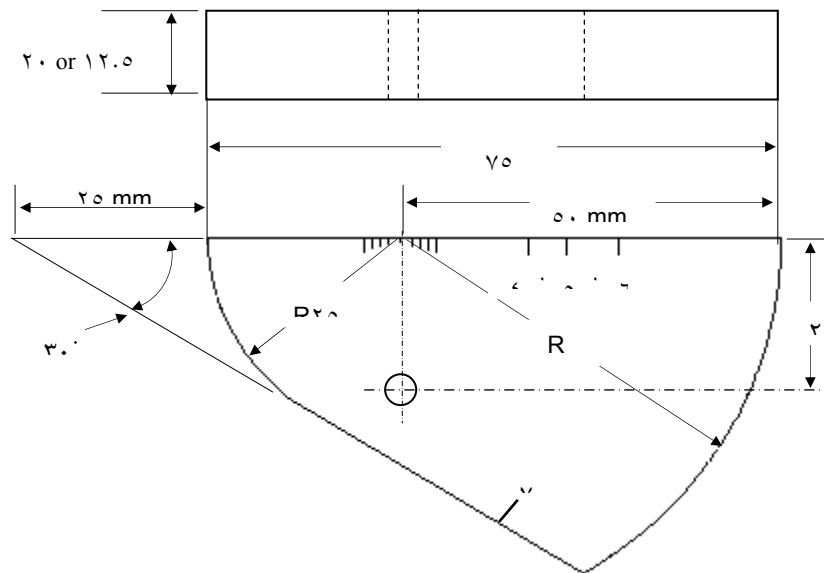
شکل ۸-۲، نمونه استاندارد V1 با دو قوس ۲۵ و ۱۰۰ میلی متر

توضیح: نمونه تنظیم V1 در استاندارد BSI-۲۷۰۴ با نام A2 شناخته می شود.

## ۲ - نمونه تنظیم IIW - ۷۲ :

این نمونه نیز با دارا بودن بعضی از ویژگی های نمونه ۷۱ در اندازه ای کوچک و سبک توسط انستیتوی بین المللی جوش طراحی شده است و به دلیل کوچکی، مناسبترین نمونه برای اغلب تنظیم ها در کارهای بیابانی محسوب می شود .

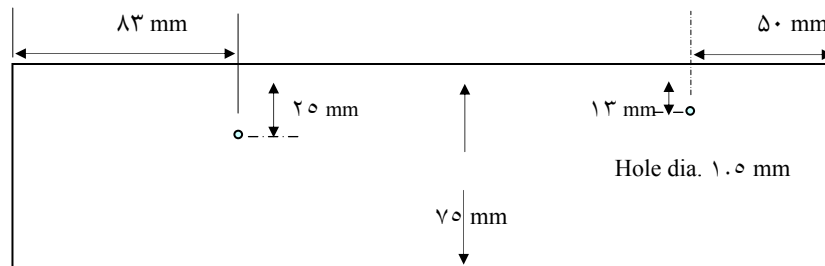
در شکل ۸-۳، یک نمونه IIW - ۷۲ مشاهده می گردد . این نوع نمونه در دو ضخامت ۱۲/۵ و ۲۰ میلی متر ( ضخامت ) با سوراخ های تنظیم حساسیت ۱/۵ و ۵ میلی متری ساخته می شوند . استاندارد BSI- ۲۷۰۴ این نمونه را با نام A۴ معرفی می کند .



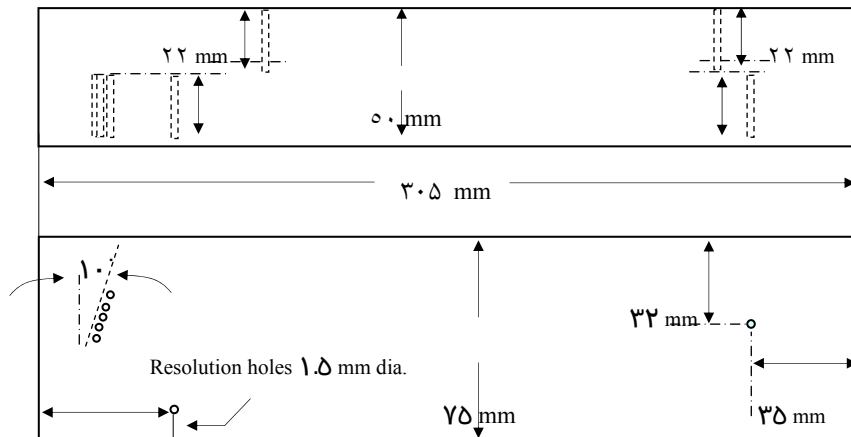
شکل ۸-۳

## ۳ - نمونه تنظیم ( I.O.W- A5 ) BSI - A5

اگر بخواهیم تنظیم های اساسی، متنوع و حساس را با دقت کافی انجام دهیم، با این نمونه بهترین نتایج بدست خواهد آمد. از این نمونه برای تنظیم درجه حساسیت آزمایش، تعیین حد تفکیک سازی عیوب، تنظیم محور عمودی (دامنه) به نسبت فاصله، رسم طیف امواج و موارد متعدد دیگری استفاده می گردد. در شکل ۴-۸، سه نمای این نوع نمونه مشاهده می گردد. در استاندارد ESI با نام BCB/N, A5 ( Beam Calibration Block ) شناخته می شود.



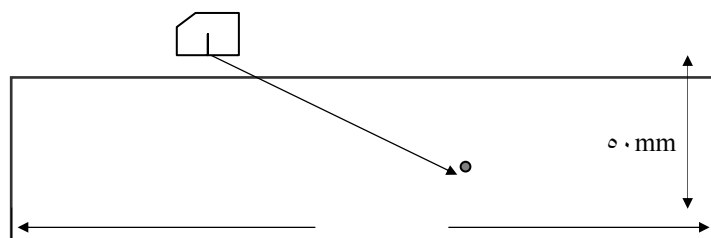
شکل ۴-۸ - الف، نمای روبروی نمونه A5



شکل ۴-۸ - ب نمای از بالا و نمای پشت نمونه A5

## ۴ - نمونه های تنظیم A۵, Blank Type B

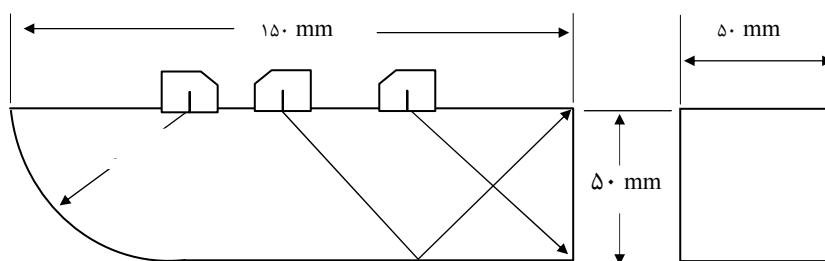
این نمونه به لحاظ ابعادی مشابه نمونه A۵ است که توسط ESI طراحی شده و در آن فقط یک سوراخ به قطر ۱/۵ میلی متری تعبیه گردیده است. از این نمونه برای تنظیم درجه حساسیت به نسبت طول برد زیاد امواج عرضی ( Long Beam Path ) استفاده می گردد نمونه تنظیم A۵, Blank type C نیز تقریباً مشابه با این نوع نمونه استاندارد می باشد ( شکل ۸-۵ ).



شکل ۸-۵

## ۵ - نمونه تنظیم ۵۰ RAD Block , ESI

این نمونه برای مقایسه شکل پالس های صفحه تصویر با پروب زاویه ای طراحی شده است. با این نمونه تغییرات پالس های انعکاسی نیم و یک گام از زاویه قائم با پالس انعکاسی برخورد با قوس ۵۰ میلی متری مورد مقایسه قرار می گیرند ( شکل ۸-۶ ).



شکل ۸-۶

### تکنیک های پوشش ( Scanning Techniques )

در مباحث قبل به این نتیجه رسیدیم که امواج ماوراءصوت مانند پرتو های نوری، در برخورد با موانع، تحت پدیده های انکسار و انعکاس قرار می گیرند . زاویه تابش امواج و شکل هندسی مانع، دو عامل اصلی و تعیین کننده شدت انکسار و یا انعکاس امواج در برخورد با سطح یک مانع می باشند که حاصل چنین واکنش هایی به شکل پالس در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک ظاهر می شود .

#### تعریف :

انتخاب موقعیت ، جهت و زاویه تابش امواج به ناحیه معین و مشخصی از یک قطعه مورد آزمایش را تکنیک پوشش ( Scanning Technique ) می گویند .  
با انتخاب تکنیک پوشش مناسب، می توان واکنش امواج را در برخورد با شکل هندسی یک عیب بصورت علائمی قابل تفسیر در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک مشاهده نمود .

#### مکانیزم تکنیک های پوشش امواج

برای پوشش دادن ناحیه معین و مشخصی از قطعه تحت آزمایش، پروب در چند حالت طولی، پیچشی ، دورانی ، عرضی و عمقی به نحوی حرکت داده می شود که مناسبترین واکنش از برخورد امواج با عیب بدست آید . با استفاده از تکنیک مناسب و شناخت مدل پالس های واکنش امواج در برخورد با عیوب، ابعاد، موقعیت و شکل هندسی آنها شناسائی و اندازه گیری می شود .



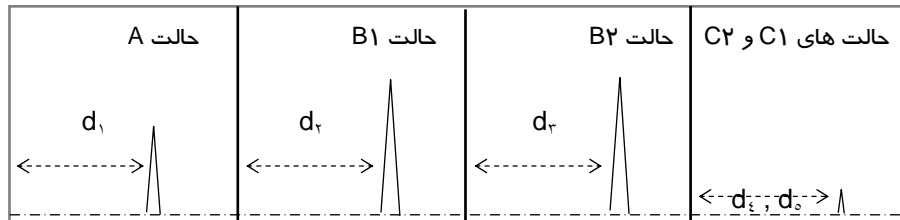
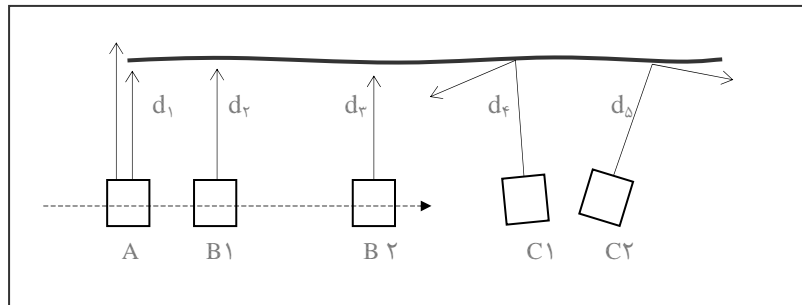
## انواع تکنیک های پوشش :

### ۱ - تکنیک پوشش طولی :

( Lateral Scanning Technique )

در تکنیک پوشش طولی، پروب در حالیکه امواج را به شکل عمودی به سمت ناحیه مورد آزمایش ( مقابل ) می فرستد ، در جهت موازی با محور طولی نیز تغییر مکان می دهد . در شکل ۹-۱ ، پروب های A ، B<sub>۱</sub> ، B<sub>۲</sub> ، C<sub>۱</sub> ، C<sub>۲</sub> ، درحالت های متفاوت در مقابل یک عیب خطی هموار ( صاف ) قرار گرفته اند . واکنش امواج با حرکت طولی هرکدام از پروب ها در حالت های شکل زیر بررسی می گردد :

تکنیک پوشش طولی مخصوص تشخیص و اندازه گیری عیوب خطی صاف کاربرد دارد.



شکل ۹-۱

**بررسی حالت ها :**

- ۱ - حالت A ؛ پروب، امواج را بطور قائم به سمت عیب ( روبرو ) می فرستد، در این حالت بخشی از امواج به انتهای عیب برخورد نموده و بخش باقیمانده به حرکت خود به سمت جلو ادامه می دهند. پالس واکنش امواج دربرخورد با عیب در صفحه تصویر دیده می شود .
- ۲ - حالت B۱ ؛ پروب در جهت موازی با عیب حرکت داده می شود ، به تدریج امواج بیشتری به عیب برخورد نموده و در نهایت پالس آن با حداکثر ارتفاع در صفحه تصویر دیده خواهد شد .
- ۳ - حالت B۲ ؛ در حالیکه حرکت پروب در جهت موازی با عیب تداوم دارد، ارتفاع پالس آن بدون تغییر و به ارتفاع تقریباً مساوی با حالت B۱ دیده می شود .
- ۴ - حالت های C۱ و C۲ ؛ در حالیکه امواج با عیب برخورد نموده اند، اما بعلت چرخش پروب به چپ و راست و بروز پدیده انکسار، کمترین واکنش انعکاسی امواج در صفحه تصویر شکل گرفته است .

**نتیجه گیری :**

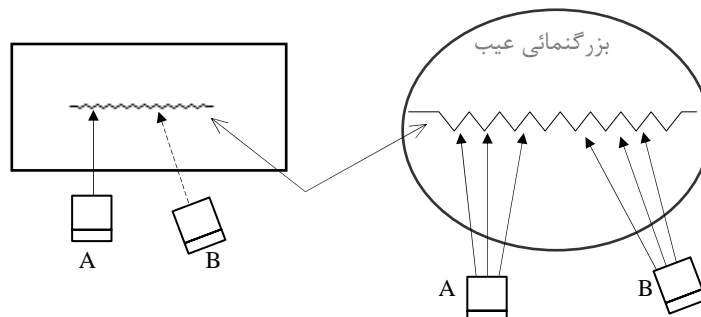
- الف - با تکنیک پوشش طولی می توان ماهیت خطی و صاف بودن عیب را تشخیص داد و بکمک تکنیک های افست دسی بل دو انتهای آنر بدست آورد .
- ب - در زمان برخورد قائم امواج با یک عیب طولی، هر گاه پروب بیش از ۱۵ درجه چرخانده شده و دامنه پالس آن، بیش از ۷۰٪ افت نماید، امواج با یک عیب خطی صاف و بدون دندانها برخورد نموده اند .

**۲ - تکنیک پوشش چرخشی :**

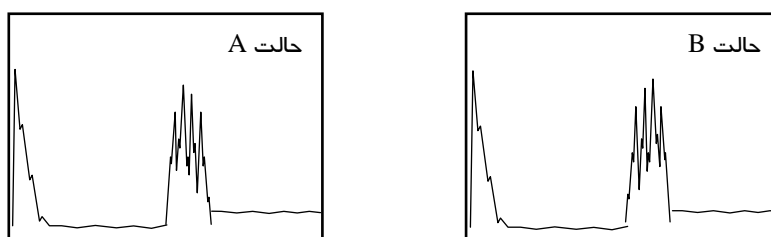
( Rotational Scanning Technique )

همانطور که در ویژگی تکنیک پوشش طولی مشاهده شد، دامنه پالس یک عیب خطی صاف، در لحظه چرخش پروب، با افت شدید روبرو گردید . اما چنانچه عیبی با سطح ناهموار در مسیر امواج قرار گیرد، نوع واکنش متفاوت خواهد بود و امواج در لحظه چرخش پروب به سطح داخل دندانها برخورد نموده و پالس های انعکاسی متغییری در صفحه تصویر نمایان خواهند شد .

در شکل ۹-۲ - الف ؛ دو حالت از برخورد امواج یک پروب با یک عیب دندان دار و ناهموار مشاهده می شود ، تفسیر نتایج شکل ۹-۲ - ب برای هر دو حالت بررسی می گردد :



شکل ۹-۲ - الف حرکت چرخشی پروب در حالت های A,B



شکل ۹-۲ - ب

در حالت **A** ؛ تصویر پالس عیب پس از برخورد قائم امواج با یک عیب خطی ناهموار دیده می شود که پالس واکنش آن کنگره دار و پهن در صفحه تصویر ظاهر شده است .  
در حالت **B** ؛ تصویر پالس عیب پس از چرخش پروب و برخورد شیب دار امواج با سطح عیب مشاهده می گردد، که شکل ظاهری پالس فقط اندکی تغییر نموده است .

**نتیجه** : هر گاه پس از مشاهده پالس یک عیب طولی در صفحه تصویر، با چرخش پروب ارتفاع پالس آن، بدون افت چشمگیر دیده شود، امواج با یک عیب ناهموار و دندان دار برخورد نموده اند. در چنین حالتی شکل پالس بصورت کنگره دار با پیک های نامنظم دیده خواهد شد .

### ۳ - تکنیک پوشش دورانی :

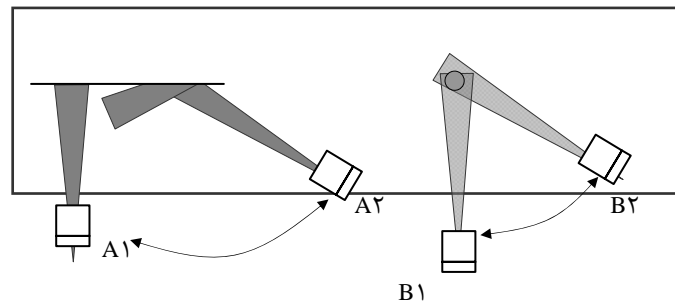
( Orbital Scanning Technique )

تکنیک پوشش دورانی برای تشخیص پالس واکنش امواج در برخورد با عیوب کروی ، قوسی و مدور بکار می رود . در شکل ۹-۳ ، دو حالت از تکنیک پوشش دورانی برای دو نوع عیب متفاوت مشاهده می گردد :

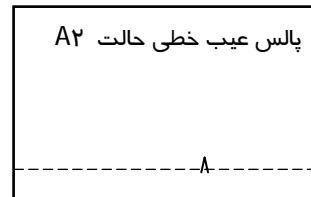
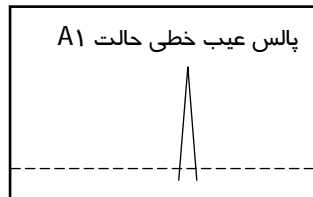
#### حالت اول ( عیب خطی صاف ) :

پروب ( A۱ ) ، امواج بطور قائم با یک عیب خطی برخورد نموده و پالس انعکاس آن با دامنه نسبتاً بلند در صفحه تصویر دیده می شود ( شکل ۹-۳ - ب ) .

پروب ( A۲ ) ، پس از دوران پروب ، امواج منکسر شده و به علت فقدان واکنش های انعکاسی امواج ، پالس آن با افت شدید دیده می شود .



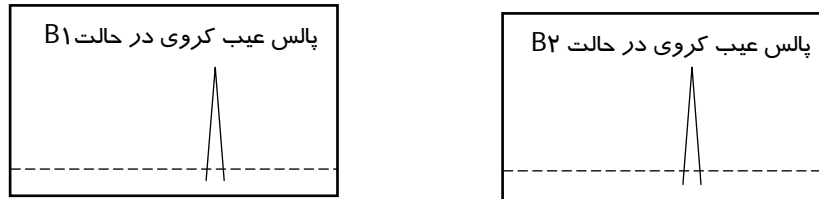
شکل ۹-۳ - الف



شکل ۹-۳ - ب

## حالت دوم ( عیب کروی ) :

پروب های B1, B2، امواج درحالت های قائم و دورانی با یک عیب کروی برخورد نموده اند، در هر دو حالت تفاوتی در شکل پالس ها دیده نمی شود ( شکل ۹-۳ - ج ) .



شکل ۹-۳ - ج

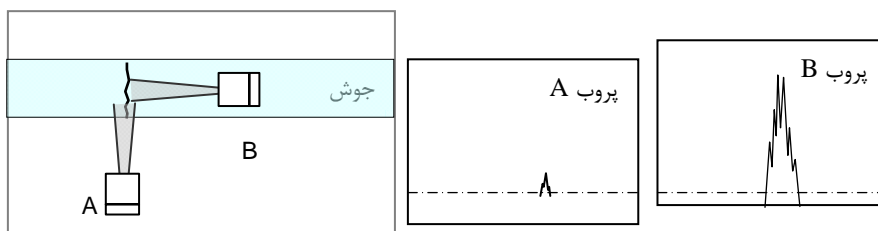
## نتیجه گیری :

هر گاه با دوران پروب پیرامون یک عیب ، تغییر محسوسی در شکل و دامنه پالس انعکاس آن روی ندهد، امواج با یک عیب مدور ( کروی و یا سوراخ استوانه ای ) برخورد نموده اند . البته در حرکت دورانی پروب حول یک عیب حجیم مانند ناخالصی سرباره و یا عیب خطی دنداندار مانند ترک، تغییر محسوس و قابل ملاحظه ای در ارتفاع پالس رخ نمی دهد و فقط ممکن است شکل و مدل پالس متفاوت دیده شود .

## ۴ - تکنیک پوشش عرضی :

( Transverse Scanning Technique )

معمولاً عیوبی مانند ترک های عرضی که به شکل متقاطع با محور طولی در اتصالات جوش شکل می گیرند، سطح مقطع بسیار کمی دارند و چنانچه امواج مانند پروب A ، از جانب مقطع با ترک برخورد کنند، واکنش بسیار ضعیفی در صفحه تصویر دیده خواهد شد. لذا برای آشکار سازی چنین عیوبی، پروب باید مانند حالت B شکل ۹-۴ ، متقاطع با محور طولی جوش در مقابل ترک قرار گیرد و از تکنیک پوشش عرضی استفاده شود، اما به علت وجود برجستگی جوش ( تاج و یا گرده جوش )، امکان ارسال امواج از روی سطح ناهموار جوش میسر نخواهد بود .



شکل ۴-۹، جهت تابش امواج از دو جهت به ترک عرضی

با توجه به توضیح فوق، در تکنیک پوشش عرضی، نوع حرکت پروب تابع شرایط سطح جوش خواهد بود به همین منظور قبل از شرح تکنیک پوشش عرضی، به انواع سطوح جوش اشاره می‌گردد که بسته به همواری سطح به سه درجه زیرتقسیم می‌شوند (شکل ۵-۹):

#### - سطح جوش درجه ۱ :

در این حالت، سطح روی جوش (تاج جوش) کاملاً برداشته شده و صاف می‌گردد، بطوریکه پروب می‌تواند هم سطح با دو طرف اتصال روی جوش حرکت نماید و انتشار امواج به درون جوش با انواع تکنیک های پوششی امکان پذیر خواهد بود. این حالت مناسبترین شرایط برای اجرای تکنیک پوشش عرضی می‌باشد، اما به علت هزینه زیاد سنگ زنی، معمولاً برای آزمایش های عادی، سطح جوش برداشته نمی‌شود. توضیح (۱)، برای آزمایش جوش های حساس مانند اتصالات جوش ادوات در نیروگاه های هسته ای، برداشتن تاج جوش تا حد صاف شدن کامل سطح آن الزامی می‌باشد.

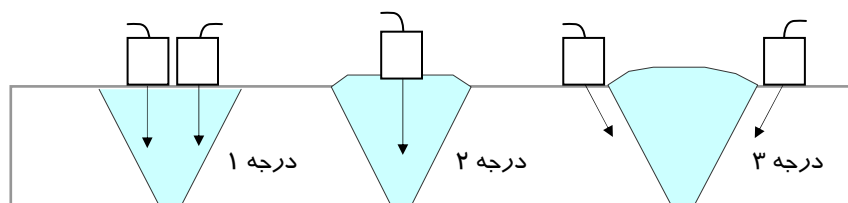
توضیح (۲)، مهمترین مزیت سطح جوش درجه ۱، امکان استفاده از پروب های صفر درجه به عنوان مکمل می‌باشد که ارزیابی عیوب دقیق تر انجام می‌گیرد.

#### - سطح جوش درجه ۲ :

در این حالت سطح روی جوش تا حد معینی صاف و هموار می‌گردد و پروب قادر است در ناحیه محدودی روی سطح جوش حرکت نماید. اگر چه در این حالت نیز، می‌توان از پروب صفر درجه برای عیب یابی ریشه استفاده نمود اما برای اجرای سایر تکنیک ها در مقطع حرکت عرضی پروب محدودیت جابجائی و مانور وجود خواهد داشت.

## - سطح جوش درجه ۳ :

این حالت که در اکثر آزمایش ها متداول است ، تاج جوش با ناهمواری و برجستگی به حالت اصلی و اولیه دیده می شود . در چنین حالتی آزمایش از روی تاج جوش غیر ممکن خواهد بود و الزاماً پروب از دو طرف جوش تحت زاویه ای معین، امواج را به درون جوش انتشار می دهد و طبیعی است که در این مقطع فقط تکنیک پوشش عمقی قابل اجرا می باشد.



شکل ۹-۵

روش های آزمایش :**آزمایش درجه ۱ :**

انجام این روش زمانی میسر است که سطح جوش کاملاً صاف، بدون برجستگی و همسطح با فلز پایه باشد بطوریکه پروب بتواند روی سطح جوش حرکت نماید . در این حالت آشکار سازی و اندازه گیری ابعاد عیوب با انواع تکنیک های پوشش طولی، چرخشی ، دورانی و عمقی قابل اجرا می باشد ( شکل ۹-۶- الف ) .

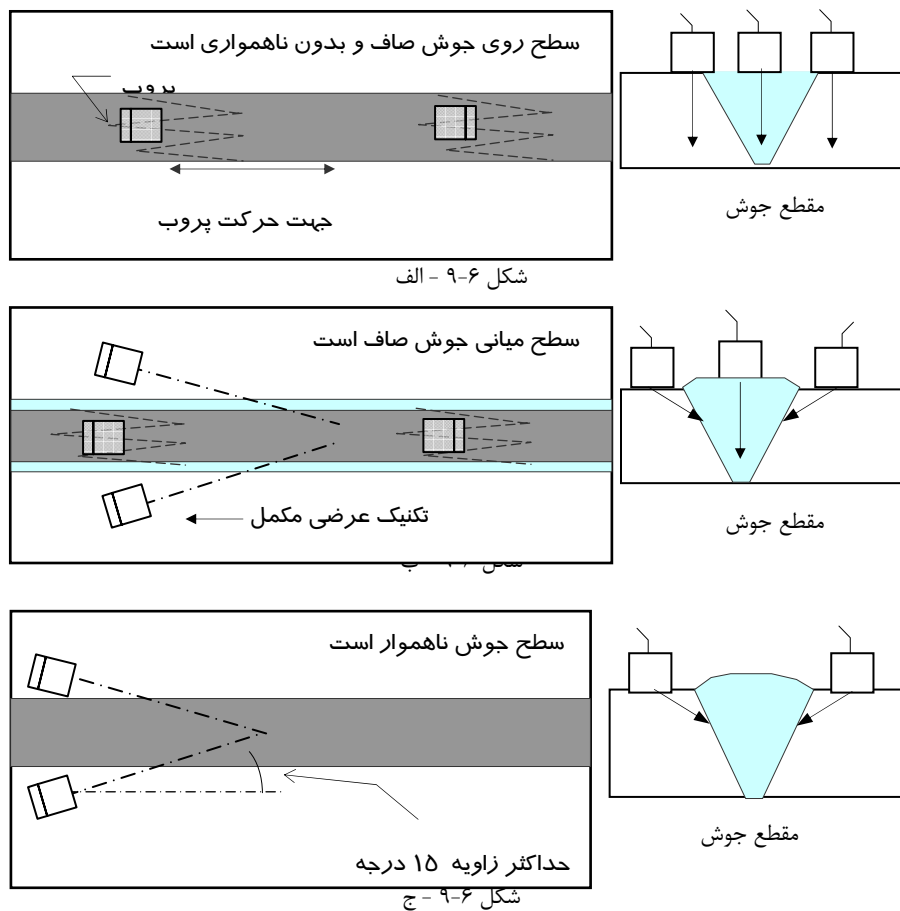
**آزمایش درجه ۲ :**

در این روش بخشی از تاج جوش ( حد میانی ) برداشته شده و سطح جوش تا محدوده معینی صاف می باشد، لذا پروب قادر است، فقط از روی سطح صاف، امواج را به درون ناحیه مرکزی جوش ارسال نماید و چون حاشیه جوش در دو طرف اتصال تحت پوشش امواج قرار نمی گیرد، الزاماً از تکنیک عرضی مکملی کمک گرفته می شود ( شکل ۹-۶- ب ) .

در آزمایش درجه ۲ ، از پروب صفردرجه برای آشکار سازی عیوب ریشه جوش و از تکنیک پوشش عمقی برای تعیین عمق عیوب استفاده می گردد .

## آزمایش درجه ۳:

در این روش که برجستگی های گرد جوش (ناهمواری سطح جوش)، مانع تماس مستقیم پروب با سطح روی جوش می گردد، پروب از دو طرف جوش و با حد اکثر زاویه ۱۵ درجه نسبت به محور طولی جوش حرکت داده می شود و ناحیه جوش و منطقه متاثر از عملیات جوشکاری تحت پوشش امواج قرار می گیرند (شکل ۹-۶-ج).





چند توصیه ( پوشش عرضی )

- ۱ - باید توجه داشت که ، بدلیل ناهموار بودن ریشه ( زیر و یا پشت جوش )، در تکنیک پوشش عرضی، بندرت ممکن است پدیده انکسار به روش زیگزاگ روی دهد، بنابراین پوشش امواج فقط در فاصله صفر تا نیم گام انجام می شود . در شرایط کاملاً خاصی که سطح پشت جوش صاف و هموار باشد ، ممکن است از گام کامل نیز استفاده گردد .
- ۲ - برای تشخیص عیوب نزدیک به سطح ، حتی الامکان از پروب زاویه ای دو کریستاله ۷۰ درجه استفاده گردد .
- ۳ - برای تحت پوشش قرار دادن قطعاتی با ضخامت های بیش از ۳۵ میلی متر ، آزمایش باید از دوسطح زیر و روی اتصال انجام گیرد .
- ۴ - چون هدف از انجام تکنیک پوشش عرضی، آشکار سازی ترک های عرضی می باشد و از طرفی ترک های عرضی در پاس های بالا، با عمق کم شکل می گیرند، حتی الامکان سعی شود از پروب هائی با شیب کم، در فاصله صفر تا نیم گام استفاده گردد .
- ۵ - برای پوشش دادن عیوب در نقاط مختلف جوش ، حد اقل از دو زاویه و از دو سمت جوش آزمایش انجام گیرد .
- ۶ - در هنگام آزمایش با پروب ۴۵ درجه ، پالس های مجازی ، محصول واکنش امواج در برخورد با ناهمواری پشت جوش، دیده خواهند شد. لذا برای عیب یابی ریشه ، تا حد ممکن از پروب ۴۵ درجه استفاده نشود .

۵ - تکنیک پوشش عمقی

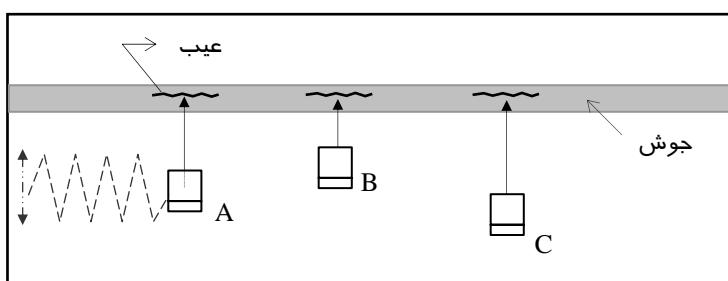
( Depth or Traversing Scanning Technique )

در این تکنیک ، پروب در جهت عرضی و متقاطع با محور طولی جوش بصورت زیگزاگ حرکت داده می شود . این روش مناسبترین تکنیک برای آشکار سازی و اندازه گیری بعد عمقی عیوب می باشد ( شکل ۹-۷ ) .

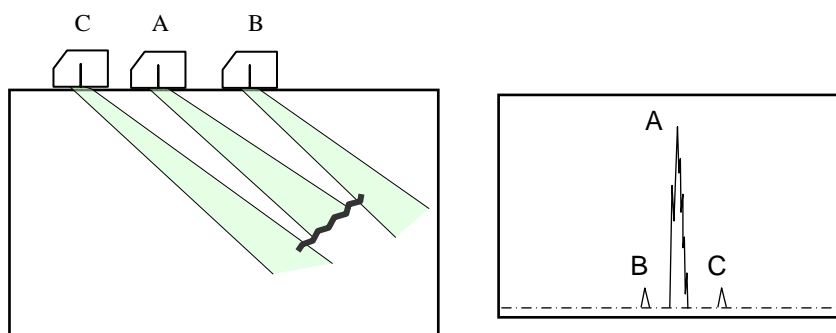
در شکل ۹-۷ الف - الف ، یک پروب زاویه ای در امتداد جوش قرار گرفته و در حالیکه به سمت جلو و عقب بصورت زیگزاگ ( متقاطع با جهت طولی ) در نوسان می باشد ، همزمان در مسیر طولی جوش نیز در حرکت است .

در شکل ۹-۷ ب - تغییر حالت های یک پروب در سه موقعیت A,B,C مشاهده می گردد. در حالت A تمامی امواج به عیب برخورد نموده و حداکثر واکنش روی داده است، اما در دو حالت B و C فقط ناحیه افت ۲۰ دسی بل امواج با عیب در تماس می باشد و ارتفاع پالس در هر دو موقعیت به حد ۱۰٪ ارتفاع پالس حالت A رسیده است .

توضیح : در هر سه حالت پروب ها، در مقابل یک عیب قرار گرفته اند و در هر موقعیت فقط یکی از پالس های صفحه تصویر دیده خواهد شد .



شکل ۹-۷ - الف



شکل ۹-۷ - ب

## شرح حالت های شکل ۷-۹ :

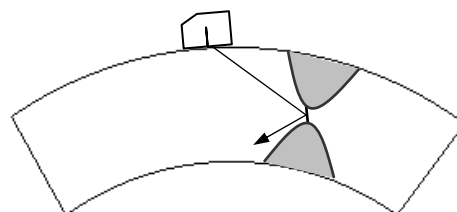
- ۱ - پروب در حالت ( A ) : طیف امواج بطور کامل با عیب برخورد نموده است . پس از بدست آوردن حداکثر دامنه پالس ، بکمک کلید کنترل آمپلی فایر ارتفاع آن به حد ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده می شود .
- ۲ - پروب در حالت ( B ) : پروب به سمت جلو حرکت داده می شود تا در لحظه ای که ارتفاع پالس واکنش آن به حد ۱۰٪ برسد . در این حالت حاشیه ۲۰ دسی بل پروب با انتهای عیب در تماس خواهد بود و طبق تعریف تکنیک ۲۰ دسی بل ، ارتفاع پالس آن در این ناحیه باید تا ۹۰٪ افت داشته باشد.
- ۳ - در مقابل مرکز انتشار امواج پروب روی قطعه علامت زده می شود .
- ۴ - پروب در حالت ( C ) : پس از برگشت پروب به حالت اولیه A ، پروب به آرامی از جوش فاصله داده می شود تا لحظه ای که مجدداً ارتفاع آن به حد ۱۰٪ برسد .
- در این حالت نیز ناحیه افت ۲۰ دسی بل با انتهای عیب در تماس خواهد بود، در مقابل مرکز پروب علامت زده می شود .
- ۵ - شماتیک مقطع جوش رسم شده و با استفاده از طیف امواج و یا از طریق محاسبه ، موقعیت، طول و عمق عیب بدست می آید .
- تکنیک پوشش عمقی به تکنیک افت ۲۰ دسی بل نیز موسوم است .

## ۶ - تکنیک پوشش تندم : ( Tandem Technique )

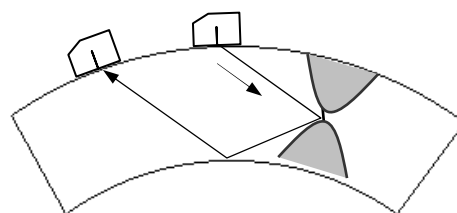
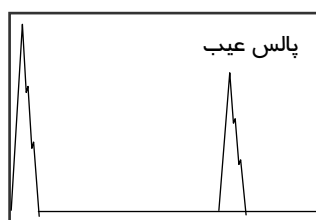
در این تکنیک دو پروب با ویژگی کاملاً مشابه، همسو و در فواصل معینی نسبت به جوش، امواج را هم جهت به درون قطعه مورد آزمایش ارسال می دارند. در شرایط عادی، هر پروب در برخورد با عیبی که انعکاس دهنده تمام امواج باشد، مطابق معمول پالس انعکاس از عیب را در صفحه تصویر نشان خواهد داد و اگر قطعه عاری از عیب باشد، امواج حرکت رو بجلو را ادامه خواهند داد. اما چنانچه عیبی شیب دار، موجب انکسار امواج یکی از پروبها گردد، پروب دیگر در نقش گیرنده، امواج انکسار یافته را دریافت نموده و پالس آنرا در صفحه تصویر نشان خواهد داد .

در تکنیک تندم تنظیم صفحه تصویر فقط بوسیله نمونه مرجع انجام می گیرد .

تجربه نشان داده که بعضی از عیوب مانند فقدان ذوب دیواره ای<sup>۱</sup> در جوش شیاری و فقدان نفوذ در جوش شیاری دو طرفه<sup>۲</sup> سبب انکسار ناخواسته امواج شده و با تکنیک های متداول و معمولی قابل آشکارسازی نیستند. بنابراین برای آشکارسازی چنین عیوبی باید بازتابش انکسار امواج تحت کنترل قرار گیرد و تکنیک تندم نیز برای چنین منظوری طراحی شده است .  
در اتصالات قوس دار مانند جوش طولی لوله های کوچک ( با قطر کم )، تکنیک تندم مناسبترین روش برای آشکارسازی عیوب بشمار می آید.



شکل ۸-۹ - الف



شکل ۸-۹ - ب

بطوریکه در شکل ۸-۹-الف دیده می شود، حداکثر امواج در برخورد با عیب منکسر شده و پالس کوتاهی از واکنش انعکاسی عیب در صفحه تصویر دیده می شود. اما در شکل ۸-۹-ب که از تکنیک تندم استفاده شده، واکنش انکساری امواج در برخورد با عیب به پروب گیرنده رسیده و پالس واکنش آن با دامنه قوی در صفحه تصویر نمایان گردیده است .

در شکل ۸-۹ - ب ، دو پروب A و B با آرایش تکنیک تندم دیده می شوند که پروب A بصورت فرستنده امواج و پروب B بصورت گیرنده امواج عمل می کنند . در این حالت با جابجائی همزمان پروب ها ، حداکثر ارتفاع واکنش امواج در برخورد با عیوبی که ذکر شد، در صفحه تصویر ظاهر خواهد شد .

#### نکات مهم :

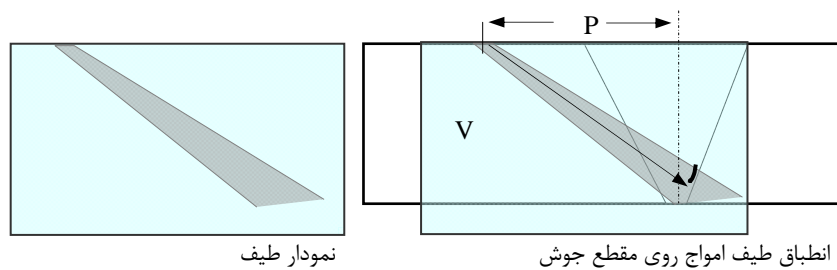
- ۱ - در تکنیک تندم هرچه فاصله بین پروبها کمتر باشد نتیجه بهتری گرفته خواهد شد.
- ۲ - در روش تندم ، برای نزدیک تر بودن دو پروب بهم ، از زاویه ای با شیب تند و ترجیحاً زاویه ۴۵ درجه استفاده می گردد .
- ۳ - هر چه ضخامت بیشتر گردد از فرکانس بالاتر استفاده می شود، اما در شرایط معمول برای فولاد های کربنی تا ضخامت ۶۰ میلی متر فرکانس ۴ مگاهرتز مناسب است .
- ۴ - معمولاً در تکنیک تندم، برای هماهنگی حرکت همزمان پروب ها، هر دو پروب با آرایش منظمی در یک محفظه مشترک قرار می گیرند .

توضیح : در کار آزمایشگاهی لزومی به محفظه مشترک نمی باشد و دو پروب بطور جداگانه نیز قابل تنظیم می باشند .

### رسم طیف امواج ( Beam Profile )

اصولاً امواج ساطع شده از یک پروب، تحت زاویه معینی بصورت یک طیف منظم در قطعه مورد آزمایش انتشار می یابند. با رسم طیف امواج، زاویه واقعی و پهنای باند انتشار امواج ساطع شده از یک پروب بدست می آید. با داشتن طیف رسم شده یک پروب، می توان موقعیت و مختصات دقیق عیوب را بدقت تعیین نمود.

در شکل ۹-۹، نمونه ای از یک طیف رسم شده مشاهده می گردد که بر روی یک ورقه پلاستیکی شفاف منتقل شده است. با داشتن فاصله مرکز پروب تا مرکز جوش ( P )، فاصله طی شده امواج از روی صفحه تصویر ( V ) و رسم شماتیک مقطعی جسم، نمودار طیف روی نمای مقطعی جوش منطبق شده و موقعیت عیب بدست می آید.



شکل ۹-۹

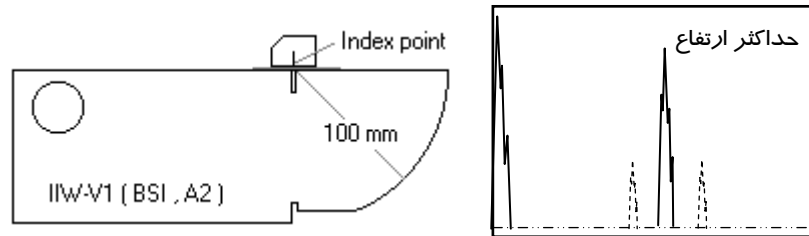
#### نکات مهم :

برای رسم طیف امواج و استفاده از آن نکات زیر توصیه می شود :

- ۱ - نمونه استاندارد BSI-A5 مناسبترین نمونه برای رسم طیف می باشد.
- ۲ - برای رسم طیف بهتر است از کاغذ شطرنجی میلی متر استفاده گردد.
- ۳ - هر طیف فقط برای یک پروب ( مورد استفاده ) رسم می گردد و روی نمودار طیف باید مشخصات کامل پروب نوشته شود.
- ۴ - معمولاً برای تکرار استفاده از نمودار، نمودار طیف رسم شده بر روی یک ورق پلاستیکی شفاف منتقل می گردد.

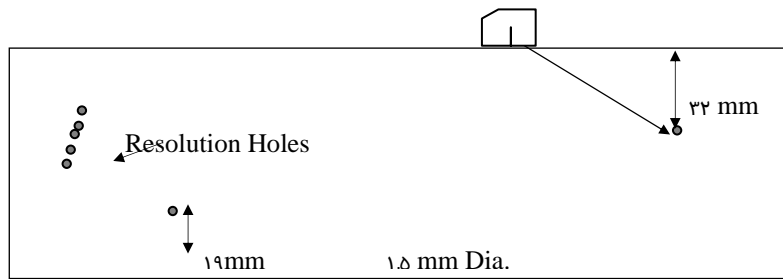
## مراحل رسم :

۱ - با استفاده از نمونه استاندارد IIW-V1 ، مرکز انتشار امواج پروب تعیین می گردد. برای این منظور ، پروب مطابق شکل ۹-۱۰ - الف ، رو به سمت قوس نمودار قرار گرفته و با حرکت تدریجی پروب حداکثر ارتفاع پالس بدست آمد، در مقابل مرکز شعاع نمونه ، روی پروب علامت زده شود ( Probe Index Point ) .



شکل ۹-۱۰ - الف

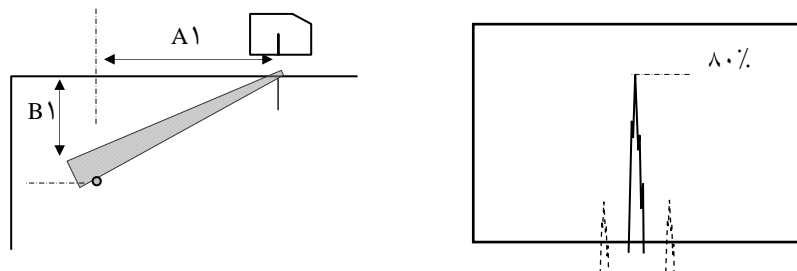
۲ - یکی از سوراخ های ۱/۵ میلی متری روی نمونه A5 انتخاب شده و پروب در جهت ارسال امواج به سمت سوراخ مورد نظر قرار می گیرد ( شکل ۹-۱۰ - ب ) .



شکل ۹-۱۰ - ب ( Welding Institute Block, A5 )

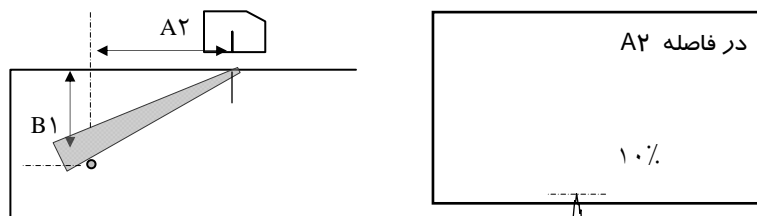
توضیح : نمونه A5 دارای ۴ سوراخ به قطر ۱/۵ میلی متر است که فقط دو سوراخ در هر سمت قابل رویت هستند ( بجز سوراخهای Resolution که برای آزمایش توانائی تفکیک سازی پروبها تعبیه شده اند ) .

۳ - با حرکت آرام پروب در امتداد مسیر پوشش عمقی ، بلند ترین پالس انعکاس از برخورد امواج با سوراخ ، در صفحه تصویر بدست می آید . ارتفاع آن به حد  $80\%$  ارتفاع صفحه تصویر رسانده شده و فاصله مرکز پروب تا امتداد بالای سوراخ ( $A_1$ ) و عمق سوراخ ( $B_1$ ) یادداشت می گردد ( شکل ۹-۱۱ ) .



شکل ۹-۱۱

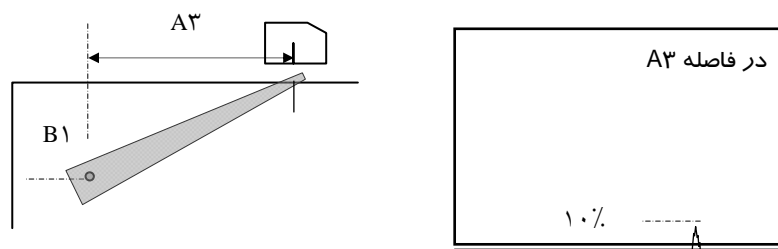
۴ - پروب مانند شکل ۹-۱۲ ، به آرامی به سمت جلو حرکت داده می شود تا ارتفاع پالس انعکاس سوراخ به حد  $10\%$  ارتفاع قبلی برسد (  $8\%$  ارتفاع صفحه تصویر ) . فاصله  $A_2$  یادداشت می گردد .



شکل ۹-۱۲

۵ - پس از برگشت پروب به حالت مرحله ۳ ، اینبار پروب در جهت مخالف، از سوراخ فاصله داده می شود، در لحظه ای که ارتفاع پالس آن به  $10\%$  رسید ، فاصله  $A_3$  یادداشت گردد ( شکل ۹-۱۳ ) .





شکل ۹-۱۳

۶- مراحل ۳، ۴ و ۵، روی حد اقل ۳ سوراخ دیگر با عمق متفاوت (  $B_1, B_2, B_3, B_4$  ) انجام گیرد. برای هر سوراخ سه فاصله  $A_1, A_2, A_3$  بدست خواهد آمد.

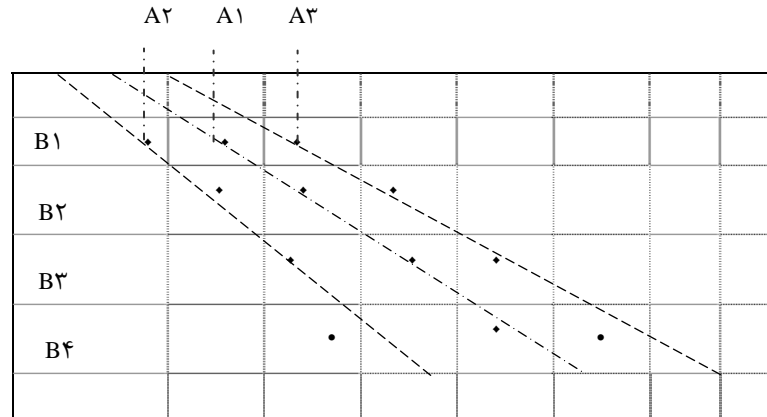
۷- اطلاعات یادداشت شده، بر روی یک نمودار شطرنجی منتقل می شوند. محور عمودی نمودار نشان دهنده عمق سوراخ ها و محور افقی نشان دهنده فواصل مرکز پروب تا امتداد بالای هر سوراخ می باشند.

۸- نقاط به ترتیب زیر با خطی راست بهم وصل می شوند و نمودار طیف امواج مخصوص پروب مورد استفاده رسم می گردد.

- ۸-۱- میانگین نقاطی با ارتفاع ۸۰٪ در فواصل  $A_1$ .
- ۸-۲- میانگین نقاطی با ارتفاع ۱۰٪ در فواصل  $A_2$ .
- ۸-۳- میانگین نقاطی با ارتفاع ۱۰٪ در فواصل  $A_3$ .

خط مرکزی رسم شده، مرکز انتشار امواج با حداکثر شدت و دو خط مجاور با اختلاف شدت ۲۰ دسی بل می باشند ( شکل ۹-۱۴ ).

**توضیح:** در هیچکدام از مراحل، نیازی به تنظیم صفحه تصویر و حساسیت نمی باشد و فقط کافی است تغییرات دامنه و فاصله، روی صفحه تصویر دیده شوند.



شکل ۹-۱۴

**مثال :**

با اجرای مراحل فوق ، نمودار پرتو امواج برای یک پروب با زاویه ۶۰ درجه و فرکانس ۴ مگاهرتز رسم می گردد .

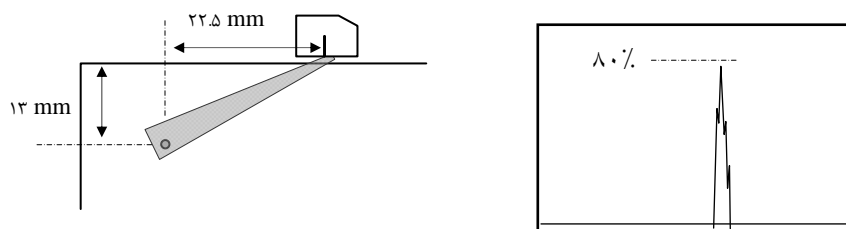
**مراحل اجرا :**

۱- با استفاده از نمونه استاندارد IIW -V1 مرکز انتشار امواج پروب تعیین و روی پروب علامت گذاری می شود .

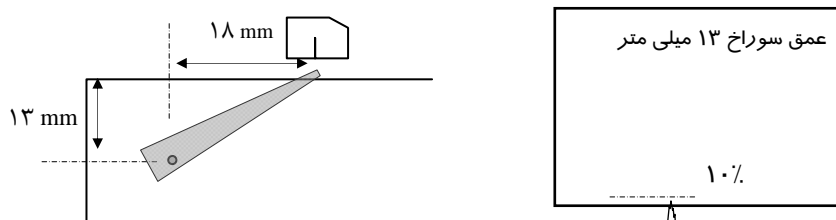
۲- پروب در جهت ارسال امواج به سمت سوراخ ۱۳ میلی متر روی نمونه استاندارد A5 قرار می گیرد . پس از بدست آوردن حداکثر ارتفاع پالس انعکاس از سوراخ ، دامنه آن به ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده می شود ( شکل ۹-۱۵ - الف ) .

۳- در مقابل خط مرکزی پروب ، روی نمونه علامت گذاری شده و فاصله آن یادداشت می گردد . ( A1 = ۲۲.۵ mm )

۴- پروب به آرامی به سمت جلو حرکت داده می شود ، تا ارتفاع پالس انعکاس از سوراخ به ۱۰٪ برسد . در مقابل مرکز پروب ، روی نمونه علامت زده می شود و فاصله آن یادداشت می گردد ( شکل ۹-۱۵ - ب ، A2 = ۱۸ mm ) .

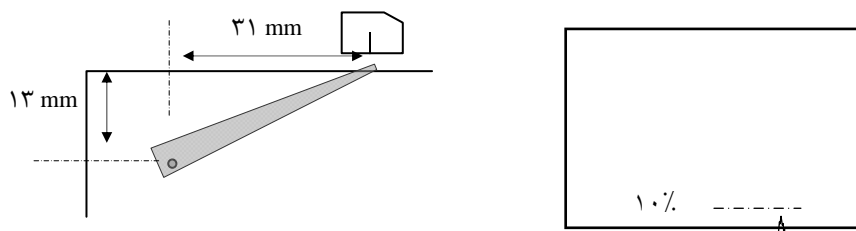


شکل ۹-۱۵ الف



شکل ۹-۱۵ ب

۵ - پروب در جهت مخالف، از سوراخ فاصله داده می شود تا ارتفاع پالس انعکاس از سوراخ مجدداً به ۱۰٪ برسد. فاصله یادداشت و علامت گذاری می شود. ( شکل ۹-۱۵ ج ،  $A_3 = 31 \text{ mm}$  ) .



شکل ۹-۱۵ ج

۶ - مراحل ۳، ۴ و ۵، روی سوراخ های ۱۹، ۲۵ و ۳۲ میلی متری نیز تکرار می گردد. برای هر سوراخ به ترتیب نتایج زیر بدست آمده است.

B ۱ , depth ۱۳ mm

$$A_1 = ۲۲.۵ \text{ mm} \quad A_2 = ۱۸ \text{ mm} \quad A_3 = ۳۱ \text{ mm}$$

B ۲ , depth ۱۹ mm

$$A_1 = ۳۳.۸ \text{ mm} \quad A_2 = ۲۴ \text{ mm} \quad A_3 = ۴۸ \text{ mm}$$

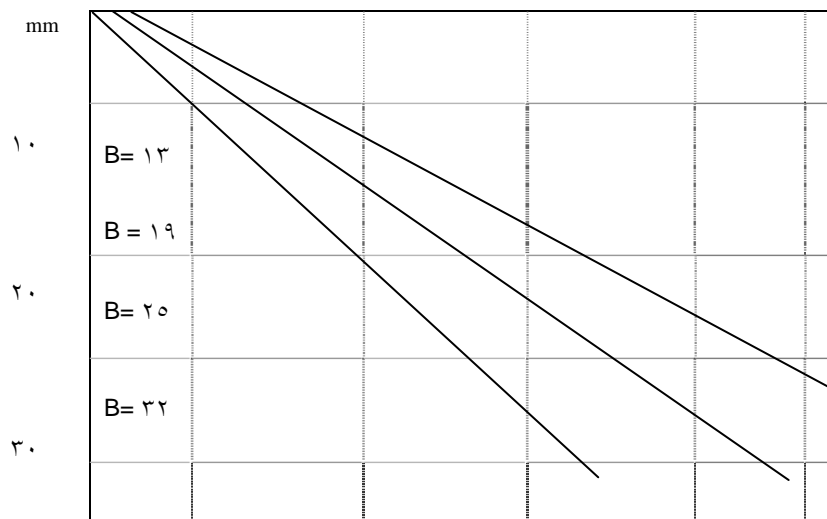
B ۳ , depth ۲۵ mm

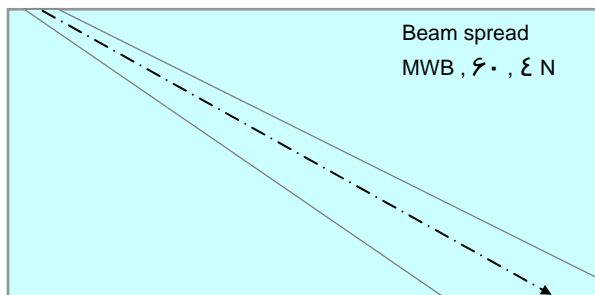
$$A_1 = ۴۴ \quad A_2 = ۳۱ \text{ mm} \quad A_3 = ۶۱ \text{ mm}$$

B ۴ , depth ۳۲ mm

$$A_1 = ۵۸ \text{ mm} \quad A_2 = ۳۹ \text{ mm} \quad A_3 = ۷۶ \text{ mm}$$

۷ - نتایج بدست آمده روی یک جدول ( کاغذ شطرنجی ) منتقل می گردند.  
 ۸ - نقاط به ترتیبی که قبلاً شرح داده شد بهم وصل شده و طیف امواج بدست می آید.  
 ( شکل ۱۶-۹ ) .





شکل ۹-۱۷

در شکل ۹-۱۷، طیف امواج یک پروب زاویه ای کوچک ۶۰ درجه، ۴ مگاهرتز، سری N مشاهده می گردد که روی یک ورق فیلم پرتونگاری شفاف رسم شده است. با انطباق نمودار، روی شماتیک جوش می توان مانند مثال زیر موقعیت عیب را تشخیص داد.

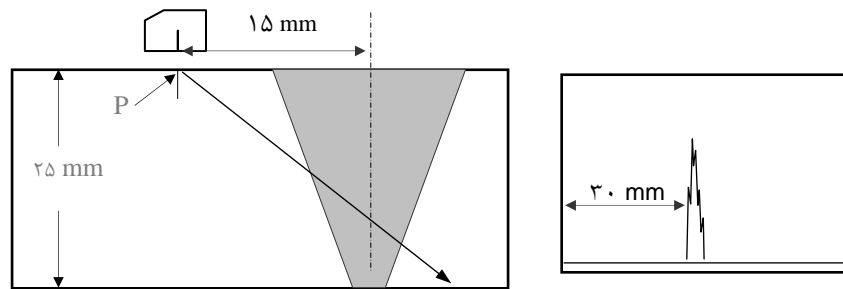
#### مثال :

در زمان آزمایش یک اتصال جوش به ضخامت اسمی ۲۵ میلی متر، در حالیکه فاصله مرکز پروب تا مرکز جوش ۱۵ میلی متر بوده، پالس عیب در فاصله ۳۰ میلی متری صفحه تصویر ظاهر شده است. با استفاده از طیف رسم شده و اجرای مراحل زیر موقعیت عیب تعیین می گردد.

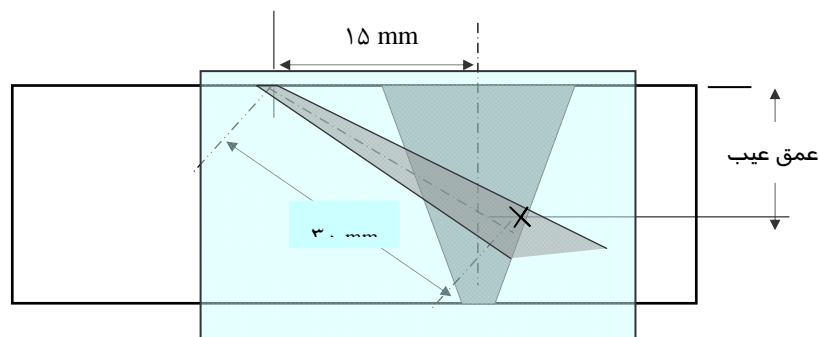
#### روش اجرا :

- ۱ - شماتیک جوش مطابق با ضخامت واقعی رسم می گردد.
- ۲ - روی شماتیک مقطع جوش، از مرکز پروب به فاصله ۱۵ میلی متر تا مرکز جوش علامت زده می شود ( شکل ۹-۱۸ - الف نقطه P ).
- ۳ - طیف رسم شده روی شماتیک مقطع جوش طوری قرار داده می شود که مرکز انتشار طیف روی نقطه P منطبق واقع شود.
- ۴ - از نقطه P به فاصله ۳۰ میلی متر روی خط مرکزی طیف علامت زده می شود.

۵ - نقطه بدست آمده محل عیب می باشد. از روی شماتیک عمق و سایر موقعیت های عیب قابل اندازه گیری خواهد بود ( شکل ۹-۱۸ - ب ).



شکل ۹-۱۸ - الف



شکل ۹-۱۸ - ب

در شکل ۹-۱۸ - ب ، طیف امواج روی مقطع جوش قرار گرفته و موقعیت عیب با علامت ضربدر مشخص شده است.

### خلاصه نکات مهم بخش ۹

- ۱ - انتخاب نوع و تکنیک حرکت پروب بمنظور تابش امواج به ناحیه مشخصی از قطعه مورد آزمایش را با واژه تکنیک پوشش ( Scanning Technique ) می شناسیم .
- ۲ - تکنیک پوشش طولی ( Lateral Scanning ) مخصوص تعیین اندازه طولی عیوب خطی با تکنیک های افست ۶ دسی بل ، افست ۲۰ دسی بل و حداکثرسازی دامنه است .
- ۳ - با تکنیک پوشش چرخشی ( Rotational Scanning ) عیوب خطی صاف مانند فقدان جوشش دیواره ای ( Lack of Side-wall Fusion ) از عیوب خطی دنداندار مانند ترک قابل تمایز خواهند بود .
- ۴ - تکنیک پوشش دورانی ( Orbital Scanning ) مخصوص تشخیص و تمایز عیوب خطی صاف از عیوب حجم دار می باشد .
- ۵ - با تکنیک پوشش عرضی ( Transverse Scanning ) ترکها و عیوب عرضی در جوشها قابل تشخیص هستند.
- ۶ - درجه کیفیت آزمایش جوش به شرایط سطح جوش بستگی دارد . در صورتیکه سطح جوش به حالت اولیه ( As-welded ) آزمایش گردد، تکنیک پوشش عرضی فقط از دو سمت جوش و بطور محدود انجام می گیرد .
- ۷ - تکنیک تاندم ( Tandem Technique ) روشی است که دو پروب کاملاً مشابه در یک جهت امواج را به سمت جوش ارسال می دارند.
- ۸ - با رسم طیف امواج، زاویه واقعی و عرض باند امواج ( عرض طیف ) ساطع شده از یک پروب بدست می آید .

عیب یابی با پروب های زاویه ای

مقدمه :

همانطور که در بخش دوم شرح داده شد، امواج ماوراء صوت در زمان برخورد در مرز بین دو محیط غیرهمگن تحت اثر دو پدیده انعکاس و انکسار قرار می گیرند، که به نسبت تغییر محیط و زاویه تابش، بخشی از امواج منعکس و بخش دیگری با زاویه مشخصی در ماده دوم انتشار می یابند. چنانچه امواج ماوراء صوت تحت زاویه ای شیب دار به سطح جسمی برخورد کنند، ذرات جسم در اثر نیروی برشی مرتعش شده و امواج را در جهتی متناسب با جهت تابش در جسم انتقال می دهند. بطور مثال وقتی امواج طولی تحت زاویه ۳۰ درجه از ماده پرس پکس عبور کرده به سطح فولاد برخورد کنند، امواج عرضی ( امواج برشی Shear Wave ) با زاویه ۳۶ درجه در فولاد انتشار خواهد یافت. امواج برشی ( عرضی ) نیز در لحظه برخورد با محیطی جدید، رفتار مشابهی خواهند داشت، چنانچه برخورد امواج عرضی با سطح جدید با نیروی برشی توأم باشد، امواج تحت زاویه ای متناسب با شیب نیروی برشی منحرف گشته و پدیده انکسار روی خواهد داد. اما در برخورد غیربرشی و قائم، فقط پدیده انعکاس روی داده و تمامی امواج در مسیر اولیه به سمت پروب برگشت می شوند. واکنش امواج در برخورد با یک عیب یا مانع نیز به همین شکل روی می دهد، در صورت برخورد قائم امواج با یک مانع، تمام و یا بخشی از امواج تحت همان زاویه منعکس می گردند و در برخورد شیب دار، امواج تحت پدیده انکسار منحرف و متفرق خواهند شد.



با این مقدمه می بینیم که امواج عرضی نیزمانند امواج طولی در برخورد با ناپیوستگی ها و عیوب منعکس و منکسر می شوند و نتیجه چنین واکنش هائی به صورت پالس های قابل تفسیر در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک ظاهر خواهند شد. تفسیر نتایج واکنش ها به عواملی چون جهت تابش امواج ، ساختار فیزیکی جسم، مختصات و شکل هندسی عیوب، نوع تکنیک پوشش و مدل پالس های صفحه تصویر بستگی دارد.. اما آنچه مسلم است، شکل هندسی و ابعاد عیوب ، به گونه ای مؤثر موجب کاهش و یا افزایش شدت انعکاس و انکسار امواج می گردند .

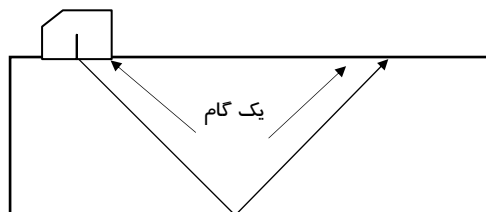
در این بخش روش های تعیین مختصات ، موقعیت و روش های اندازه گیری عیوب مورد بحث قرار می گیرند .

### تعاریف :

به منظور سهولت در اشارات بعدی ، بعضی از واژه های مهم و مرتبط با عملکرد امواج عرضی ( زاویه ای ) در روشهای آلتراسونیک به شرح زیر تعریف می گردند :

#### گام ( Beam Path ) :

به هر سیکل کامل V شکلی، که طی آن، امواج با زاویه معینی از تمام ضخامت قطعه عبور کرده و پس از برخورد با سطح پشت قطعه ، تحت اثر پدیده انکسار به سطح بالای قطعه برسند ، یک گام گفته می شود ( شکل ۱-۱۰ ) .

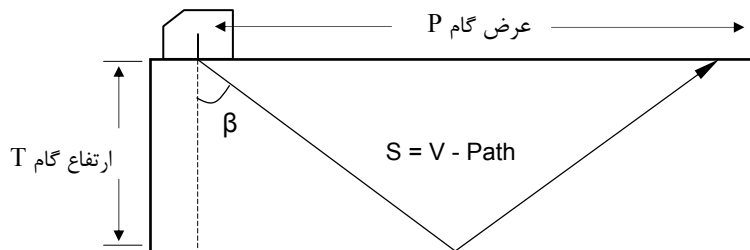


شکل ۱-۱۰

هر گام با سه مشخصه طول ، ارتفاع و عرض شناخته می شود .

### طول ، ارتفاع و عرض گام :

- طول گام عبارت است از مسافت طی شده امواج در یک گام کامل ( V-Path ) .
  - عمق گام عبارت است از عمق نفوذ امواج تا برخورد با سطح پشت قطعه .
  - عرض گام عبارت است از فاصله بین مرکز پروب تا امتداد نقطه برخورد امواج با سطح روی جسم ( Skip Distance ) .
- در شکل ۱۰-۲ ، به ترتیب S طول گام ، T ارتفاع گام و P عرض گام ، می باشند .



شکل ۱۰-۲

برای محاسبه عرض یک گام از رابطه ۱-۱۰ ، استفاده می شود .

$$P = 2 T_x \text{Tag } \beta$$

رابطه ۱-۱۰ ، اندازه عرض یک گام

$$P/2 = T_x \text{Tag } \beta$$

نیم گام

P - عرض یک گام

T - ضخامت قطعه

$\beta$  - زاویه اسمی پروب

از رابطه فوق فاصله پوشش امواج ، برای آزمایش جوش بدست می آید. با داشتن ضخامت دو طرف اتصال ، فواصل نیم و یک گام محاسبه شده و محدوده حرکت پروب برای پوشش منطقه جوش تعیین می گردد .

مثال :

برای آزمایش یک اتصال جوش به ضخامت ۲۰ میلی متر، از یک پروب با زاویه اسمی ۷۰ درجه استفاده شده است. عرض و طول گام تئوری آن محاسبه می گردد ( شکل ۱۰-۳ ) :

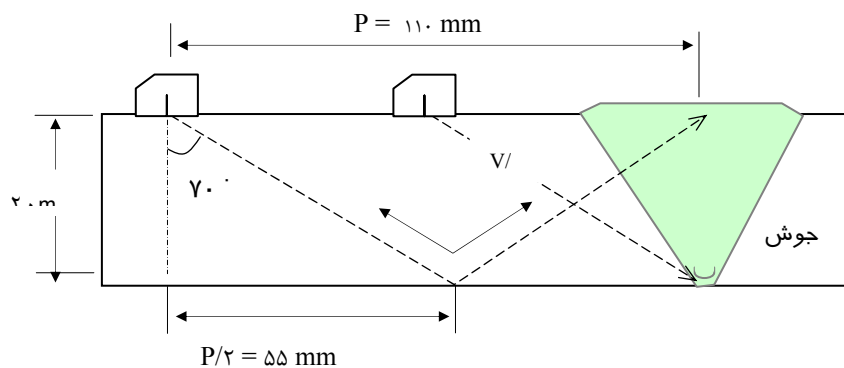
محاسبه عرض گام :

$$P = 2T \times \tan \alpha$$

$$P = 2 \times 20 \times \tan 70^\circ$$

$$P = 2 \times 20 \times 2.76 \sim 110 \text{ mm} \quad \text{یک گام}$$

$$P/2 = 110 / 2 = 55 \text{ mm} \quad \text{نیم گام}$$



شکل ۱۰-۳

محاسبه طول گام :

$$\cos 70^\circ = T / V/2$$

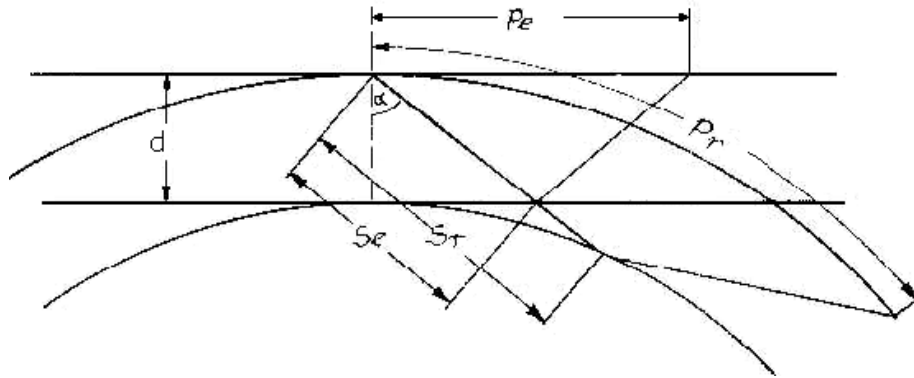
$$V/2 = T / \cos 70^\circ$$

$$V/2 = 20 / 0.34 = 58.8 \text{ mm} \quad \text{طول نیم گام}$$

$$V = 117.6 \text{ mm} \quad \text{طول گام کامل}$$

## سطوح گرد و قوس دار

از مثال فوق، طول و عرض گام برای یک قطعه تخت به ضخامت ۲۰ میلی متر به ترتیب برابر ۱۱۷/۶ و ۱۱۰ میلی متر بدست آمد. اما چنانچه قطعه غیر تخت و قوس لار باشد، نتیجه دیگری بدست خواهد آمد که مقادیر آن تابعی از شعاع قوس، ضخامت قطعه و همچنین زاویه تابش امواج می باشد.



شکل ۱۰-۴

در شکل ۱۰-۴، طیف امواج ازدو پروب با زاویه و مشخصات کاملاً مشابه در دو قطعه تخت و قوس دار با ضخامت یکسان مشاهده می گردد.

- در قطعه تخت، امواج پس از عبور از ضخامت و برخورد با سطح زیر، با همان زاویه منکسر شده و به سمت بالای ضخامت قطعه انتشار یافته اند، که ابعاد گام آن (طول و عرض گام) از رابطه ۱-۱۰ قابل محاسبه است.

- اما در قطعه قوس دار، علی رغم اینکه زاویه پروب و ضخامت بدون تغییر مانده، اما زاویه برخورد امواج با سطح ورودی و سطح زیر قطعه کاملاً متفاوت دیده می شوند، که حد تغییر آن تابعی از دو فاکتور ضخامت و شعاع قوس قطعه می باشد.

بطوریکه در شکل مشخص است عرض گام برای قطعه قوس دار ( $P_r$ ) به مراتب بزرگتر از عرض گام قطعه تخت ( $P_e$ ) می باشد.

بنابراین عامل بسیار مهمی که در پارامترهای آزمایش قطعات قوس دار تأثیر می گذارد، زاویه ورود امواج از پروب به درون قطعه و زاویه انکسار آن پس از برخورد با سطح پشت آن می باشد. برای روشنتر شدن موضوع به مثال زیر توجه گردد :

چنانچه جوش طولی لوله ای به ضخامت ۱۰ و قطر ۱۶۰ میلی متر با سه پروب با زوایای ۷۰، ۶۰ و ۴۵ درجه آزمایش گردد، نتایج زیر بدست خواهد آمد :

#### - پروب زاویه ای ۷۰ درجه :

امواج زاویه ای پروب ۷۰ درجه بدون برخورد با سطح داخل لوله ، به سمت دیگری از سطح خارجی لوله منحرف شده و قابل استفاده نخواهند بود .

#### - پروب زاویه ای ۶۰ درجه :

امواج زاویه ای پروب ۶۰ درجه پس از برخورد با سطح داخل لوله، با زاویه ای بیش از ۷۵ درجه منکسر گشته و در تکرار انکسار به امواج سطحی تبدیل خواهند شد .

#### - پروب زاویه ای ۴۵ درجه :

امواج زاویه ای پروب ۴۵ درجه پس از برخورد با سطح داخلی لوله ، تحت زاویه ۵۲ درجه منکسر شده و با همین زاویه به طور زیگزاگ به سمت جلو انتشار می یابند .

با توجه به مثال فوق می بینیم که عوامل متعددی نظیر سطح تماس پروب ، شعاع قوس و ضخامت قطعات در شیوه انتشار و انکسار امواج در قطعات قوس دار تأثیر می گذارند و برای احتراز از خطای نتایج، لازم است تا در زمان آزمایش روی سطوح قوس دار، نکات زیر مد نظر قرار گیرند :

#### الف - نشیمنگاه پروب :

چنانچه نسبت نشیمنگاه پروب و شعاع قوس بیش از حد رابطه ۲-۱۰ باشد، الزاماً پروب باید در یک محفظه مخصوص ( کفشک ) قرار گیرد، تا امواج از طریق سطح محفظه ای هم قوس با قطعات اصلی در قطعه انتشار یابند .

حداکثر فضای خالی بین پروب ( بدون محفظه ) و سطح کار تا ۰/۵ میلی متر مجاز می باشد.

$$R \geq W^2 / 4 \quad \text{رابطه ۲-۱۰}$$

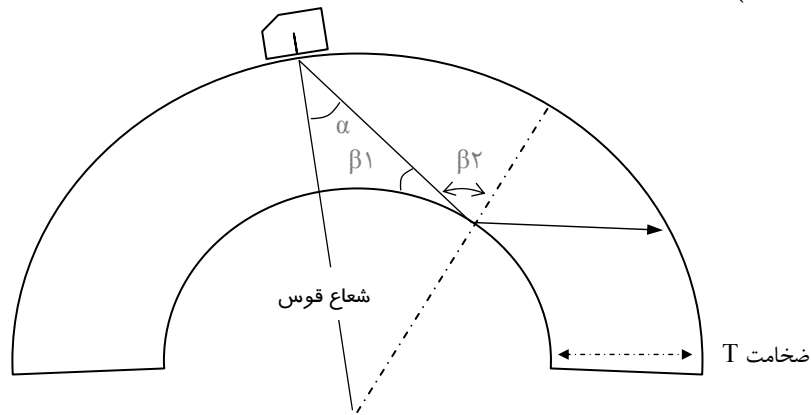
W - طول پروب ( بعد نشیمنگاه پروب روی قوس قطعه )

R - شعاع قوس قطعه مورد آزمایش

طبق رابطه ۲-۱۰، هرگاه شعاع قوس قطعات مورد آزمایش ( R ) کمتر از یک چهارم مجذور طول پروب ( W ) گردد، سطح پروب با سطح قوس دار تماس کامل نخواهد داشت و پروب باید در محفظه ای هم قوس با شعاع انحناء قطعه، قرار گیرد .

### ب - زاویه انکسار :

زاویه اولیه تابش امواج ( زاویه پروب ) در حدی انتخاب شود، که زاویه مکمل زاویه برخورد امواج با سطح زیر ضخامت قطعه ( زاویه  $\beta_2$  )، کمتر از ۷۰ درجه گردد. با زاویه ای بیش از ۷۰ درجه، امواج زاویه ای پس از اولین انکسار به حالت امواج سطحی در خواهند آمد ( شکل ۵-۱۰ ) .



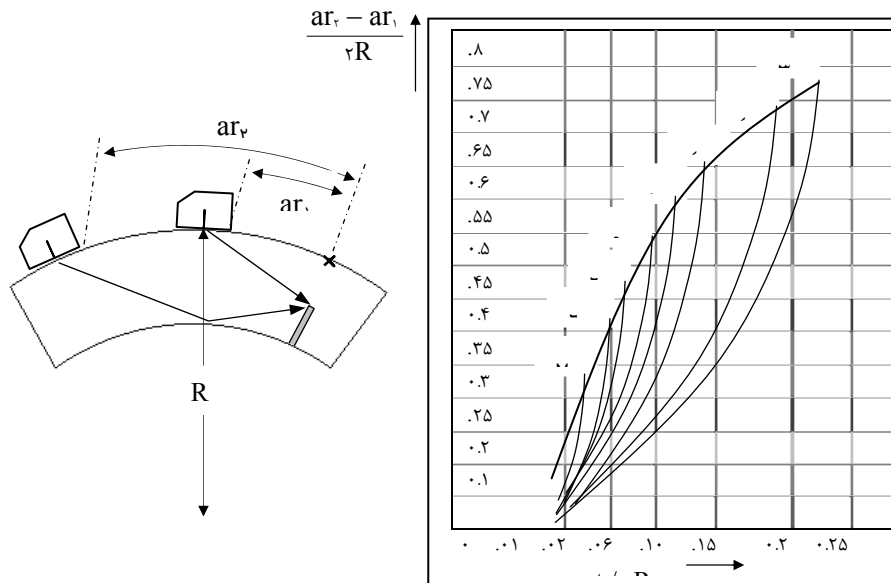
شکل ۵-۱۰

برای تعیین زاویه ورود و انکسار پروب هائی که در کفشک هم قوس قطعه قرار می گیرند و ضخامت قطعه بیش از ۲۰ میلی متر دارند، طبق روش زیر عمل می شود :

۱ - نمونه ای هم قوس و مشابه قطعه مورد آزمایش تهیه شده و یک سوراخ به قطر ۳ میلی متر و عمق نصف ضخامت قطعه، از سطح زیر، در نمونه ایجاد می گردد .

۲ - امتداد بالای سوراخ ( روی قطعه ) با علامت مشخص می شود .

۳ - پروب در موقعیت نیم گام طوری قرار می گیرد که پالس واکنش امواج در برخورد با نقطه تحتانی سوراخ به حداکثر ارتفاع برسد. فاصله بین پیشانی پروب تا نقطه علامتگذاری شده یادداشت می شود ( شکل ۱۰-۶،  $ar_1$  ).



شکل ۱۰-۶

۴ - سپس، پروب از سوراخ فاصله داده می شود تا در لحظه ای که مجدداً نقطه تحتانی سوراخ تحت تابش امواج قرار می گیرد ( سه چهارم گام ) .

فاصله پیشانی پروب تا نقطه علامت گذاری یادداشت می شود ( شکل ۱۰-۶،  $ar_2$  ).

۵ - با انتقال اطلاعات فوق بر روی نمودار ویژه تابش، زاویه تابش واقعی بدست می آید.

#### مشخصات نمودار ویژه :

محور عمودی نمودار تابش برحسب  $ar_2 - ar_1 / 2R$  ( شکل ۱۰-۶ ) و محور افقی آن بر حسب ضخامت به قطر (  $t / D$  ) ترسیم گردیده است . با انتقال مقادیر فوق، زاویه تابش امواج از روی نمودار بدست خواهد آمد ( شرح مفصل در بخش مربوطه ) .

ج - عمق نفوذ:

برای قطعات قوس دار ضخیم و خصوصاً قطعات استوانه ای شکل توپر، حداکثر عمق قابل نفوذ امواج به فاکتور تابش بستگی دارد که تابعی از ضخامت، شعاع قوس و زاویه تابش امواج می باشد. عمق نفوذ از رابطه زیر بدست می آید.

$$\sin \alpha = (R - t) / R$$

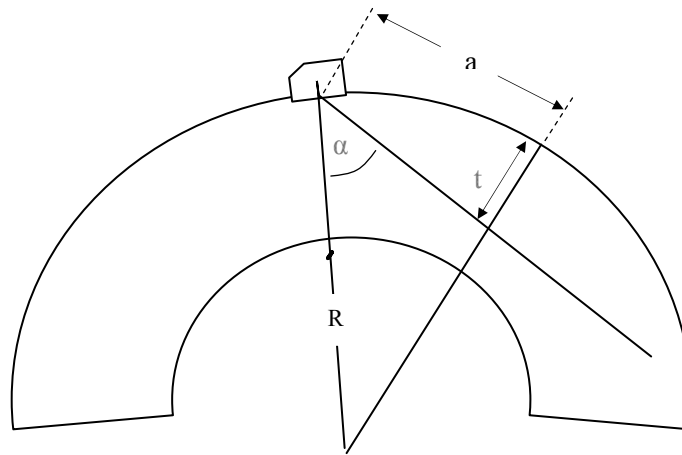
$$t = R (1 - \sin \alpha) \quad \text{رابطه ۱۰-۳}$$

$$t / R = 1 - \sin \alpha$$

t - عمق نفوذ امواج

R - شعاع قوس قطعه

$\alpha$  - زاویه انتشار امواج



شکل ۱۰-۷

در جدول ۱-۱۰، حد تغییرات عمق t و فاصله a برای پروب های زاویه ای به نسبت شعاع انحنای قطعات قوس دار مطابق شکل ۱۰-۷ مشاهده می گردد:

t - عمق نفوذ امواج

a - عرض گام تا عیب



جدول ۱۰-۱

عرض گام تا عیب ( a )	حداکثر عمق نفوذ ( t )	زاویه پروب
۰.۳۸ R	۰.۰۶ R	۷۰ درجه
۰.۵ R	۰.۱۳ R	۶۰ درجه
۰.۷۰ R	۰.۲۹ R	۴۵ درجه
۰.۷۹ R	۰.۳۸ R	۳۸ درجه

اندازه R در جدول ۱۰-۱ برابر شعاع قوس می باشد .

### توصیه ها :

- ۱- برای آزمایش جوش طولی لوله ها و قطعات قوس دار، حتی الامکان، از نمونه تنظیم مشابه قطعات اصلی استفاده گردد.
- ۲- برای آزمایش جوش طولی لوله های با قطر کم، که ضخامتی بیش از ۲۰ میلی متر دارند باید زاویه قابل انتشار امواج بدقت محاسبه گردد . برای این منظور می توان به کمک روشی که شرح داده شد، زاویه قابل استفاده را برای هر پروب به نسبت ضخامت و شعاع قوس بدست آورد .
- ۳- برای آزمایش سطوح قوس داری که عرض پروب بیش از دو برابر مجذور شعاع قوس گردد، پروب باید درون محفظه ای ( کفشک ) با انحنائی برابر با انحنای قوس سطح کار قرار داده شود .
- ۴- در زمان آزمایش قطعات سیلندری، هر نوع پالس واکنشی که در صفحه تصویردستگاه آلتراسونیک دیده شود، باید با رسم شماتیک مورد بررسی قرار گیرد .
- ۵- برای آزمایش قطعاتی با ضخامت بسیار کم، از فاصله بیش از یک گام استفاده گردد .
- ۶- تکنیک های غوطه وری برای قطعات کم ضخامت و قوس دار مناسبتر می باشند .
- ۷- چنانچه از نمونه ای همجنس و مشابه، برای تنظیم استفاده گردد، محاسبه اتلاف انرژی نیاز نخواهد بود، اما حداقل ۲ تا ۴ دسی بل ( بسته به سطح تماس ) برای ضریب انتقال باید منظور گردد .

## تعیین مختصات یک عیب ( مانع )

سطوح تخت :

برای تعیین مختصات یک عیب ( با امواج عرضی ) به دو فاکتور مسافت طی شده و زاویه انتشار امواج نیاز می باشد که زاویه انتشار امواج روی پروب نوشته شده و بعد مسافت نیز از موقعیت پالس در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک خوانده می شود.

با داشتن این دو فاکتور، سایر مختصات عیوب از دو رابطه ۴-۱۰ و ۵-۱۰ قابل احتساب خواهد بود ( شکل ۸-۱۰ ) :

$$\text{Sin } \beta = a / c \quad \text{رابطه ۴-۱۰}$$

$$\text{Cos } \beta = b / c \quad \text{رابطه ۵-۱۰}$$

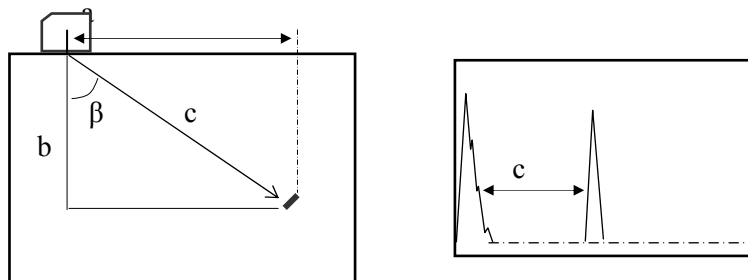
$$a = b \times \text{Tag } \beta \quad \text{رابطه نیم گام}$$

$\beta$  - زاویه پروب ( درجه )

a - فاصله مرکز انتشار پروب تا عیب ( میلی متر )

b - عمق عیب ( میلی متر )

c - فاصله طی شده امواج ( میلی متر )



شکل ۸-۱۰

مثال :

با یک پروب ۶۰ درجه ، قطعه ای از جنس فولاد آزمایش می گردد. پالس حاصل از برخورد امواج با یک عیب در فاصله ۳۰ میلی متری روی صفحه تصویر نمایان شده است . عمق و موقعیت عیب از دو رابطه فوق محاسبه می گردد .

روش محاسبه :

الف- فاصله عرضی ( مرکز پروب تا امتداد بالای عیب a ) :

$$\sin \beta = a / c \quad \Rightarrow \quad a = c_x \sin 60^\circ$$

$$a = 30_x \cdot 0.86 = 25.8 \text{ mm}$$

ب - عمق عیب

$$\cos \beta = b / c \quad \Rightarrow \quad b = c_x \cos 60^\circ$$

$$b = 30_x \cdot 0.5 = 15 \text{ mm}$$

سطوح قوس دار :

بطوریکه در ۹-۱۰-الف ، ملاحظه می شود به علت تأثیر انحنای قطعه مورد آزمایش در زاویه تابش ، طول و عرض گام نیز تغییر یافته اند بطوریکه طول و عرض گام در قطعه قوس دار ( Pr و Sr ) بسیار بیشتر از طول و عرض گام در قطعه تخت ( Pe و Se ) می باشد.

لذا برای محاسبه و تعیین مختصات عیوب در قطعات قوس داری که شعاع قوس قطعه مورد آزمایش از نصف مجذور نشیمنگاه پروب کمتر باشد طبق روش زیر عمل می گردد :

نمودار تابش :

نمودار تابشی مانند شکل ۹-۱۰-ب، بر اساس سه فاکتور ضخامت، شعاع قوس و زاویه پروب رسم می گردد محور افقی براساس تغییرات نسبی ضخامت به قطر ( t/2R ) و محور عمودی بر اساس فاکتور تابش Fp تقسیم بندی شده است .

هرمنحنی روی نمودار نشان دهنده زاویه یکی از پروب ها می باشد. با داشتن ضخامت، قطر و زاویه پروب، می توان فاکتور Fp را بعنوان مکمل برای رابطه گام به دست آورد .

$$Pe = 2t_x \text{ Tag } \beta \quad \text{رابطه گام}$$

$$Pr = 2t_x \text{ Tag } \beta_x Fp \quad \text{عرض گام سطح قوس دار ( رابطه ۶-۱۰ )}$$

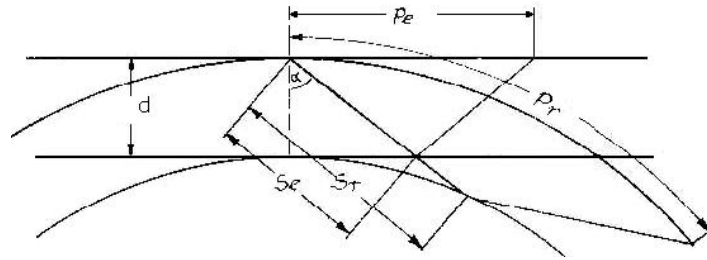
Pe - عرض گام سطح تخت

Pr - عرض گام روی سطح قوس دار ( شکل ۹-۱۰ )

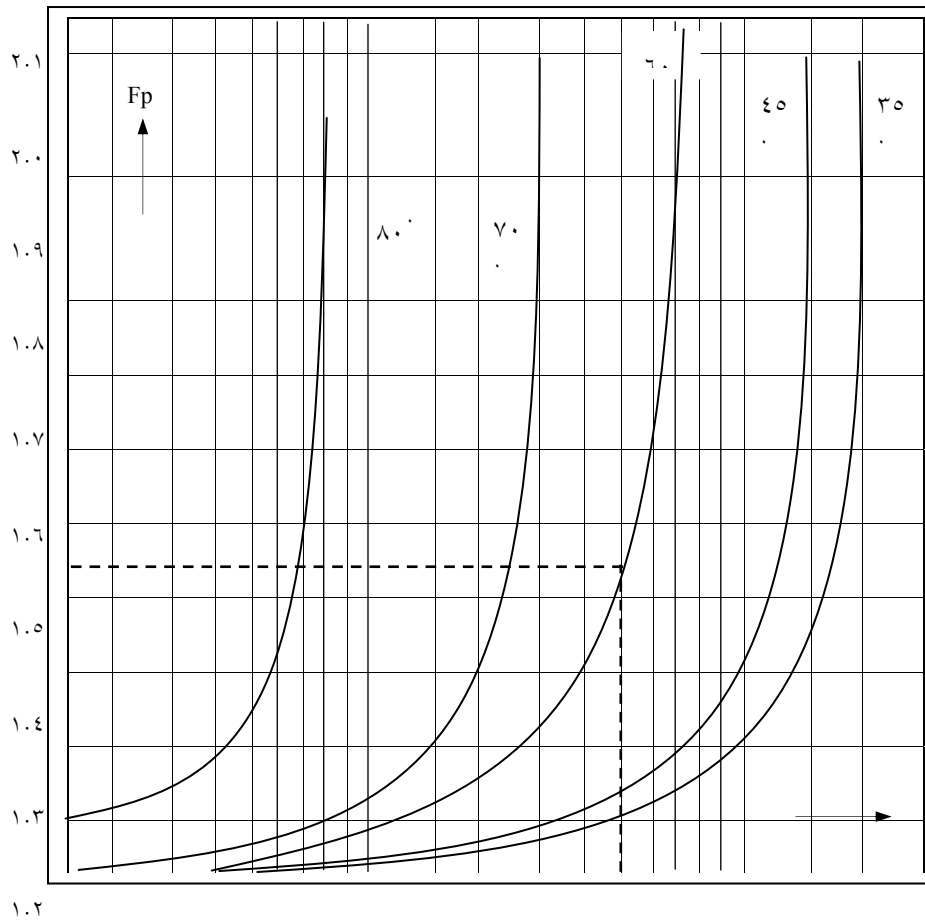
 $\beta$  - زاویه انتشارامواج پروب

t - ضخامت قطعه

Fp - فاکتور تابش



شکل ۱۰-۹-الف



شکل ۱۰-۹-ب

مثال :

جوش طولی لوله ای به قطر ۵۰۸ و ضخامت ۲۵/۴ میلی متر با یک پروب ۶۰ درجه مورد آزمایش است . اندازه عرض گام محاسبه می گردد .

$$t/D = 25.4 / 508 = 0.05 \quad \text{نسبت ضخامت به قطر}$$

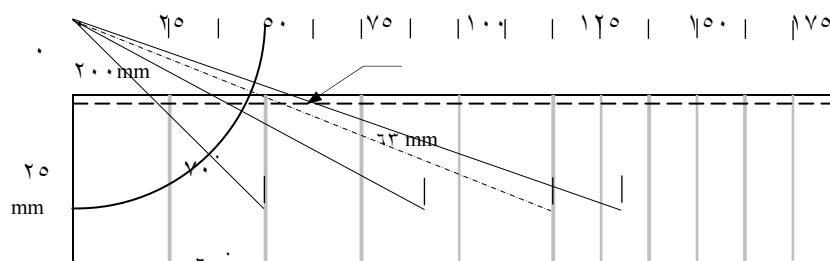
روی محور افقی نمودار از نقطه ۰/۰۵ خطی عمود رسم می گردد و از تقاطع این خط با منحنی ۶۰ درجه خطی افقی رسم می شود . محل تلاقی این خط با محور عمودی نمودار روی عدد ۱/۴۲ خواهد بود . عرض گام از رابطه ۶-۱۰ بدست می آید:

$$P_r = 2 \times t \times f_p \times \tan 60^\circ$$

$$P_r = 2 \times 25.4 \times 1.42 \times 1.74 = 125.5 \text{ mm} \quad P_r/2 = 63 \text{ mm}$$

### تعیین زاویه انتشار

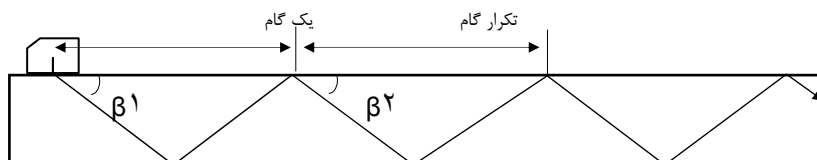
در مثال فوق به کمک نمودار شکل ۹-۱۰-ب عرض گام برای سطح قوس دار بدست آمد، برای تعیین زاویه انتشار در همین مثال از روش زیر استفاده می شود .



- ۱ - روی یک ورق کاغذ شطرنجی خط کش محاسبه ای مانند شکل ۱۰-۱۰ رسم شود . محور های افقی و عمودی برحسب میلی متر ( یا اینچ ) تقسیم بندی شده و برای سهولت در خواندن زوایا، یک کمان مدرج نیز روی خط کش رسم گردیده است .
- ۲ - عرض گام محاسبه شده ( در مثال ۶۳ میلی متر ) روی محور افقی خط چین ( معادل ضخامت لوله ) علامت زده شود .
- ۳ - نقطه صفر گوشه چپ خط کش به نقطه ۶۳ میلی متری وصل شود .
- ۴ - پس از این مراحل زاویه تابش روی کمان نقاله خوانده شود . در این مثال زاویه تابش معادل ۶۸ درجه شده است .

### انتشار زیگزاگ امواج عرضی

چنانچه امواج عرضی در قطعه ای با دو سطح موازی و عاری از عیب انتشار یابند، در نقاط برخورد امواج با دو سطح زیر و روی جسم، انکسار تکراری به شکل زیگزاگ روی می دهد. این حالت تا انحلال کامل انرژی امواج به سمت جلو استمرار می یابد. در صورت موازی بودن سطوح دو طرف قطعه، حرکت زیگزاگ امواج، متناوباً با زاویه ای معادل با زاویه ورود تکرار خواهند شد.



شکل ۱۰-۱۱

### تعیین اندازه عیوب

برای اندازه گیری عیوب با امواج زاویه، از دو روش مقایسه ای و ارزیابی تغییرات دامنه پالس ها استفاده می گردد:

#### الف - روش مقایسه ای

در روش مقایسه ای، پالس واکنش از یک یا چند عیب مصنوعی، در فواصل مختلف الگوی مقایسه و ارزیابی عیوب اصلی قرار می گیرند. نوع عیب ممکن است به صورت سوراخ و یا شیار با عمق، طول و عرض معینی در یک نمونه تنظیم (مرجع) ایجاد گردد. در روش مقایسه ای معمولاً از دو تکنیک DAC و DGS استفاده می گردد که برای هر تکنیک نمونه مرجع مخصوصی طراحی شده است.

#### ب - روش ارزیابی تغییرات دامنه

در این روش، تغییرات دامنه پالس منعکس شده از مقاطع مختلف طیف امواج مورد ارزیابی قرار می گیرند. تکنیک های اف ۶ و ۲۰ دسی بل و همچنین تکنیک حداکثرسازی دامنه از جمله تکنیک هایی هستند که در این روش بکار می روند.

## تکنیک های اندازه گیری

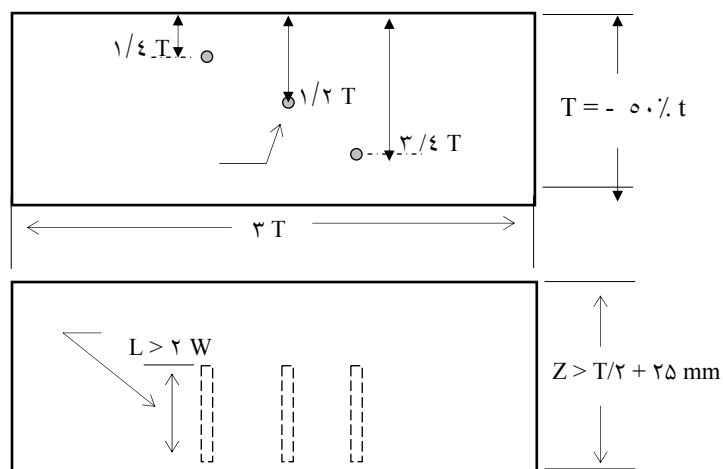
برای اندازه گیری ابعاد و مشخصات عیوب براساس تعاریف فوق ، تکنیک های متفاوتی وجود دارد که در ادامه به شرح انواع آنها پرداخته می شود .

## ۱- اندازه گیری با نمودار DAC

( Distance Amplitude Correction )

در این روش که به تکنیک DAC موسوم است ، پالس های واکنش از عیوب در قطعه مورد آزمایش با پالس های واکنش عیوب مصنوعی در نمونه مرجع مورد مقایسه قرار می گیرند. برای این منظور یک منحنی به تناسب ارتفاع پالس های واکنش از عیوب مصنوعی ( نمونه مرجع ) ، در فواصل متفاوتی از مسافت طی شده امواج رسم می گردد و ارتفاع پالس های عیوب واقعی در قطعات اصلی در هرفاصله از صفحه تصویر، با ارتفاع منحنی رسم شده مقایسه و ارزیابی خواهد شد .

برای رسم منحنی نمودار DAC ، یک نمونه تنظیم مرجع مانند شکل ۱۲-۱۰ تهیه می شود. ابعاد نمونه و قطر سوراخ ها ، متناسب با ضخامت قطعه اصلی و استاندارد پذیرش عیوب انتخاب می گردد .



شکل ۱۰-۱۲

- T - ضخامت نمونه تنظیم  
 W - عرض پروب مورد استفاده  
 L - طول سوراخ ها ( عمق سوراخ )  
 d - قطر سوراخ  
 t - ضخامت قطعات مورد آزمایش  
 Z - عرض نمونه تنظیم  
 $\lambda$  - طول موج  
 قطر سوراخ باید بزرگتر از دو برابر طول موج باشد ( بطور معمول ۳ میلی متر ) .

### مشخصات عمومی نمونه D.A.C

- ۱ - جنس نمونه مرجع مشابه با جنس قطعات اصلی انتخاب می گردد. در غیراینصورت باید اتلاف انرژی صوتی محاسبه و در زمان آزمایش منظور شود .
- ۲ - نمونه مرجع باید عاری از هرگونه عیوب ذاتی باشد . معمولاً قبل از اقدام به ساخت نمونه، بدون عیب بودن آن با پروب صفر درجه آزمایش می گردد .
- ۳ - سوراخ های نمونه مرجع، در جهت عمود بر جهت انتشار امواج زده می شوند .

### روش رسم نمودار D.A.C :

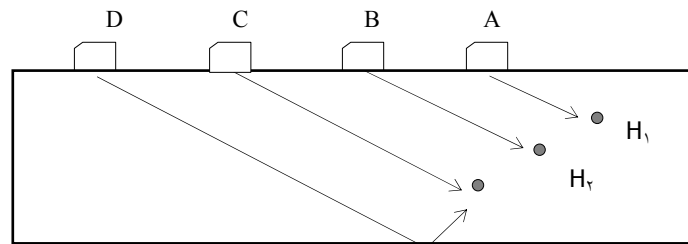
برای رسم منحنی DAC ، فقط از پروبی که در زمان آزمایش قطعات اصلی بکار خواهد رفت استفاده می شود .

### مراحل رسم :

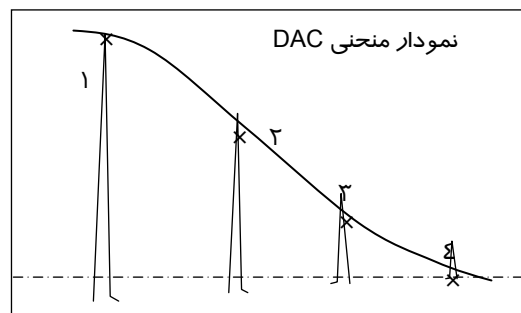
- ۱ - با استفاده از نمونه استاندارد V<sub>1</sub> ، محور افقی صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک، متناسب با ضخامت نمونه DAC تنظیم می شود .
- ۲ - پروب در حالت A ، ( شکل ۱۳-۱۰ - الف ) روی نمونه قرار گرفته و بلندترین پالس انعکاسی از سوراخ H<sub>1</sub> ، به حد ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده می شود .
- ۳ - نقطه عطف این پالس ( نقطه ۱ شکل ۱۳-۱۰ - ب ) روی صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک علامت زده می شود .
- ۴ - بدون تغییر دسی بل دستگاه آلتراسونیک ، پروب در موقعیت B قرار می گیرد و با جابجائی مختصر، پالس انعکاسی از سوراخ H<sub>2</sub> ، با حد اکثر ارتفاع بدست می آید ( نقطه ۲ ، شکل ۱۳-۱۰ - ب ) .



- ۵ - بدون تغییر دسی بل ، پروب در دو موقعیت C و D نیز در مقابل سوراخ H<sub>۳</sub> قرار داده شده و حداکثر ارتفاع پالس منعکس شده از هر دو موقعیت بدست می آید ( نقاط ۳ و ۴ - شکل ۱۰-۱۳- ب ) .
- ۶ - با اتصال نقاط بدست آمده ( روی صفحه تصویر ) ، منحنی DAC رسم می گردد .



شکل ۱۰-۱۳ - الف



شکل ۱۰-۱۳ - ب

نتیجه :

در شکل ۱۰-۱۳- ب، با اتصال نقاط عطف پالس های ۱، ۲، ۳، ۴ ، منحنی تغییرات دامنه نسبت به فاصله برای یک پروب رسم شده است .

ارتفاع منحنی رسم شده بعنوان مرجعی برای قبول و یا مردود نمودن عیوب در زمان آزمایش قطعات اصلی خواهدبود و هرگاه در زمان آزمایش قطعات اصلی، ارتفاع پالس یک عیب به حد معینی از ارتفاع منحنی نمودار برسد ، عیب محسوب می گردد .

برای استفاده تکراری از منحنی رسم شده، می توان آنرا روی یک صفحه کاغذ شفاف با ابعادی برابر با ابعاد صفحه تصویردستگاه آلتراسونیک انتقال داده و در زمان های لازم از آن استفاده نمود .

### نکات مهم :

- ۱ - منحنی نمودار DAC ، به عنوان یکی از شاخص ترین روش های رد و یا قبول نمودن ابعاد عیوب در روش کنترل کیفیت به شمار می آید و با استفاده از آن ، مسئولیت تفسیر عیوب کمتر خواهد بود .
- ۲ - منحنی DAC ، طبق مشخصات استاندارد رسم می گردد، لذا محدوده قبول و یا مردودبودن ارتفاع پالس عیب ، توسط استاندارد ویا روش آزمایش تعیین می گردد .  
مثلاً اگر در استاندارد ی گفته شود، حد مرجع قبولی ۴۰٪ ارتفاع منحنی DAC می باشد. طبق چنین دستورالعملی ، هرپالس که ارتفاع آن بیش از ۴۰٪ ارتفاع منحنی گردد ، گزارش خواهد شد .
- ۳ - به منظور حفظ درجه حساسیت آزمایش ، ماده رابط مورد استفاده برای ترسیم منحنی ، با ماده رابط مورد استفاده روی قطعات اصلی باید یکسان باشد .
- ۴ - بدلیل تفاوت شرایط سطح نمونه تنظیم با سطح قطعات اصلی و خواص فیزیکی آن ، لازم است تا ضریب تسطیح و اتلاف انرژی صوتی برای جسم قبلاً محاسبه گردد .
- ۵ - ضخامت و تعداد سوراخ های نمونه DAC به ضخامت قطعات اصلی بستگی دارد و هر چه ضخامت کمتر باشد، سوراخ های کمتری نیاز خواهد بود .
- ۶ - برای آزمایش ضخامت های کمتر از ۲۰ میلی متر، رسم منحنی DAC توصیه نمی شود و تهیه نمونه تنظیم با یک سوراخ کافی می باشد .

### توصیه :

بمنظور عدم استفاده مکرر از نمونه تنظیم DAC ، توصیه می شود، درجه حساسیت آزمایش ( دسی بل پایه ) به نسبت قوس نمونه استاندارد ۷۲ بدست آید و در تنظیم های تکراری خصوصاً در موقعیت های دشوار ( کار در ارتفاعات )، فقط از نمونه ۷۲ استفاده گردد .

## محاسبه اتلاف انرژی صوتی با منحنی D.A.C

قبلاً در بخش ۴، به چند روش محاسبه و اندازه گیری اتلاف انرژی صوتی اشاره شده است، اما با توجه به کاربرد فراگیر نمودار DAC به عنوان نمونه مرجع، الزاماً طریقه محاسبه اتلاف انرژی صوتی با منحنی DAC شرح داده می شود.

## روش و مراحل اندازه گیری :

برای محاسبه و اندازه گیری اتلاف انرژی صوتی با روش DAC، از تکنیک انتقال سر به سر استفاده می شود. در این روش دو پروب زاویه ای ۴۵ درجه با فرکانس و قطر مساوی در مقابل هم قرار گرفته و ارتفاع پالس پروب گیرنده در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک تفسیر و ارزیابی می گردد.

## مراحل آزمایش :

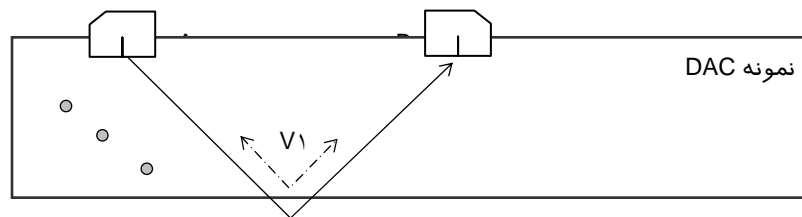
۱ - مرکز انتشار پروب ها، با نمونه استاندارد IIW-V1 تنظیم می گردد. در این مرحله، تنظیم محور افقی الزامی نمی باشد.

۲ - دو پروب A و B مانند شکل ۱۴-۱۰ - الف روی نمونه DAC قرار می گیرند، در این حالت پروب A فرستنده و پروب B گیرنده خواهد بود.

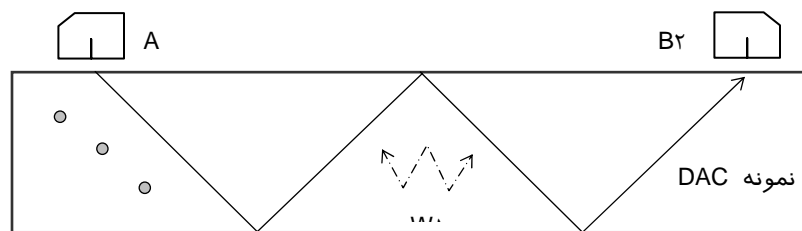
۳ - ارتفاع پالس دریافت شده توسط پروب گیرنده ( در صفحه تصویر ) به حد ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده می شود. فاصله طی شده امواج ( V1 ) و دسی بل دستگاه آلتراسونیک ( E1 ) یادداشت می گردند.

۴ - پروب ها مانند شکل ۱۴-۱۰ - ب، روی نمونه DAC قرار می گیرند و حداکثر ارتفاع پالس گیرنده در این مرحله نیز به حد ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده می شود. فاصله طی شده ( W1 ) و مقدار دسی بل دستگاه ( E2 ) یادداشت می گردد. طول نمونه تنظیم در حدی انتخاب می گردد که این مرحله قابل اجرا باشد.

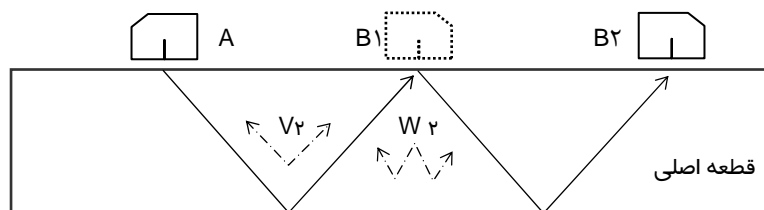
۵ - نمونه تنظیم DAC کنار گذاشته شده و اینبار دو مرحله ۳ و ۴ روی یکی از قطعات مورد آزمایش انجام می گیرد. فواصل طی شده امواج ( $V_2$  و  $W_2$ ) و همچنین دسی بل دستگاه ( $S_1$  و  $S_2$ ) برای هر دو حالت یادداشت می گردند ( شکل ۱۴-۱۰-ج ).



شکل ۱۴-۱۰-الف



شکل ۱۴-۱۰-ب

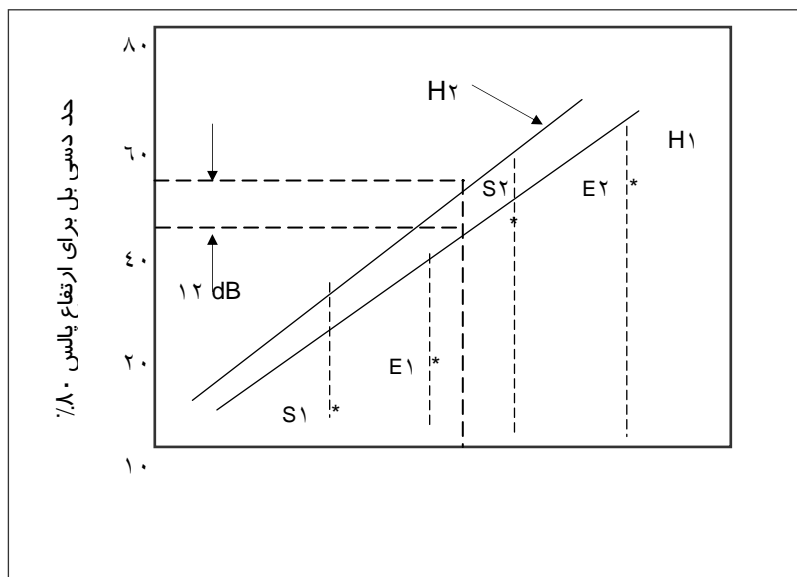


شکل ۱۴-۱۰-ج

۶- با اطلاعات بدست آمده ، نمودار ( اتلاف انرژی ) مانند شکل ۱۰-۱۵ رسم می گردد. محور افقی نشان دهنده فاصله بین دو پروب و محور عمودی نشان دهنده شدت آمپلی فایر دستگاه آلتراسونیک، برای پالس هائی به ارتفاع ۸۰٪ صفحه تصویری باشد .

۷- پس از انتقال اطلاعات کسب شده از ۵ مرحله ، دو خط مقایسه ای  $H_1$  و  $H_2$  روی نمودار بدست می آیند . خط  $H_1$  ، منحنی تغییرات دامنه نسبت به فاصله برای نمونه DAC و خط  $H_2$  ، منحنی تغییرات دامنه نسبت به فاصله برای قطعات مورد آزمایش را نشان می دهد.

با مقایسه ارتفاع دو خط  $H_1$  و  $H_2$  ، اتلاف انرژی صوتی در هر فاصله ای از قطعات مورد آزمایش بدست خواهد آمد برای مثال ، در فاصله ۵۶ میلی متری ، تفاوت انرژی بین نمونه DAC و قطعات مورد آزمایش حدود ۱۲ دسی بل شده است .

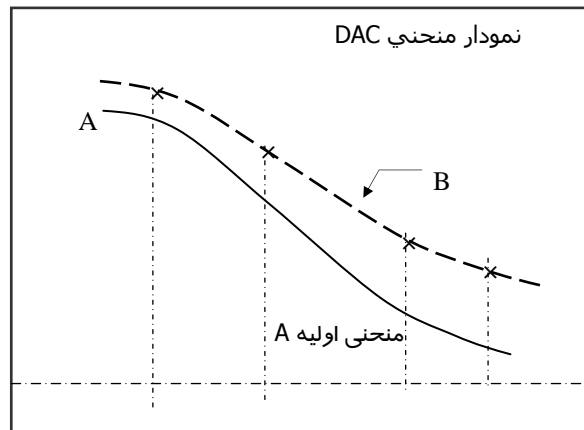


شکل ۱۰-۱۵، نمودار اتلاف انرژی

## تعدیل منحنی DAC :

با بدست آمدن دو خط  $H_1$  و  $H_2$ ، می توان منحنی اولیه DAC را به نسبت تفاوت اتلاف انرژی تعدیل نمود. برای این منظور تفاوت دسی بل در هر نقطه از دوخط  $H_1$  و  $H_2$ ، از روی نمودار اتلاف انرژی ( شکل ۱۵-۱۰)، به نمودار اولیه منتقل شده و منحنی جدیدی، مکمل منحنی اولیه رسم می گردد.

در شکل ۱۶-۱۰، دو منحنی DAC دیده می شوند، منحنی A، منحنی اولیه و بدون احتساب اتلاف انرژی و منحنی خط چین (B)، منحنی ثانویه با احتساب اتلاف انرژی می باشند. بطوریکه در شکل مشخص است، اختلاف ارتفاع دو منحنی در فواصل نزدیک به نقطه انتشار امواج نسبت به فواصل دورتر بمراتب کمتر می باشد و می توان نتیجه گرفت که هرچه امواج از نقطه انتشار دور تر گردد، انرژی صوتی بیشتری تلف خواهد شد و در تعریف تئوری نیز، انرژی صوتی در فاصله دورتر، بیشتر تلف می گردد.



شکل ۱۶-۱۰ - منحنی تعدیل شده

## ۲ - اندازه گیری با نمودار D.G.S

نمودار D.G.S، از تعدادی منحنی تشکیل شده که هرمنحنی آن بر پایه نسبتی از تغییرات شدت انعکاس امواج در فواصل مختلفی از مرکز انتشار امواج ترسیم شده است. محور افقی نمودار فاصله نقطه انتشار امواج از پروب تا عیب و محور عمودی تغییرات شدت انعکاس را در مقیاس دسی بل نشان می دهد.

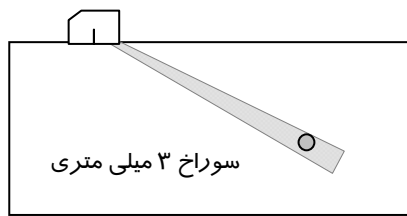
اصولاً برای استفاده از نمودار DGS یک عیب و یا مانع مرجع برای تنظیم حساسیت در نظر گرفته می شود. برای این منظور در یک نمونه تنظیم، همجنس با قطعات اصلی، یک عیب مصنوعی مانند سوراخ ایجاد می گردد که اندازه قطر سوراخ به استاندارد پذیرش عیوب و اهداف آزمایش بستگی خواهد داشت. اما در هر حال اندازه آن نباید از دو برابر طول موج کوچکتر باشد.

**توضیح:** چون در حوزه نزدیک تغییرات دامنه نسبت به فاصله از قانون و رابطه منظمی پیروی نمی کند، لذا نمودار DGS برای فاصله بیش از یک حوزه نزدیک طراحی می شود. ضمناً به دلیل تفاوت در طول حوزه نزدیک و زاویه گسترش پروب ها، هر نمودار دی جی اس فقط برای پروب هائی با مشخصات یکسان قابل استفاده خواهد بود.

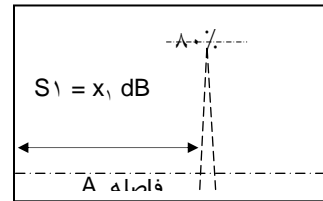
### مراحل و روش استفاده:

با استفاده از یک نمونه تنظیم با عیبی مشخص و نمودار ویژه پروب (مورد استفاده) مراحل زیر به ترتیب انجام می شوند:

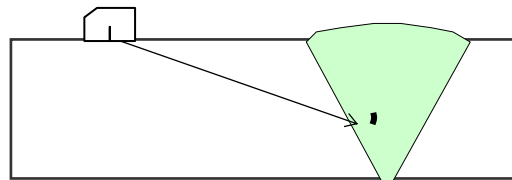
- ۱- محور افقی صفحه تصویر با استفاده از نمونه استاندارد IIW-V1 تنظیم می گردد.
- ۲- پروب مانند شکل ۱۷-۱۰ الف، در مقابل سوراخ نمونه تنظیم قرار گرفته و با جابجائی پروب حداکثر پالس بازتابش از سوراخ روی صفحه تصویر دیده خواهد شد.
- ۳- ارتفاع این پالس تا ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده شده و فاصله سوراخ تا مرکز انتشار امواج و دسی بل دستگاه یادداشت می گردد (۱۷-۱۰ ب، A و S۱).
- ۴- نمونه تنظیم کنار گذاشته شده و پروب مانند شکل ۱۸-۱۰ الف، روی سطح قطعه اصلی قرار می گیرد، در صورت برخورد امواج با عیب، پالس واکنش آن در صفحه تصویر ظاهر خواهد شد.



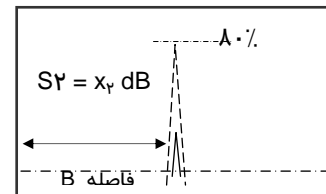
شکل ۱۰-۱۷ - الف



شکل ۱۰-۱۷ - ب



شکل ۱۰-۱۸ - ب



شکل ۱۰-۱۸ - الف

۵ - با افزایش دسی بل، پالس عیب نیز به حد ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده می شود، فاصله طی شده امواج و مقدار دسی بل افزوده شده یادداشت می گردد .

( شکل ۱۰-۱۸ - ب ،  $S_2$  و B )

۶ - دو فاصله یادداشت شده A و B ( از روی صفحه تصویر ) در واحد طول به محور افقی نمودار منتقل می گردند و از این دو نقطه دو خط به موازات محور عمودی تا تقاطع منحنی هاشور زده رسم می شود ( خطوط A و B شکل ۱۰-۱۹ )

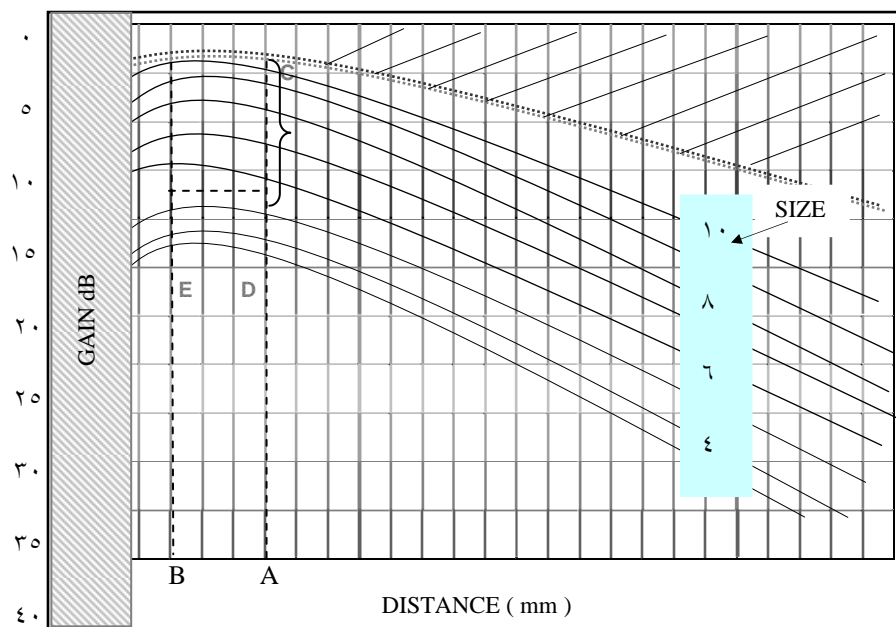
۷ - از نقطه C محل تقاطع خط عمودی سوراخ مرجع با منحنی هاشور زده ، معادل دسی بل افزوده شده در بند ۵ کسر می گردد . (  $S = S_2 - S_1$  ) و نقطه D بدست می آید.

۸ - از این نقطه خطی بموازات محور افقی رسم می شود، تا خط عمودی عیب را در نقطه E قطع نماید .

۹ - این نقطه روی یکی از منحنی ها و یا نزدیک به یکی از منحنی ها واقع شده است . ادامه منحنی به یکی از اعداد معادل اندازه عیب برخورد می نماید . عدد روی منحنی، اندازه معادل عیب خواهد بود .

چنانچه نقطه نهائی بین دو منحنی قرار گیرد ، اندازه عیب مقدار متوسط اعداد بین دو منحنی مجاور هم می باشد .





۵۰

## توضیح از روی نمودار :

در شکل ۱۹-۱۰، نمونه ای از یک نمودار D.G.S مشاهده می گردد. نقطه A فاصله طی شده امواج تا سوراخ ۳ میلی متر و نقطه B فاصله طی شده امواج تا محل عیب می باشد. از این دو نقطه دو خط عمودی رسم گردیده است.

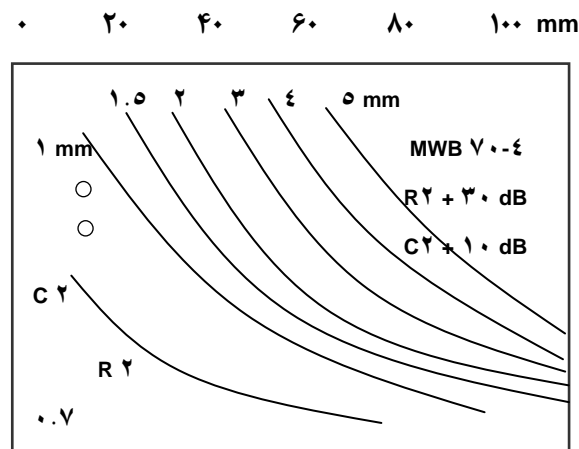
خط رسم شده از نقطه A، منحنی هاشور زده (بی نهایت) را در نقطه C قطع نموده است. از این نقطه به اندازه تفاوت دسی بل (S<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>)، پائین آمده و نقطه D بدست می آید.

از نقطه D، یک خط به موازات محور افقی رسم شده و نقطه E بدست آمده است. نقطه E بین دو منحنی ۳ و ۲ میلی متری قرار گرفته و اندازه عیب معادل ۲/۵ میلی متر خواهد بود.

\*

بعضی از سازندگان پروب ، یک نمودار DGS مختص به هر پروب ، همراه با اطلاعات کاملی از ویژگی های آن تهیه و ارائه می کنند . بعلاوه نمودار های مخصوصی از جنس پلاستیک شفاف و خشک، جهت انطباق به انواع صفحات تصویر تهیه می گردد که مشخصات پروب ، مرجع مقایسه و طول محور افقی روی نمودار نوشته می شود .

در شکل ۲۰-۱۰ ، یک نمونه از نمودار قابل اتصال به صفحه تصویر بعضی از دستگاه های آلتراسونیک مشاهده می گردد . این نمودار مخصوص یک پروب کوچک<sup>۱</sup> زاویه ای ۷۰ درجه ۴ مگاهرتز است که انواع آن برای هر پروب در اندازه های متفاوتی، مخصوص به هر دستگاه آلتراسونیک طراحی و ارائه می شوند



شکل ۲۰-۱۰

R۲ - حد ارتفاع پالس برگشت از قوس ۲۵ میلی متری نمونه ۷۲

C۲ - حد ارتفاع پالس برگشت از سوراخ ۳ میلی متری نمونه ۷۲

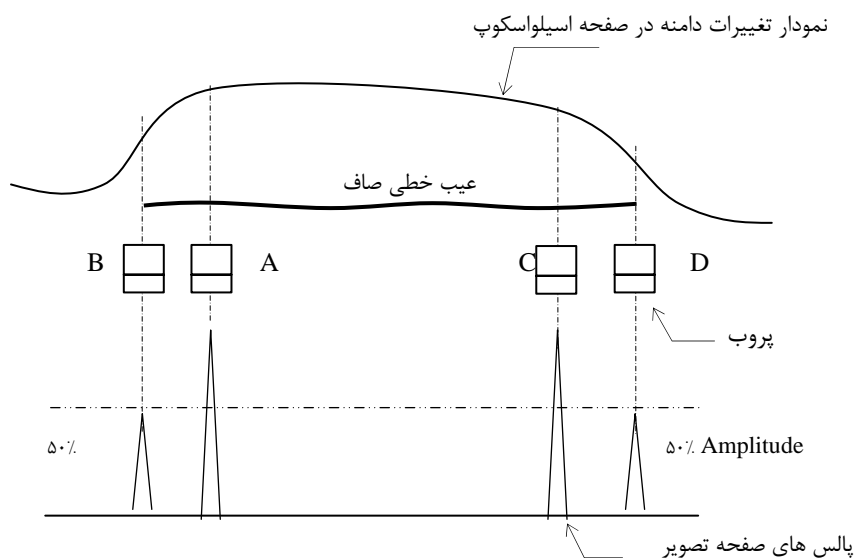
در زمان تنظیم با این نمودار، پالس برگشت از قوس ۲۵ میلی متری نمونه ۷۲ به ارتفاع R۲ رسانده شده و سپس معادل ۳۰ دسی بل آمپلی فایر تقویت می گردد. در چنین حالتی درجه حساسیت تنظیم، معادل تنظیم با یک سوراخ به قطر ۳ میلی متر خواهد بود .

۱ - Miniature Probe

## ۳ - تکنیک افت ۶ دسی بل (Six dB drope)

بطوری که در بخش تکنیک های پوشش مطرح گردید، در نتیجه برخورد مستقیم امواج با یک عیب خطی صاف، پالس واکنش آن، منظم و یکنواخت با دامنه ای بلند در صفحه تصویر ظاهر می شود. در چنین حالتی اگر نیمی از پرتو امواج با این عیب برخورد کنند، ارتفاع پالس آن معادل با انرژی ۶ دسی بل کوتاهتر می گردد.

در شکل ۲۱-۱۰، تغییرات دامنه یک عیب خطی صاف مشاهده می شود که با تغییر مکان طولی پروب، پالس واکنش آن به شکلی منظم، نوسانی صعودی و نزولی داشته است. برای تعیین اندازه هر عیبی که چنین واکنشی را سبب می شود، از تکنیک افت ۶ دسی بل استفاده خواهد شد. در تکنیک افت شش دسی بل، ارتفاع پالس منعکس شده از نصف طیف امواج، با پالس منعکس شده از تمام طیف امواج، مورد مقایسه قرار می گیرد.



شکل ۲۱-۱۰

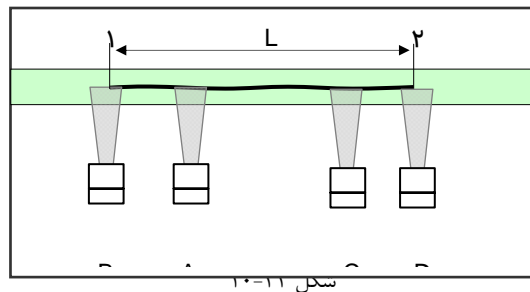
## اندازه گیری طول عیوب :

با شناختی که از ویژگی های تکنیک افت ۶ دسی بل بدست آمد، می بینیم این تکنیک مناسبترین روش برای اندازه گیری طول عیوب خطی صاف مانند فقدان ذوب، نفوذ ناقص و ناخالصی از نوع سرباره های خطی طویل ( بدون دندان ) می باشد .

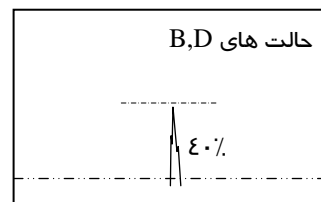
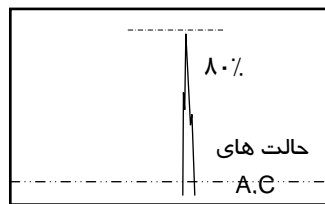
## مراحل اندازه گیری :

- ۱- محور افقی صفحه تصویردستگاه آلتراسونیک با یکی از نمونه های استاندارد و پروب مورد استفاده تنظیم می گردد .
- ۲- پروب در حالت A شکل ۲۲-۱۰، در مقابل عیب قرار می گیرد و حداکثر ارتفاع پالس واکنش امواج در برخورد با عیب، به حد ( مبنا )،  $80\%$  ارتفاع صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک رسانده می شود .
- ۳- پروب به آرامی به سمت چپ عیب حرکت داده شده و در حالت B شکل ۲۲-۱۰ قرار می گیرد . در این حالت نیمی از پرتو امواج با عیب در تماس می باشند و ارتفاع پالس آن به نصف خواهد رسید ( پالس B شکل ۲۳-۱۰ ) .
- ۴- در مقابل مرکز انتشار امواج پروب، روی قطعه علامت زده می شود ، این نقطه مرز پایانی سمت چپ عیب خواهد بود ( نقطه ۱ ، شکل ۲۲-۱۰ ) .
- ۵- پروب به سمت راست عیب حرکت داده شده و قبل از رسیدن پروب به مرز پایانی، در حالت C شکل ۲۲-۱۰ قرار می گیرد. در این حالت نیز پس از بدست آمدن بلندترین پالس، ارتفاع آن به حد  $80\%$  ارتفاع صفحه تصویر رسانده می شود .
- ۶- پروب به آرامی بسمت انتهای عیب حرکت داده می شود تا در حالت D شکل ۲۲-۱۰ قرار گیرد. در این حالت نیز نیمی از پرتو امواج با عیب در تماس بوده و ارتفاع پالس آن به نصف خواهد رسید ( پالس D شکل ۲۳-۱۰ ) .
- ۷- در مقابل مرکزانتشار امواج پروب علامتگذاری شده و مرز پایانی عیب در این سمت بدست می آید ( نقطه ۲، شکل ۲۲-۱۰ ) .
- ۸- دو نقطه علامت گذاری شده ۱ و ۲ ، به هم وصل می شوند و طول عیب روی سطح کار مشخص می گردد ( شکل ۲۴-۱۰ ) .

- باید توجه نمود که در دو مرحله ۳ و ۶، چنانچه نصف شدن ارتفاع پالس به علت واکنش نیمی از پرتو امواج در برخورد با عیب باشد، با افزایش شش دسی بل، ارتفاع آن باید به حد ارتفاع مرجع (۸۰٪) برسد. در غیر اینصورت آزمایش با دقت بیشتری تکرار می گردد.

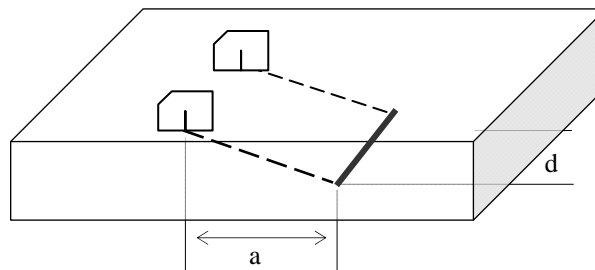


شکل ۱۰-۲۱



شکل ۱۰-۲۳

با داشتن دو فاکتور فاصله پالس عیب در صفحه تصویر و زاویه پروب و به کمک رسم شماتیک مقطعی قطعه، عمق و موقعیت عیب قابل اندازه گیری می باشد (شکل ۱۰-۲۴).



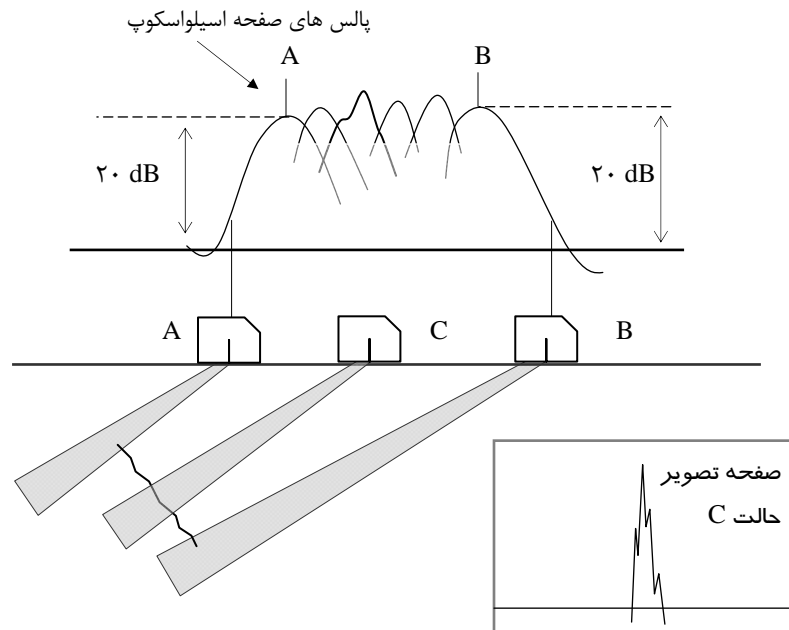
شکل ۱۰-۲۴

## ۴ - تکنیک افت ۲۰ دسی بل ( ۲۰ dB drope )

همانطور که بخش حوزه های صوتی گفته شد، ارتفاع پالس واکنش از یک مانع در ناحیه افت ۲۰ دسی بل ، نسبت به مرکز انتشار امواج پروب ۹۰٪ کاهش می یابد . از این مزیت برای اندازه گیری طول و عمق انواع عیوب خطی و غیرخطی استفاده می شود .

اما این تکنیک بیشتر برای اندازه گیری عیوب خطی دنداندار مانند ترک و یا عیوب غیر خطی ناهموار نظیر ناخالصی سرباره در جوش ها کاربرد دارد که فرآیند انجام آن با هر دو تکنیک پوشش عمقی و طولی قابل اجرا خواهد بود .

در شکل ۲۵-۱۰، تغییرات دامنه نوسان امواج در برخورد با یک ترک ( عیب دنداندار ) مشاهده می گردد که به علت برخورد امواج با عمق دنداندارها ، تغییرات دامنه پالس ها یکسان دیده نمی شود .



شکل ۲۵-۱۰

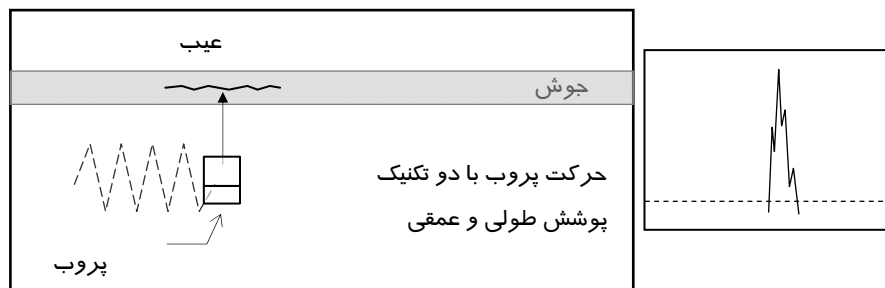
**روش اندازه گیری :**

برای تعیین طول عیب از تکنیک پوشش طولی و برای تعیین بعد عمقی عیب از تکنیک پوشش عمقی استفاده می شود که در ادامه به شرح مراحل اندازه گیری بعد عمقی با این روش پرداخته می شود :

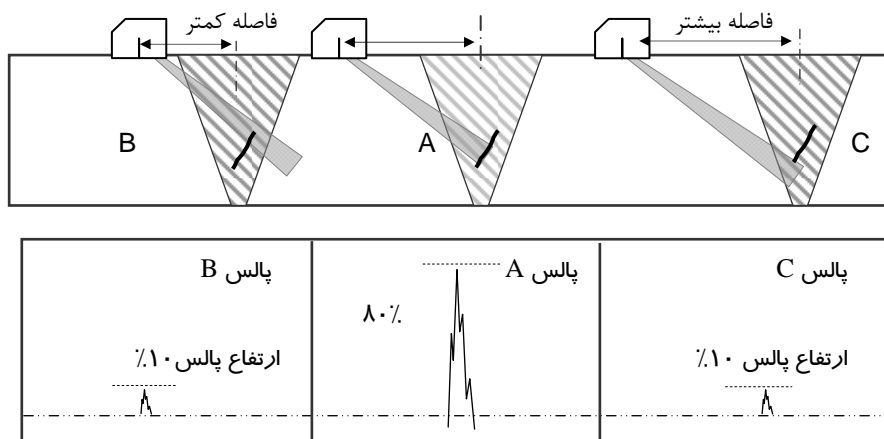
**مراحل اندازه گیری :**

- ۱ - محور افقی صفحه تصویردستگاه آلتراسونیک و مرکز انتشار امواج پروب مورد استفاده، با نمونه استاندارد ۷۱ بدقت تنظیم و تعیین می گردند .
  - ۲ - پروب مانند شکل ۲۶-۱۰ ، در امتداد طولی جوش قرار داده شده و همراه با حرکت زیگزآگ، امواج به سمت جوش ارسال می گردد . در لحظه برخورد امواج با عیب ، پالس واکنش انعکاسی آن در صفحه تصویر ظاهر خواهد شد .
  - ۳ - با حرکت آرام پروب در محدوده عیب ، حد اکثر ارتفاع پالس بدست می آید ، ارتفاع آن به حد ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده می شود ( حالت A - شکل ۲۷-۱۰ ) .
  - ۴ - با حرکت آرام پروب به سمت جلو، بتدریج امواج کمتری با عیب برخورد نموده و در یک لحظه ارتفاع پالس آن به حد ۱۰٪ ارتفاع مرحله ۳ خواهد رسید . در این حالت ناحیه افت ۲۰ دسی بل امواج با کناره عیب در تماس است . در مقابل مرکز پروب روی قطعه کار علامت زده شده و فاصله آن از روی صفحه تصویر یادداشت می گردد ( حالت B در شکل ۲۷-۱۰ ) .
  - ۵ - پس از برگشت پروب به حالت A شکل ۲۷-۱۰ ، پروب به آرامی از جوش فاصله داده می شود ، تا مجددا ارتفاع پالس آن به ۱۰٪ برسد. در مقابل مرکز پروب روی سطح کار علامت زده و فاصله آن از روی صفحه تصویر یادداشت می گردد ( حالت C شکل ۲۷-۱۰ ) .
  - ۶ - شماتیک مقطعی قطعه رسم می شود. با داشتن دو فاکتور فاصله و زاویه پروب، موقعیت و عمق عیب بدست می آید ( شکل ۲۸-۱۰ ) .
- توضیح ۱ : برای اندازه گیری طول عیب ، از تکنیک پوشش طولی استفاده می شود که شش مرحله فوق با حرکت طولی پروب تکرار می گردند .

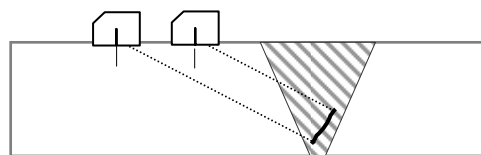
توضیح ۲: چنانچه ارتفاع پالس های بند ۴ و ۵، نشان دهنده مرز ابتدا و انتهای عیب باشند، با افزایش ۲۰ دسی بل، ارتفاع پالس ها به ارتفاع معادل ۸۰٪ (بند ۳) خواهند رسید.



شکل ۱۰-۲۶



شکل ۱۰-۲۷

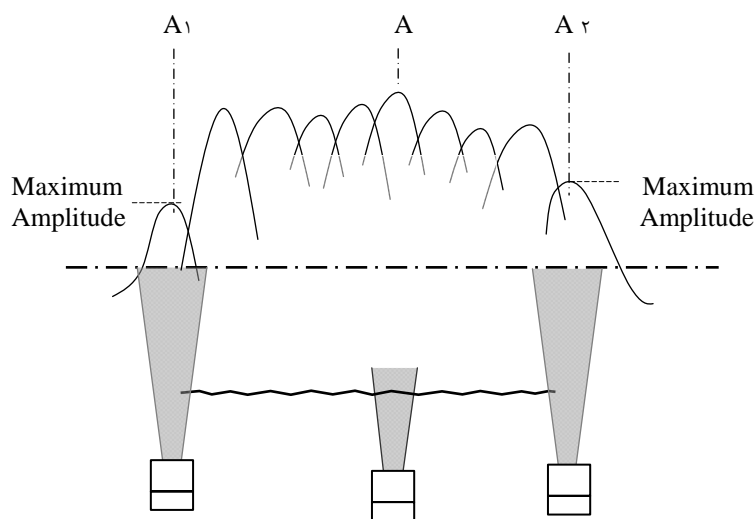


شکل ۱۰-۲۸، شماتیک مقطع جوش



## ۵ - تکنیک حداکثر دامنه ( Maximum Amplitude Technique )

در روش حداکثر سازی دامنه ، ارتفاع آخرین پیک ( دندان ) پالس واکنش امواج در حاشیه کناری عیب بطور مجزا و بدون مقایسه با پالس دیگری ، تحت بررسی قرار می گیرد . چنانچه این پالس آخرین پیک پالس عیب باشد ، می توان آنرا بطور منفک به حداکثر ارتفاع رسانده و انتهای عیب را بدست آورد . این تکنیک بدلیل اینکه فقط آخرین پیک منفک از یک پالس مورد جستجو قرار می گیرد، مناسبترین روش برای تعیین دقیق اندازه عیوب خطی دندان دار و عیوب غیر خطی نامنظم در جوش ها می باشد . قبل از شروع آزمایش، مرکز انتشار امواج پروب باید بطور دقیق تعیین شده باشد و با استفاده همزمان از کلیه تکنیک های پوشش، آخرین واکنش امواج در برخورد با مرز نهائی عیب مورد ارزیابی قرار می گیرد ( شکل ۱۰-۲۹ ) .



شکل ۱۰-۲۹

## مراحل اندازه گیری :

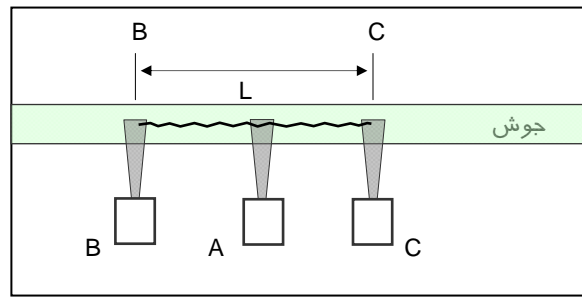
به منظور تعیین طول عیبی مانند ترک، پیک های پالس واکنش امواج در دو انتهای ترک به حداکثر ارتفاع ممکن رسانده شده و آخرین پیک منفکی که در صفحه تصویر دیده شود، مورد ارزیابی قرار می گیرد .

## شرح مراحل :

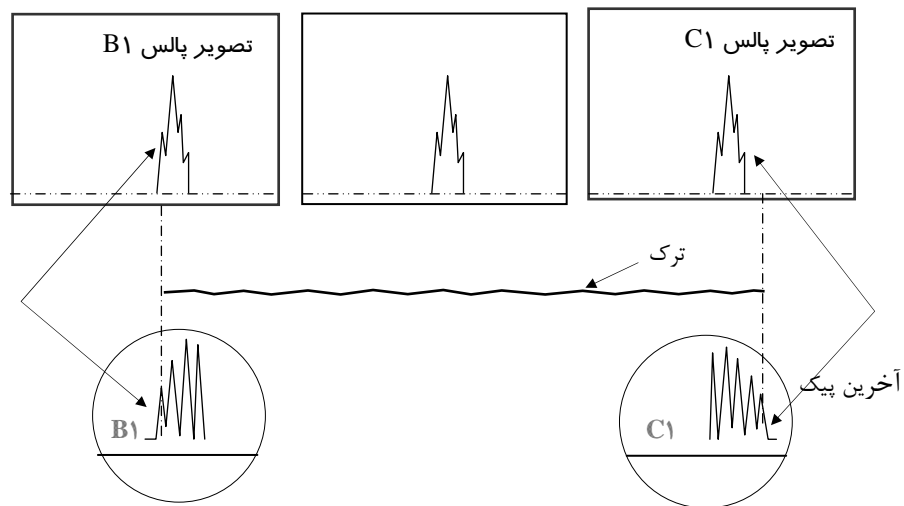
- ۱ - محور افقی صفحه تصویردستگاه آلتراسونیک و مرکز انتشار امواج پروب مورد استفاده، با نمونه استاندارد V1 بدقت تنظیم و تعیین می گردند .
- ۲ - با حرکت پروب روی سطح کار و مشاهده پالس عیب در صفحه تصویر، ارتفاع آن به حد معینی از ارتفاع صفحه تصویر رسانده می شود ( پروب A ، شکل ۳۰-۱۰) .
- ۳ - پروب در یک سمت عیب به آرامی حرکت داده می شود . قبل از خروج طیف امواج از کنار عیب ، آخرین پیک قابل ملاحظه عیب، با حد اکثر ارتفاع بدست می آید. در این مرحله برای رؤیت آخرین پیک، ممکن است پالس عیب تا ۱۴ دسی بل تقویت گردد ( پیک B1 شکل ۳۱-۱۰) .
- ۴ - در مقابل مرکز پروب ، روی قطعه کار علامتگذاری شده و فاصله مرکز انتشار امواج پروب تا عیب ( Beam path ) یادداشت می گردد ( نقطه B ، شکل ۳۰-۱۰) .
- ۵ - پروب به سمت دیگر عیب حرکت داده می شود. قبل از خروج طیف امواج از کنار عیب، آخرین پیک قابل ملاحظه عیب، در این سمت نیز با حد اکثر ارتفاع بدست می آید ( پیک C1 شکل ۳۱-۱۰) .
- ۶ - در مقابل مرکز پروب روی قطعه علامت زده شده و فاصله طی شده امواج یادداشت می گردد ( نقطه C ، شکل ۳۰-۱۰) .
- ۷ - روی قطعه، دو نقطه علامتگذاری شده ، بهم متصل و طول عیب ( L ) بدست می آید .

## توضیح :

برای اندازه گیری سایر مختصات عیب ، نمودار مقطع جوش بطور دقیق و معادل ابعاد واقعی اتصال رسم می شود . پس از انتقال اطلاعات بدست آمده روی نمودار، ابعاد و موقعیت عیب خواهد آمد .



شکل ۱۰-۳۰



شکل ۱۰-۳۱

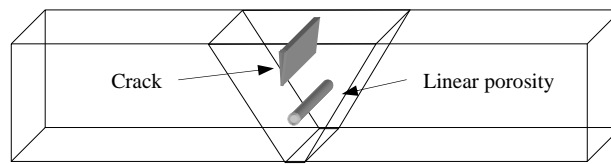
در شکل ۱۰-۳۱، تصویر بزرگنمایی شده آخرین پیک ها، از دو سمت یک ترک مشاهده می گردد. هرپالس پس از برخورد امواج با شاخه های ریز و نهائی ترک، بصورت یک پیک منفک در صفحه تصویر شکل می گیرد. چنین پیک های ریزی در حالت عادی قابل تشخیص نبوده و فقط با تکنیک حداکثر سازی دامنه، و تمرکز امواج در انتهای ترک، پیک های منفرد، قابل تفکیک خواهند شد.

## تأثیر شدت واکنش ( Decay Technique )

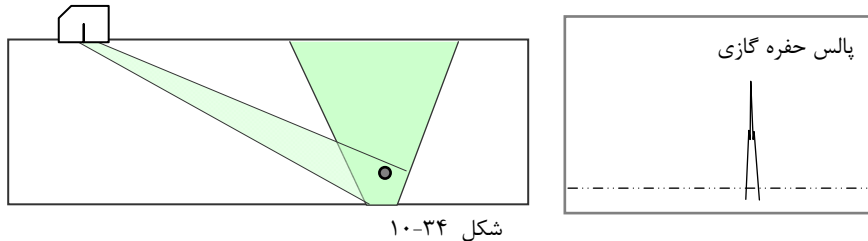
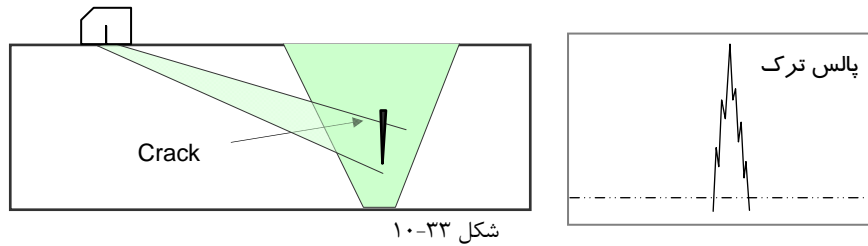
با نتیجه گیری از انواع تکنیک ها می بینیم، شدت انعکاس امواج به سطح مقطع و شکل هندسی عیوب بستگی دارد. هر چه سطح مقطع بزرگتر و پراکندگی امواج کمتر باشد، پالس واکنش انعکاسی بلندتر دیده خواهد شد.

به عنوان مثال دامنه انعکاس امواج از عیبی مانند ترک ( Crack ) به عرض یک ، طول ۲۰، و بعد عمقی سه میلی متر، به مراتب بیشتر از انعکاس امواج از یک عیب خطی مانند حفره گازی طویل، به طول ۲۰ و قطر دو میلی متر خواهد بود ( شکل ۱۰-۳۲ ).

مقایسه ابعاد دو عیب  $20 \times 3 \times 1 > 20 \times 2$



شکل ۱۰-۳۲، نمای سه بعدی جوش، ترک و حفره گازی



در شکل ۳۳-۱۰، امواج با سطح مقطع یک ترک برخورد نموده و پالس انعکاس آن با دامنه بلند در صفحه تصویر ظاهر شده است. اما در شکل ۳۴-۱۰، امواج با سطح جانبی یک حفره گازی طولی در تماس می باشد. در این حالت علاوه بر سطح مقطع کمتر، انحنای حفره نیز سبب پراکندگی امواج از دو سمت عیب شده و پالس کوتاهتری از برخورد امواج با بخش مرکزی عیب در صفحه تصویر دیده می شود.

#### مقایسه دو حالت :

چنانچه ارتفاع پالس واکنش از دو عیب جداگانه به حد ۸۰٪ صفحه تصویر رسانده شود، با کم کردن ۶ و ۱۲ دسی بل، برای هر کدام از دو عیب، نتایج زیر به دست می آید :

#### الف - واکنش ترک :

با کم کردن ۶ دسی بل، ارتفاع پالس ترک کمی کوتاهتر می شود و با کسر ۱۲ دسی بل، پالس آن با ارتفاعی بیش از ۵۰٪ ارتفاع اولیه در صفحه تصویر باقی خواهد ماند .

#### ب - واکنش حفره گازی طولی :

با کم کردن ۶ دسی بل، ارتفاع پالس حفره گازی بیش از ۵۰٪ ارتفاع اولیه کوتاهتر شده و با کسر ۱۲ دسی بل، ارتفاع آن به حد پالس های چمنی خواهد رسید .

#### نتیجه گیری :

در زمان آزمایش آلتراسونیک و مشاهده پالس عیب، می توان از طریق مقایسه افت ارتفاع پالس در مقابل حدکاهش دسی بل، مقیاسی برای اندازه گیری عیب تعیین نمود. در استاندارد AWS,D1.1 از این خاصیت استفاده شده و فیول و یا رد عیوب بر پایه سطح مقطع آنها ارزیابی می گردد . برای این منظور، پس از تعیین حد دسی بل مرجع ( Reference Level )، ارزیابی ارتفاع هر پالس واکنش از عیوب نسبت به کاهش دسی بل مقایسه می شود . طبیعی است که در لحظه کاهش دسی بل ، هر چه سطح مقطع عیب کمتر باشد، افت ارتفاع بیشتر خواهد بود . جزئیات کامل این روش که به Decay Technique موسوم است، در بخش آزمایش آلتراسونیک جوش های اجزاء ساختمانی بطور کامل شرح داده خواهد شد .

## تفسیر پالس های صفحه تصویر

در بحث تکنیک های پوشش ، انواع روش های برخورد امواج با عیوب شرح داده شد و دیدیم که هر گونه تغییر در زاویه و جهت انتشار امواج و همچنین شکل هندسی عیوب، موجب تغییر دامنه و شکل پالس در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک خواهد شد . بنابراین چنانچه جهت و زاویه تابش مشخص باشد ، با تفسیر حالت هر پالس در صفحه تصویر می توان به بعضی از ویژگی های هندسی عیوب پی برد . برای فراهم شدن مقدمات تفسیر عیوب ، لازم دیده شد تا در ابتدای این بخش انواع پالسهای واکنش عیوب در صفحه تصویر مورد بررسی قرار گیرند و هر پالس در قالب مجموعه ای از تغییرات و واکنش ها با مدل مشخصی به شرح زیر تعریف گردد :

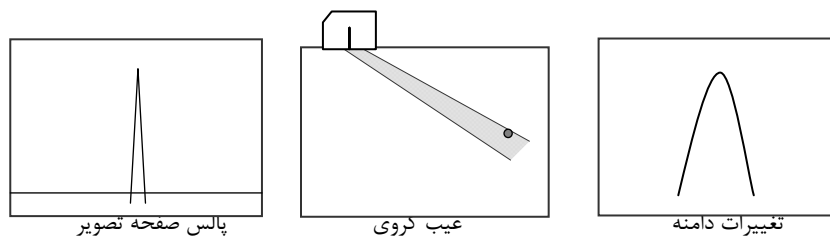
## مدل پالس ها

**تعریف :** به منظور سهولت در مراجعات بعدی ، به هر نوع علامتی که در نتیجه واکنش امواج در برخورد با مانع و یا عیب در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک ظاهر شود، یک مدل پالس گفته می شود . هر پالس با مشخصاتی مانند دامنه ، عرض ، تعداد نوسانات و دندانهای آن از دیگر پالس ها متمایز می گردد و چون هر مدل پالس دارای ویژگی خاصی می باشد، با شماره مدل معرفی می گردد .

برای معرفی انواع مدل پالس ها، خصوصیات سه ویژگی اصلی شامل مقطع تابش امواج، نمای پالس در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک و مدل نوسان دامنه امواج در صفحه اسیلواسکوپ ( مدار سویچ ) مورد بررسی قرار می گیرند. برای تعریف هر مدل ممکن است از چند تکنیک پوششی بطور مجزا و یا همزمان استفاده گردد .

انواع مدل پالس ها :الف - پالس مدل یکخصوصیات :

- ۱ - این مدل پالس ، از برخورد امواج، با عیوب گرد و کروی بوجود می آید .
- ۲ - دامنه پالس مدل یک ، با یک سیکل صعودی و نزولی سریع و بدون تأخیر زمانی انجام می گیرد ( شکل ۱-۱۱).
- ۳ - شکل پالس مدل یک، در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک بصورت پالسی باریک، بدون دندانه و نسبتاً بلند دیده می شود .
- ۴ - با تکنیک پوشش طولی، چرخشی و عمقی، ارتفاع پالس مدل یک پس از افت شدید و آنی محو می گردد ( بجز برای عیوب لوله ای ) .
- ۵ - با تکنیک پوشش دورانی، تغییری در شکل پالس بوجود نمی آید .



شکل ۱ - ۱۱

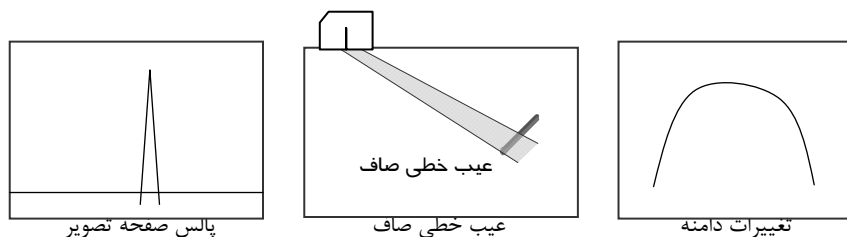
ب - پالس مدل دوخصوصیات :

- ۱ - این مدل پالس از برخورد امواج، با عیب خطی صاف حاصل می گردد ( شکل ۲-۱۱) .
- ۲ - دامنه پالس مدل ۲ ، با یک سیکل صعودی و نزولی یکنواخت اما با تأخیر زمان طولانی و آرام صورت می گیرد .

۳- شکل ظاهری پالس مدل ۲ در صفحه تصویر آلتراسونیک، مشابه پالس مدل یک، اما با عرض بیشتری دیده می شود .

۴- با تکنیک پوشش طولی ، تغییرات اندکی ( مثبت و منفی ۴ دسی بل ) در ارتفاع پالس مدل دو مشاهده می شود، که ارتفاع آن، با تکنیک های پوشش چرخشی و دورانی، با افت شدید همراه خواهد بود .

۵- با تکنیک پوشش عمقی، تغییرات ارتفاع پالس این مدل به زاویه، عمق و جهت عیب بستگی خواهد داشت .



شکل ۲-۱۱

### ج - پالس مدل سه

#### خصوصیات :

۱- این نوع مدل پالس از برخورد امواج با عیوب ناهموار و نامنظم مانند ناخالصی های سرباره فلزی و غیرفلزی شکل می گیرد .

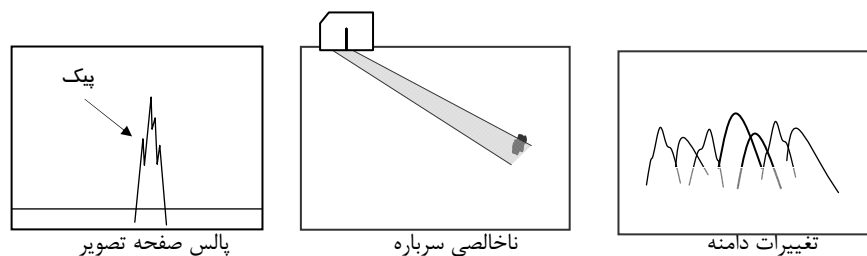
۲- دامنه پالس مدل ۳ با چند سیکل صعودی و نزولی متناوب و سریع همراه است .

۳- شکل پالس این مدل در صفحه تصویر آلتراسونیک، بصورت دندانه ای با کنگره های ریز ظاهر می گردد ( شکل ۳-۱۱ ) .

۴- با تکنیک های پوشش طولی ، چرخشی و عمقی، ارتفاع پالس با افت تدریجی همراه است اما در حالت دورانی ممکن است افت پالس از شدت بیشتری برخوردار باشد.

۵- با تغییر و جابجائی اندک پروب، دامنه پیک های هرپالس بتناوب با تغییر شدتی بین ۴ تا ۶ دسی بل در نوسان خواهند بود .



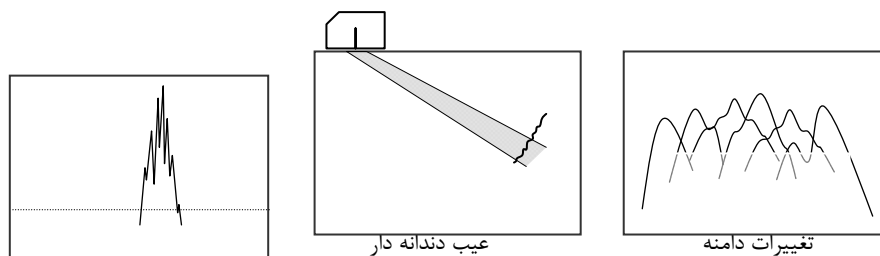


شکل ۱۱-۳

### د - پالس مدل چهار

#### خصوصیات :

- ۱ - این نوع مدل از برخورد امواج، با عیب درشت دندان و بسیار ناهموار بدست می آید.
- ۲ - تغییرات دامنه پیک ها، به شکلی نامنظم با نوسانات تکراری دیده می شوند و در هر پالس چند پیک با نوسانات متناوبی در حال صعود و نزول خواهند بود .
- ۳ - در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک، پالس مدل ۴ ، به شکلی نامنظم، با پیک های متعدد و کنگره دار ظاهر می گردند ( شکل ۴-۱۱) .
- ۴ - با جابجائی اندک پروب ، پیک ها به تناوب کوتاه و بلند می گردند، بطوری که، تفاوت انرژی بین نوسانات پیک ها، حداقل ۶ دسی بل خواهد بود .
- ۵ - با کلیه تکنیک های پوششی، واکنش امواج شدید بوده و هیچگاه ارتفاع پالس از ۷۰٪ ارتفاع اولیه کمتر نخواهد شد.
- ۶ - با دوران بیش از ۷۵ درجه پروب، پالس با افت سریع همراه است .

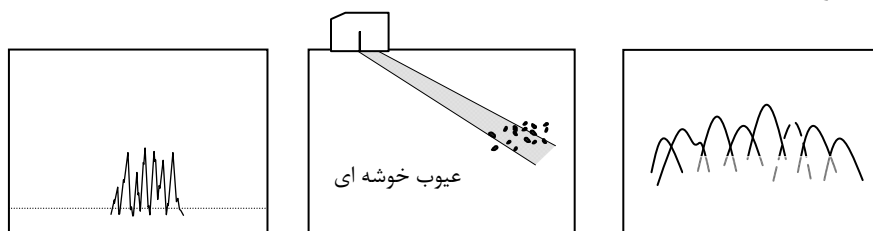


شکل ۱۱-۴

## ۵ - پالس مدل پنج

### خصوصیات :

- ۱- چنین پالسی از برخورد امواج با چند عیب ریز و مجتمع ( خوشه ای ) مانند حباب های گازی مجتمع در حوضچه جوش، شکل می گیرد ( شکل ۵-۱۱ ) .
- ۲ - تغییرات دامنه پالس مدل ۵ ، بصورت نوسانات متعدد و ریز با دامنه های کوتاه و نابرابر دیده می شوند .
- ۳ - در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک ، پالس های تکراری، منفک ، کوتاه وبا دامنه های متفاوت ظاهر خواهند شد .
- ۴ - با کلیه تکنیک های پوشش ، واکنش تقریباً مشابهی بدست می آید .
- ۵ - اندازه گیری ابعاد هر عیب بطور مجزا غیرممکن است و فقط می توان محدوده حجم عیوب را اندازه گیری نمود .



شکل ۵-۱۱

### مدل پالس های مجازی :

- پالس های مجازی و غیر واقعی به شکل های متفاوتی در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک دیده می شوند، اما بعضی از مشخصات بارز آنها را می توان در چند مدل زیر معرفی نمود :
- پالس مجازی مدل ۱ و ۲ ، غالباً به علت واکنش های انکساری ناخواسته ( تبدیل موج )، با ارتفاع بلند دیده می شوند .
  - پالس مجازی مدل ۴ ، به علت تجمع گریس در جلوی پروب به شکل پالس ترک در ابتدای صفحه تصویر ظاهر می گردند .
  - پالس مجازی مدل ۵، ناشی از زبری سطح تماس و دانه بندی درشت در تمام طول صفحه تصویر بصورت پراکنده خواهند شد .

## نتیجه گیری از مدل ها

با توجه به شرحی که از شکل مدل پالس ها داده شد، می بینیم کوچکترین تغییر در شکل هندسی هر عیب، می تواند در انواع واکنش امواج تأثیر گذاشته و شکل پالس را تغییر دهد. بنابراین با شناخت انواع مدل ها و مطابقت دادن هر پالس صفحه تصویر با یکی از آنها، شکل هندسی عیب قابل تشخیص خواهد بود. اما قبل از تفسیر یک مدل، عوامل تأثیر گذار مانند خواص فیزیکی جسم، تکنیک پوشش، فرکانس، زاویه تابش امواج و موقعیت عیب باید مورد بررسی و مطالعه قرار گیرند.

اگرچه بعضی از این عوامل مانند تکنیک پوشش، فرکانس و زاویه تابش انتخابی بوده و کاربرد آنها به دانش فنی و مهارت بستگی دارند، اما نوع ناهمگنی ها و فاکتور های فیزیکی جسم مورد آزمایش، خارج از محدوده انتخاب و مهارت هستند و می توانند بسیاری از فرضیه های انواع مدل ها را مخدوش نمایند. مثلاً واکنش امواج در برخورد با مرز دانه های قطعات ریخته گری، پالسی مانند پالس مدل ۵ را نشان خواهد داد که مشابه واکنش امواج در برخورد با عیوب خوشه ای ریز می باشد و در صورت عدم شناخت ساختار درونی جسم، ممکن است موجب یک اشتباه در نتیجه گیری گردد.

بطور کلی و با نگاهی اصولی، قبل از شروع هر آزمایش آلتراسونیک، باید کلیه جوانب و عوامل تأثیر گذار، مورد مطالعه و بررسی قرار گیرند و اجرای آزمایش بر پایه اطلاعات دقیق انجام پذیرد. البته ذکر این نکته نیز ضروریست که هر چه ضخامت دو طرف اتصال بیشتر گردد، عرض جوش بیشتر و امکان ارسال امواج به تمام منطقه جوش نخواهد بود.

در چنین موقعیت هائی، فقط با برداشتن برجستگی روی جوش (گرده جوش) و آزمایش از روی سطح جوش نتیجه مناسب گرفته خواهد شد.

## بررسی ویژگیهای عیوب

با تکیه بر اطلاعاتی که از انواع مدل پالس ها بدست آمد، به شرح و معرفی عملکرد امواج در برخورد با انواع عیوب خواهیم پرداخت که به اشکال هندسی متنوع و مختلفی در جوش ها بوجود می آیند.

تعاریف :

به منظور واضح تر شدن شرح انواع عیوب ، هر عیب با سه مشخصه اصلی شامل نوع عیب ، نوع واکنش و روش اندازه گیری به شرح زیر تعریف می گردد :

**الف - نوع عیب**

منظور، اشاره به واژه اصلی عیوبی است که در اغلب فرآیندهای جوشکاری بوجود می آیند و در تفسیر پرتونگاری نیز با همین نام شناخته می شوند .

**ب - نوع واکنش**

اشاره به شکل و مدل پالسی است که از واکنش امواج در برخورد با عیب در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک ظاهر می گردد .

**ج - روش های اندازه گیری**

اشاره به تکنیک های متداولی است که برای اندازه گیری عیوب بکار می رود و هر کجا که به روش کنترل کیفیت اشاره گردید، منظور ارزیابی ابعاد عیوب طبق حد پذیرش استاندارد و یا مشخصه فنی می باشد.

**شرح انواع عیوب ( جوش )****۱ - عیوب لوله ای و کروی ( Piping & Spherical discontinuities )****- نوع عیب**

به انواع حباب های گازی کروی، لوله ای ( سوزنی ) و بعضی از ناخالصی های مدور گفته می شود که بدلیل انحنای سطوح جانبی ، وجهی مسطح ندارند.

به همین جهت نیز ضعیف ترین واکنش از برخورد امواج با چنین عیوبی در صفحه تصویر ظاهر می گردد .  
انواع مهم آن عبارتند از :

- Gas pore Porosity
- Piping Porosity :
- Gas Holes, Blow Holes, Pin Holes & Worm Holes )
- Longitudinal Linear Porosity, ( Hollow Beads )
- Rounded Slag Inclusion

**- انواع واکنش ها :****الف - حفره های گازی کروی :**

- با تکنیک های پوشش طولی ، عمقی و چرخشی، پالس واکنش امواج در برخورد با چنین عیبی به شکل پالس مدل یک ظاهر می شود که زمان نوسان کوتاهی دارد و با کوچکترین جابجائی پروب، ارتفاع آن با افت شدید روبرو خواهد شد (پروب های A,B,C ، شکل ۱۱-۶)

- با تکنیک پوشش دورانی، امواج با شدت یکنواخت به عیب برخورد خواهند نمود و پالس واکنش آن به شکل پالس مدل یک و به حالت ثابت در صفحه تصویر دیده خواهد شد.  
( پروب D ، شکل ۱۱-۶ ) .

**ب - حفره های گازی طویل :**

این نوع حفره های گازی معمولاً در جوشکاری اتصالات لب به لب یک طرفه<sup>۱</sup> شیاری V شکل بوجود می آیند که اغلب به شکل حفره طولی در پاس ریشه دیده می شوند .

- با تکنیک پوششی طولی، پالس واکنش امواج در برخورد با محور طولی این عیب به شکل پالس مدل یک در صفحه تصویر ظاهر می گردد که صعود و نزول دامنه آن کمی با تأخیر انجام می گیرد ( پروب E شکل ۱۱-۶ ) .

- با سایر تکنیک های پوششی ، واکنش امواج مشابه برخورد با عیب کروی خواهد بود .

**ج - حفره گازی سوزنی ( لوله ای ) :**

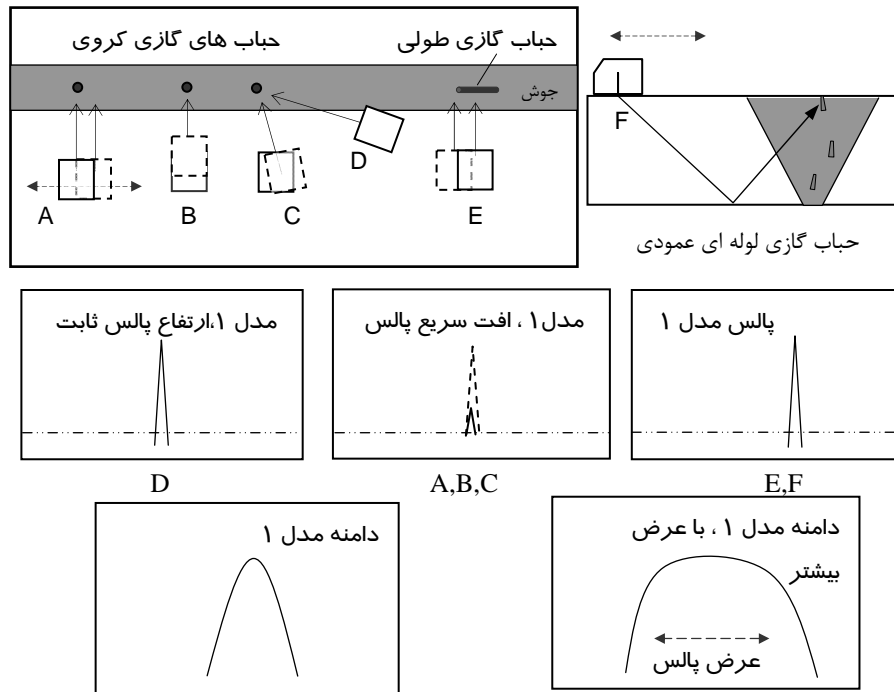
این نوع حفره گازی به علت تنوره کشیدن حباب های گازی در لحظه انجماد مذاب، در جوش بوجود می آید که به اشکال مختلفی مانند سوراخ سوزنی، کرمی و مخروطی شکل دیده می شوند . معمولاً مساحت قاعده این نوع عیب بیشتر از راس آن بوده و همین امر در تفسیر پالس ها تاثیر می گذارد .

- با تکنیک پوشش عمقی، پالس واکنش امواج در برخورد با محور عمودی این نوع عیب به شکل مدل یک با دامنه عریض دیده می شود که دامنه نوسان آن به نقطه برخورد امواج بستگی دارد ( پروب F شکل ۱۱-۶ ) .

- سایر واکنش های آن مانند برخورد با عیوب کروی خواهند بود .

---

۱ - Butt Weld , Single Sided ( V Groove )



پروب های A,B,C,D

پروب های E,F

روش های اندازه گیری

- بدلیل برخورد امواج با قوس عیب کروی و بروز پدیده انکسار، تعیین اندازه واقعی آن با روش های متداول آلتراسونیک غیرممکن می باشد و تنها از طریق مقایسه و استفاده از منحنی DGS، می توان قطر معادل آن را تعیین نمود.
- برای تعیین اندازه عمق و یا طول حفره های گازی لوله ای شکل (عمودی و افقی)، علاوه بر روش مقایسه ای می توان از تکنیک های افت دسی بل نیز استفاده نمود.
- در روش کنترل کیفیت، حد پذیرش عیب از طریق مقایسه ارتفاع پالس آن با پالس یک عیب مصنوعی (مرجع) و یا مقایسه ارتفاع پالس آن با ارتفاع منحنی DAC تعیین می گردد.

## ۲ - عیوب خطی کوتاه / نقطه ای ( Planar Point Defects )

### - نوع عیب

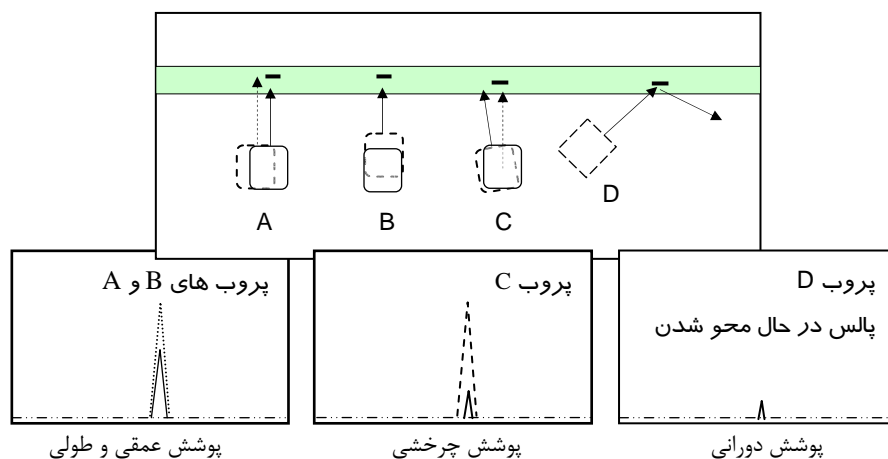
این نوع عیب به شکل یک نقطه سه بعدی مسطح ، با طول ، عرض و عمق بسیار کم و کوتاه دیده می شود که معمولاً طول آن از سه برابر عرض و یا عمق عیب کمتر است .  
انواع مهم آن عبارتند از :

- Small Lack of Side-wall Fusion
- Planar Point Slag Inclusions
- Small Points of L.o.P
- Small Under-cuts

### - انواع واکنش ها

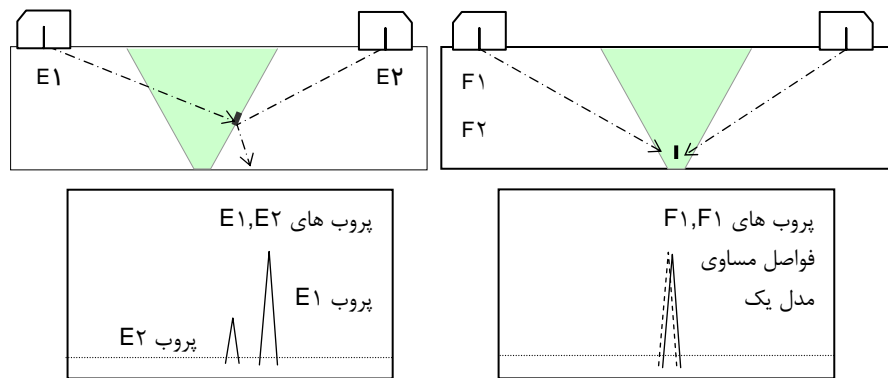
- با تکنیک های پوششی طولی و عمقی ، پالس واکنش امواج در برخورد با این عیب به شکل پالس مدل یک دیده خواهد شد که صعود و نزول دامنه آن کمی با تأخیر ( Delay ) همراه می باشد ( پروب های A,B شکل ۷-۱۱ - الف ) .

- در حرکت چرخشی پروب ، پالس واکنش عیب مانند پالس مدل یک دیده می شود که صعود و نزول دامنه آن لحظه ای ( آنی ) صورت گرفته و با حرکت دورانی پروب پالس آن محو خواهد گردید ( پروب های C,D ، شکل ۷-۱۱ - الف ) .



شکل ۷-۱۱ - الف

- در برخورد قائم و مستقیم امواج با این عیب ، پالس واکنش آن مانند پالس مدل یک ، با حداکثر دامنه دیده می شود ( پروب E1 ، شکل ۷-۱۱-ب ) .
- در برخورد شیب دار امواج با عیب ، پدیده انکسار روی داده و پالس آن به شکل پالس مدل یک با افت شدیدی و آنی روبرو می گردد ( پروب E2 ، شکل ۷-۱۱-ب ) .
- چنانچه آزمایش از دو سمت جوش ( مقابل هم ) انجام گیرد، محل قرارگرفتن پالس عیب در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک به موقعیت عیب بستگی خواهد داشت . اگر عیب مانند فقدان نفوذ ( L.o.P ) ، در مرکز جوش باشد، محل پالس ها از دو طرف جوش در فواصل مساوی دیده می شوند ( پروب های F1, F2 ، شکل ۷-۱۱-ب ) . اما برای عیبی غیرمرکزی مانند فقدان ذوب ( L.o.F )، محل پالس های عیب از دو طرف جوش، در دو فاصله متفاوت دیده خواهند شد( پروب های E1, E2 ، شکل ۷-۱۱-ب ) .



شکل ۷-۱۱-ب

### - روش های اندازه گیری

- برای تعیین اندازه عیب مسطح و کوتاه ، از روش منحنی D.G.S استفاده می شود .
- در روش کنترل کیفیت می توان با رسم منحنی DAC و یا مقایسه ارتفاع پالس آن با پالس یک عیب مصنوعی حد قابل پذیرش عیب را تعیین نمود .



### ۳ - عیوب خطی پهن و صاف ( Longitudinal Planar Defects )

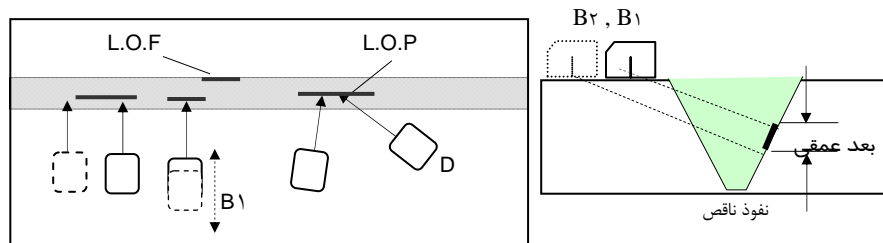
#### نوع عیب

این نوع عیب عموماً به شکل یک خط راست، کم عرض با بعد عمقی در مرز اتصال حوضچه جوش با قطعه و یا در راستای مرکزی جوش شکل می گیرد. در تصویر پرتونگاره نیز به شکل خط راست و پهن با چگالی نسبتاً تیره دیده می شود .  
انواع مهم آن عبارتند از :

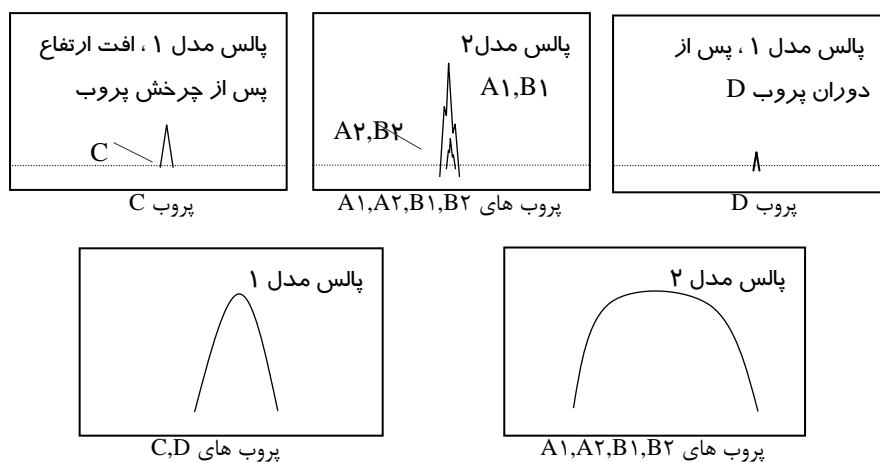
- Lack of Side Wall Fusion
- Incomplete Penetrations
- Cold laps
- Incomplete Fusion ( Lack of Inter-run Fusion )
- Under Cuts

#### نوع واکنش ها

- با تکنیک پوشش طولی، پالس واکنش امواج در برخورد مستقیم با آن به شکل پالس مدل دو دیده می شود ( پروب های A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> ، شکل ۸-۱۱ - الف و ب ) .
- چنانچه عیب دارای بعد عمقی باشد، با تکنیک پوشش عمقی، پالس واکنش آن به شکل مدل دو و در موارد نادری به شکل مدل سه دیده می شود( پروب های B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ، شکل، الف و ب )
- با تکنیک پوشش چرخشی، پالس واکنش آن به شکل مدل یک نمایان می گردد که در اثر نوسان آنی پروب، ارتفاع پالس با افت شدید همراه می باشد و در حرکت دورانی پروب، پالس آن محو خواهد شد ( پروب های C و D ، شکل ۸-۱۱ - الف و ب ) .



شکل ۸-۱۱ - الف



شکل ۸-۱۱ - ب

چنانچه آزمایش از دو طرف جوش انجام گیرد، محل قرار گرفتن پالس ها روی صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک به موقعیت عیب بستگی خواهد داشت. اگر عیبی مانند فقدان نفوذ در ریشه جوش باشد، محل پالس از دو طرف جوش در فواصل برابری دیده می شوند اما برای عیبی مانند فقدان ذوب (دیواره اتصال)، محل پالس ها از دو سمت جوش در دو فاصله متفاوت دیده خواهند شد.

### روش های اندازه گیری

- اندازه گیری طول عیوب خطی از نوع پالس مدل ۲، با روش افت ۶ دسی بل و تکنیک پوشش طولی انجام می گیرد.
- برای تعیین بعد عمقی (عیب عمق دار) از نوع مدل ۲، از تکنیک افت ۲۰ دسی بل و برای نوع مدل ۳ از تکنیک حداکثر سازی دامنه و یا تکنیک افت ۲۰ دسی بل استفاده می شود.
- در روش کنترل کیفیت، برای آن دسته از عیوب خطی که طول آنها قابل اندازه گیری باشد، طول اندازه گیری شده با طول حد پذیرش استاندارد مقایسه می گردد. برای عیوب کوچکتر، ارتفاع پالس بازتابش آنها با پالس بازتابش از عیوب مصنوعی نمونه مرجع و یا با ارتفاع منحنی DAC مقایسه و ارزیابی می شوند.

#### ۴ - عیوب خطی ریزدندانه ( Fine Thread Like Defects )

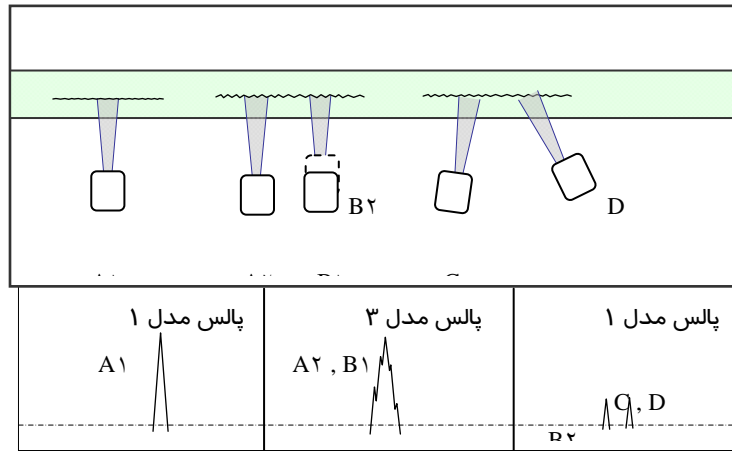
##### - نوع عیب

این نوع عیب به شکل خطی و طولی، کم عرض و بدون بعد عمقی در جوش های قوس الکتریکی دیده می شود. در تصویر پرتونگاره نیز به شکل خطوط مستقیم با ناهمواری بسیار کم و گاه منقطع، با چگالی (دنسیتی) کم ظاهر می گردد. انواع مهم آن عبارتند از:

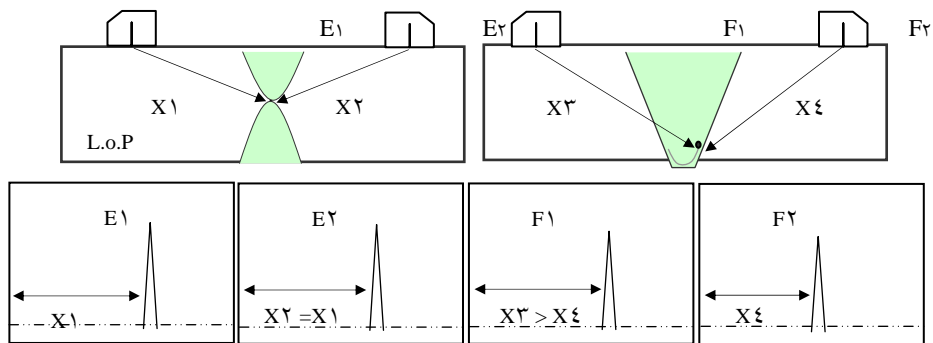
- Fine Slag Inclusions
- Elongated Slag Inclusions ( Wagon Track )
- Narrow & Tight L.o.P

##### - انواع واکنش ها

- با تکنیک پوشش طولی، پالس واکنش امواج در برخورد با این نوع عیب بیشتر به شکل پالس مدل ۱ دیده می شود ( پروب A۱، شکل ۹-۱۱-الف ).
- اما در حالت برخورد امواج با عیب خطی ریزدندانه، پالس واکنش آن ممکن است به شکل پالس مدل ۳ نیز ظاهر گردد ( پروب A۲، شکل ۹-۱۱-الف ).
- در صورت مشاهده پالس مدل ۳، برای تمیز دادن آن از عیوبی مانند ترک، باید با تکنیک پوشش عمقی حالات آن از دو سمت جوش بررسی گردد.
- چون این نوع عیب ذاتاً بدون بعد عمقی است، لذا با تکنیک پوشش عمقی پالس واکنش آن باید به شکل مدل یک، اما کوتاهتر دیده شود. در غیراینصورت عیب دارای بعد عمقی بوده و نوع آن تفاوت خواهد داشت ( پروب های B۱, B۲، شکل ۹-۱۱-الف ).
- با تکنیک پوشش چرخشی، واکنش امواج به شکل پالس مدل ۲ عمل می نماید و با افت نسبی و آرامی همراه خواهد بود ( پروب C، شکل ۹-۱۱-الف ).
- با تکنیک پوشش دورانی، ابتدا پالس مدل ۱ در صفحه تصویر ظاهر می شود که با کمترین دوران پروب، ارتفاع پالس آن به سرعت افت نموده و سپس محو خواهد شد ( پروب D، شکل ۹-۱۱-الف ).



شکل ۹-۱۱-الف



شکل ۹-۱۱-ب

- با انجام آزمایش از دو سمت جوش نتایج زیر بدست می آید :

الف - پالس های عیب مانند Narrow LoF ، به شکل مدل ۱ و در فاصله ای مساوی در صفحه تصویر دیده می شوند ( پروب های E<sub>۱</sub> و E<sub>۲</sub> شکل ۹-۱۱-ب ) .

ب - پالس های عیبی مانند Slag Line به شکل پالس مدل ۱ ، اما در فواصل متفاوتی در صفحه تصویر مشاهده خواهند شد ( پروب های F<sub>۱</sub>,F<sub>۲</sub> شکل ۹-۱۱-ب ) .

روش های اندازه گیری :

- طول عیوب خطی با دندان‌های ریز، با تکنیک افت ۶ دسی بل اندازه گیری می شود .
- اندازه گیری بعد عمقی عیوبی مانند Slag line غیرممکن است .
- برای تعیین حدپذیرش چنین عیبی ، پس از اندازه گیری طول عیب، مقدار آن با طول یک عیب خطی صاف در حد استاندارد مقایسه و ارزیابی می شود .

۵ - عیوب درشت دندان‌ها ( ترک ها )

Coarse Thread like Defects ( Cracks )

نوع عیب :

یکی از بارزترین عیوب دندان‌دار ، ترک ها می باشند که در اتصالات جوش بوجود می آیند. معمولاً ترک های اتصالات جوش در سه ناحیه زیر شکل می گیرند :

- (۱- ) فلزجوش
- (۲- ) مرز اتصال
- (۳- ) منطقه متأثر از حرارت

ترک ها ممکن است از نوع گرم به صورت شکست مرز دانه ها<sup>۱</sup> و یا از نوع سرد به صورت شکست در بین دانه ها<sup>۲</sup> روی دهد.

این نوع ترک ها در آغاز انجماد و زمانی که تنش های موضعی درونی از نیروی استحکام فلز بیشتر شود، به علت فرآیند انقباض ناشی از سرد شدن حوضچه مذاب بوجود می آیند. بعلاوه عواملی چون ناپیوستگی ها، نفوذ هیدروژن ، تنش های پس ماند و شیار های سطحی هرکدام می توانند فرآیند شکست را سبب گردند .

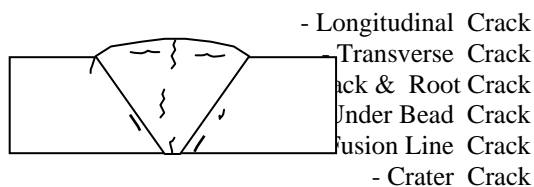
البته پدیده ترک و به تعریفی واقعی تر پدیده شکست، فقط در جوش ها خلاصه نمی شود و کلیه مواد و ادوات تحت تنش، ممکن است تحت چنین پدیده ای قرار گیرند.

از طرفی چون شکل گیری ترک با نیروی جدایش و شکست ( Fracture ) همراه است، غالباً با سطحی ناهموار، کنگره ای با دندان‌های درشت ( تیغ اره ای ) دیده می شود، که به علت برخورد امواج با ناهمواری ها و عمق دندان‌ها، واکنش های متفاوت و نابرابری را به شکل پالس های مدل ۳ و ۴ در صفحه تصویر ظاهر می سازد .

۱- Trans-granular

۲ - Inter-granular

انواع مهم :

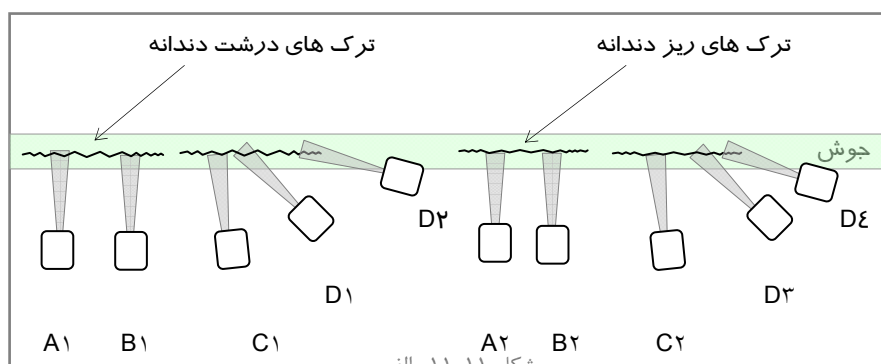


شکل ۱۱-۱۰

الف - ترک های طولی

واکنش ترک های طولی :

- با تکنیک های پوشش طولی، چرخشی و عمقی در برخورد امواج با ترک های طولی درشت دندانانه، پالس مدل ۴ دیده می شود ( پروب های A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>، شکل ۱۱-۱۱، الف و ب )
- اما در برخورد امواج با ترک های طولی ریزدندانانه، که دندانانه های کم عمقی دارند، پالس های مدل ۳ شکل می گیرد ( پروب های A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>، شکل ۱۱-۱۱، الف و ب ) .
- با تکنیک پوشش دورانی برای ترک درشت دندانانه، پالس مدل ۴ نمایان می شود که به نسبت افزایش حد دوران پروب، ارتفاع پالس ترک کوتاهتر خواهد شد. اما پس از دوران بیش از ۷۵ درجه پروب، پالس آن به نوع مدل ۲ تبدیل می گردد و در نهایت ارتفاع آن کمی بلند تر از ارتفاع پالس های چمنی در صفحه تصویر دیده خواهد شد ( پروب های D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>، شکل ۱۱-۱۱، الف و ب ) .

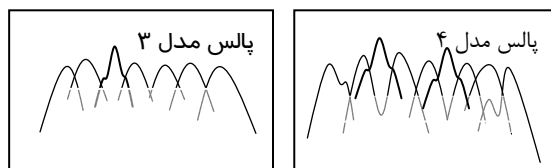


شکل ۱۱-۱۱ الف

- با تکنیک پوشش دورانی پروب، برای ترک های طولی ریزدندانه، ابتدا پالس مدل ۳ دیده می شود که همراه با دوران بیشتر پروب، از ارتفاع آن کاسته شده و پس از دوران بیش از ۷۵ درجه به نوع پالس مدل ۱ تبدیل و در نهایت محو خواهد شد ( پروب های  $D3, D4$  شکل ۱۱-۱۱-الف و ب ).  
 - در کلیه تکنیک های پوشش، تغییرات متناوبی در کنگره پالس ( پیک ها ) مشاهده خواهد شد و با تکیه بر همین خاصیت می توان حد شکست را تشخیص داد.



شکل ۱۱-۱۱-ب



شکل ۱۱-۱۱-ج

- در صورت تکرار آزمایش از سمت مقابل عیب ( سمت مقابل جوش )، تغییر محسوسی در شکل پالس واکنش امواج در برخورد با ترک دیده نخواهد شد و فقط ممکن است محل قرار گرفتن پالس در صفحه تصویر و یا در حالت پیک های پالس تفاوت هائی مشاهده شود .  
 - چنانچه ترک مرکزی باشد فواصل پالس ها در صفحه تصویر یکسان و برای ترک های غیرمرکزی ( مرز اتصال و یا ناحیه متأثر از حرارت ) فواصل پالس ها در صفحه تصویر نامساوی دیده خواهد شد .

ب - ترک های عرضی

همانطور که قبلاً در بخش تکنیک های پوشش (بخش ۹) شرح داده شد، نوع حرکت و شیوه اجرای تکنیک پوشش عرضی برای تشخیص ویژگی عیوب عرضی به شرایط سطح روی جوش بستگی دارد که سطوح روی جوش در سه حالت سطح درجه ۱، درجه ۲ و درجه ۳ تعریف گردید.

انواع واکنش ترک های عرضی :۱ - حرکت پروب در مقطع عرضی (سطح جوش درجه ۱) :

- با تکنیک های پوششی طولی و عمقی در برخورد امواج با ترک های ریزدندانه، واکنش آن به شکل پالس مدل ۳ دیده می شود (پروب های A1, B1 شکل ۱۱-۱۲-الف).

- با تکنیک پوشش چرخشی در برخورد امواج با ترک های عرضی ریز دندانه، پالس مدل ۳ دیده می شود که دامنه آن نسبت به پوشش طولی شش دسی بل کوتاهتر خواهد بود (پروب، C1، شکل ۱۲-۱۱-الف).

- با تکنیک های پوشش طولی، عمقی و چرخشی، در برخورد امواج با ترک های درشت دندانه، واکنش هائی به شکل پالس مدل ۴ دیده می شوند، اما دامنه پالس های آن در حرکت چرخشی با حداقل ۶ دسی بل افت روبرو خواهد شد. با حرکت دورانی، ابتدا پالس مدل ۳ و در تداوم حرکت پالس آن محو می گردد.  
(پروب های A2, B2, C2، شکل ۱۱-۱۲-الف).

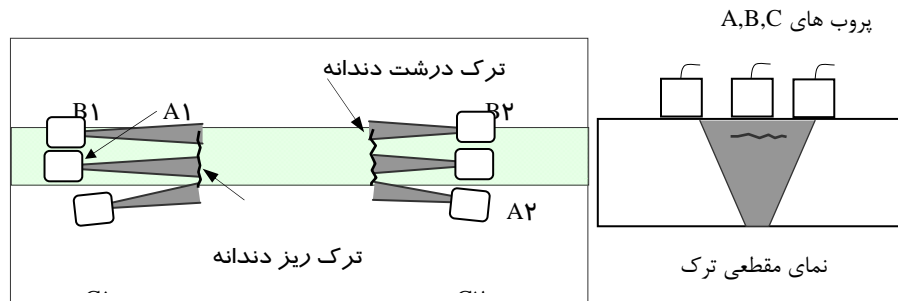
۲- حرکت پروب در مقطع عرضی (سطح جوش درجه ۲) :

- با تکنیک های پوششی طولی (محدود) و عمقی در برخورد امواج با ترک های ریز دندانه، پالس واکنش های آن به شکل مدل ۳ و در برخورد با ترک های درشت دندانه به شکل پالس مدل ۴ دیده می شوند (پروب های A3, B3 و A4, B4 شکل ۱۱-۱۲-ب).

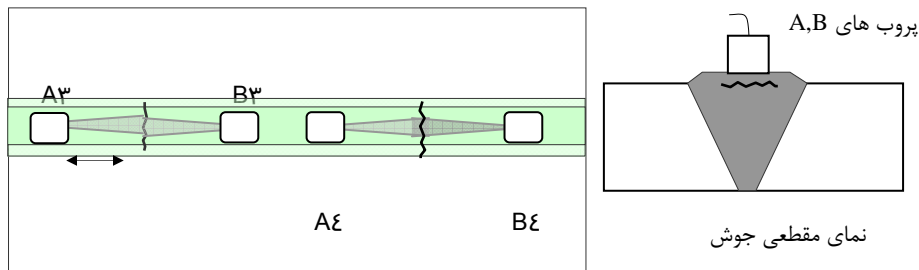


## ۳ - حرکت پروب در مقطع عرضی ( سطح جوش درجه ۳ ) :

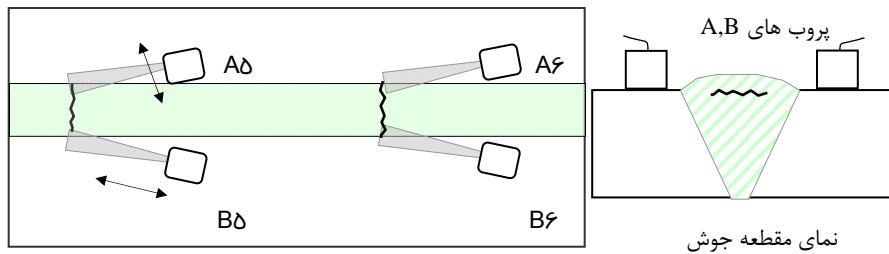
- با تکنیک پوششی طولی ( شیب دار ) و عمقی، در برخورد امواج با ترک های ریز دنداننه پالس واکنش های آن به شکل پالس مدل ۳ و در برخورد با ترک های درشت دنداننه به شکل پالس مدل ۴ دیده می شوند. سایر تکنیک های پوششی قابل اجرا نمی باشند ( پروب های A۵, B۵, A۶, B۶ شکل ۱۱-۱۲ - ج ) .



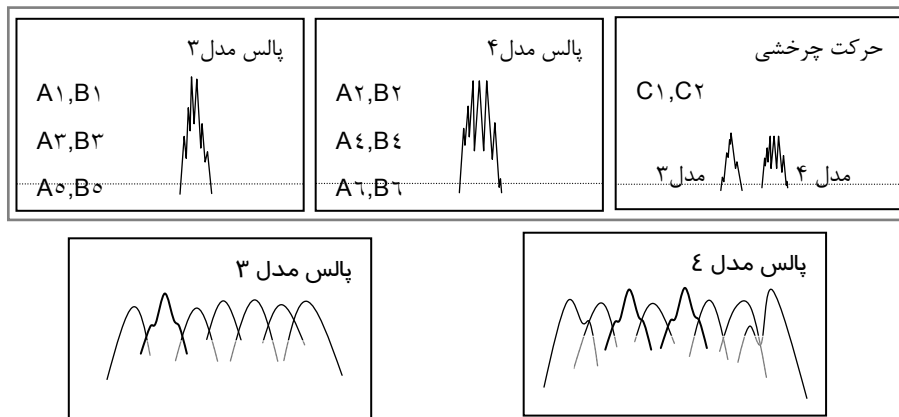
شکل ۱۱-۱۲ - ب ، سطح جوش درجه ۱



شکل ۱۱-۱۲ - ب ، سطح جوش درجه ۲



شکل ۱۱-۱۲ - ج ، سطح جوش درجه ۳



شکل ۱۱-۱۲-د

در شکل ۱۱-۱۲-د، پالس های واکنش امواج با تکنیک هائی پوشش عرضی روی جوشهای درجه یک، دو و سه مشاهده می گردد .

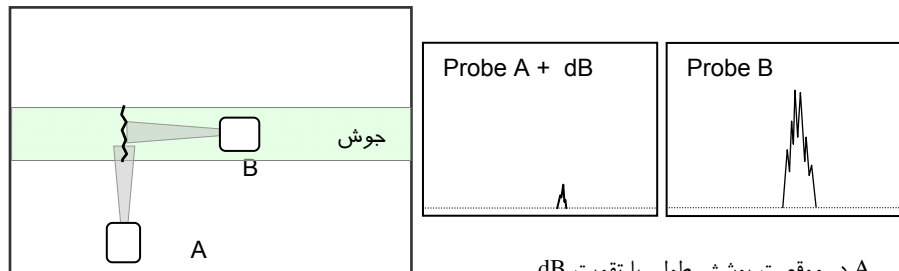
### روش های اندازه گیری :

- با توجه به دندانان ای بودن دو انتهای ترک ها، مناسبترین روش برای اندازه گیری طول و عمق ترک های طولی و عرضی، تکنیک حداکثر سازی دامنه است.
- از تکنیک افت ۲۰ دسی بل نیز برای اندازه گیری طول و عمق ترک های طولی و عرضی استفاده می شود .
- در روش حد پذیرش، هرگاه پالس مدل ۳ و یا ۴ ناشی از واکنش ترک در صفحه تصویر دیده شود بدون مقایسه با عیب مرجع، عیب محسوب می گردد .

### توصیه :

اصولاً برای تشخیص ترک های عرضی ، از تکنیک پوشش عرضی استفاده می شود، اما گاه ممکن است در زمان آزمایش جوش با تکنیک طولی و بدون اطلاع از نوع عیب، واکنش هائی از امواج در صفحه تصویر دیده شود که با مطالعه نوع واکنش و شکل مدل پالس می توان به عرضی بودن عیب پی برد و پس از شناخت جهت ترک ، از تکنیک مناسب استفاده نمود .

برای این منظور، در زمان آزمایش جوش خصوصاً وقتی که پدیده ترک های عرضی در جوش محتمل است، آمپلی فایر باید بین ۸ تا ۱۴ دسی بل بیش از حد مرجع<sup>۱</sup> تقویت گردد. با این توصیه، چنانچه آمپلی فایر دستگاه، به حد کافی تقویت گردد، امواج دربرخورد طولی با مقطع ترک عرضی، پالس واکنشی کوتاهی به شکل مدل ۲ نشان خواهد داد که با حرکت دورانی پروب، ارتفاع آن بتدریج بیشتر شده و در موقعیت پوشش عرضی به پالس مدل ۳ و یا ۴ تبدیل می گردد که حتی در صورت کاستن دسی بل ( تقویتی )، پالس ترک قابل رویت خواهد بود ( پروب های A و B شکل ۱۱-۱۳-۱۱-۱۳ ).



پالس A در موقعیت پوشش طولی با تقویت dB  
پالس B در موقعیت پوشش عرضی بدون تقویت dB

شکل ۱۱-۱۳

#### نکات مهم :

- ترک های سطحی مانند ترک های ناشی از خوردگی<sup>۲</sup> و یا ترک های ستاره ای<sup>۳</sup> با تکنیک و روش های متداول آلتراسونیک قابل تشخیص و اندازه گیری نیستند .
- علی رغم طولی بودن ترک ها، هیچگاه مانند خط مستقیم دیده نمی شوند .
- نقطه بحرانی شکست در حد میانی ترک می باشد که به دو سمت گسترش می یابند، لذا حداکثر عمق و یا پهنای ترک، در مقطع میانی آن با حداکثر واکنش دیده خواهد شد.
- آنچه مسلم است ، واکنش امواج در برخورد با ترک ها ، قویترین پالس های انعکاسی را در صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک نمایان می کنند و بندرت ممکن است انعکاس امواج از برخورد با ترک ها (هر چند کوچک )، در صفحه تصویر دیده نشود .

۱ - Reference Level      ۲ - Stress Corrosion Cracking      ۳ - Crater Cracks

## ۶ - عیوب حجم دار ( Volumetric Imperfections )

### نوع عیب :

معمولاً، عیوب حجم دار ( غیر از حباب های گازی ) محصول ناخالصی ها و سرباره های فلزی و غیرفلزی می باشند که در اغلب فرآیندهای جوشکاری بوجود می آیند . این نوع ناخالصی ها به صورت تداخل سرباره ، در زمان انجماد مذاب در حوضچه جوش محبوس شده و حجمی از جوش را اشغال می کنند. ناخالص های حجم دار، به لحاظ نوع و شکلی که در جوش می گیرند، به دو دسته زیر تقسیم می شوند :

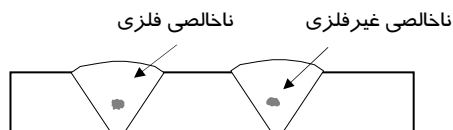
### الف ( ناخالصی های فلزی :

این نوع تداخل ها، به علت غوطه ور شدن مذاب فلز با نقطه ذوب بالاتر از مذاب جوش در حوضچه مذاب شکل می گیرند و در زمان انجماد مذاب در فلز جوش باقی می ماند. سطوح جانبی این نوع ناخالصی ها به صورت ناهموار با دندانهای تیز دیده می شوند، که غالباً از شکل هندسی نامنظمی برخوردارند .

### ب ( ناخالصی های غیر فلزی :

این نوع ناخالصی ها محصول تداخل اکسید های غیر فلزی در جوش می باشند که به علت سوختن مواد محافظ الکتروود و عناصر مازاد با نقطه ذوب بالاتر از فلز جوش در حوضچه مذاب محبوس می گردند . سطوح جانبی این نوع ناخالصی ها نسبت به نوع ناخالصی های فلزی کمی منظم تر دیده می شوند . انواع ناخالصی های مهم عبارتند از :

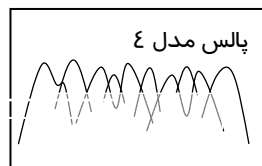
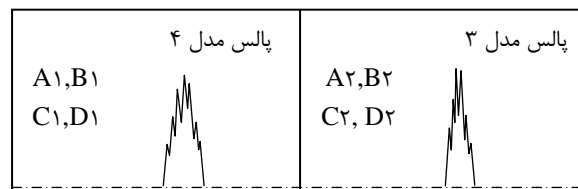
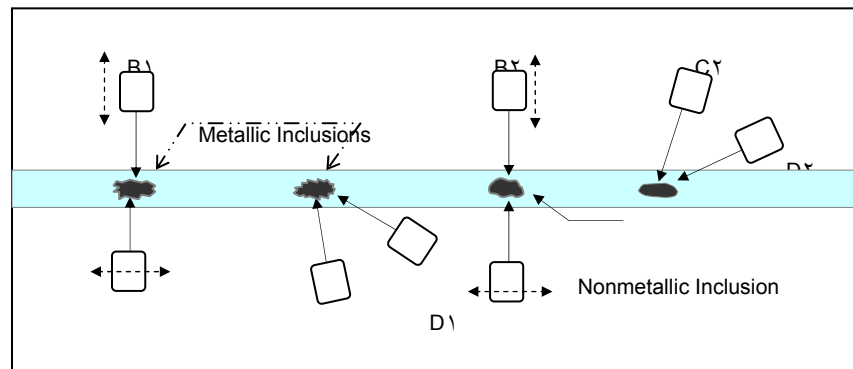
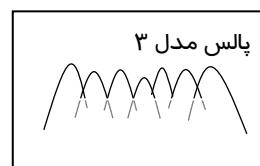
- Large Irregular Inclusions
- Isolated Slag Inclusions
- Tungsten Inclusions
- Copper Inclusions
- Globular Slag Inclusions



## انواع واکنش ها :

## الف - ناخالصی های فلزی

- با تکنیک پوشش های طولی، عمقی، چرخشی و دورانی، پالس واکنش امواج در برخورد با این نوع عیب به شکل پالس مدل چهار دیده می شود که تغییرات دامنه نامنظمی داشته و گاهی به شکل پالس ترک در صفحه تصویر دستگاه ظاهر می گردد. وجه تمایز آن از ترک، با تکنیک پوشش دورانی مشخص می شود ( پروب های  $A_1, B_1, C_1, D_1$ ، شکل ۱۴-۱۱).

پروب های  $A_1, B_1, C_1, D_1$ پروب های  $A_2, B_2, C_2, D_2$ 

شکل ۱۴-۱۱

**ب - ناخالصی های غیر فلزی :**

- با تکنیک های پوشش طولی و عمقی، پالس واکنش امواج در بر خورد با چنین عیبی به شکل مدل سه نمایان می گردد ( پروب های A2, B2 شکل ۱۴-۱۱ ).
- با تکنیک پوشش چرخشی پالس مدل ۳ دیده می شود که در موارد خاصی ممکن است به علت برخورد با انحنای سطح جانبی، با افت ارتفاع همراه گردد ( پروب C2 شکل ۱۴-۱۱ ).
- با تکنیک پوشش دورانی پالس مدل ۳ دیده می شود که تغییرات دامنه آن در موقعیت های مختلف، نسبتاً ثابت است ( پروب D2، شکل ۱۴-۱۱ ).

**روش های اندازه گیری :**

- برای اندازه گیری هر سه بعد عیوب حجیم با واکنشی به شکل پالس مدل ۴، از تکنیک های پوشش افق ۲۰ دسی بل و یا حداکثر سازی دامنه استفاده می گردد .
- برای اندازه گیری طول عیب حجیمی که پالس واکنش آن به شکل مدل ۳ دیده شود، از تکنیک های افق ۶ و ۲۰ دسی بل استفاده می گردد .
- برای تعیین بعد عمقی عیوب حجیم، تکنیک حداکثر سازی دامنه مناسبترین روش است اما با تکنیک افق ۲۰ دسی بل نیز بعد عمقی قابل اندازه گیری می باشد .
- با تکنیک مقایسه شدت انعکاس نسبت به دسی بل، حتی با کاهش ۴ تا ۶ دسی بل، افق قابل ملاحظه ای در ارتفاع پالس عیب در صفحه تصویر دیده نخواهد شد .
- در روش کنترل کیفیت، از مقایسه ارتفاع پالس عیب با ارتفاع منحنی DAC و یا پالس عیب مصنوعی نمونه مرجع، حد پذیرش آن تعیین می گردد که معمولاً واکنش پالس عیب به مراتب قویتر از پالس مرجع در صفحه تصویر دیده خواهد شد.

## ۷ - عیوب ریزخوشه ای ( Multiple imperfections )

### نوع عیب :

عیوب ریز مجتمع در جوش بیشتر به دو حالت زیر دیده می شوند :

#### ۱ - تجمع حباب های گازی ریز

این نوع عیب به صورت تجمع یک کلنی از حباب های گازی خوشه ای در پاس های نهائی و نزدیک به سطح جوش دیده می شوند که معمولاً به علت استفاده از الکتروود مرطوب و یا ورود رطوبت در حوضچه مذاب جوش ایجاد می گردند .

#### ۲ - تجمع ترک های ریز

این نوع ترک ها دارای طول کوتاه با عرض و عمق بسیار کم به صورت شاخه های درخت در مجاور هم قرار می گیرند و ترک های خوشه ای را تشکیل می دهند . یکی از عوامل بوجود آورنده ترک های خوشه ای، تکرار عملیات حرارتی موضعی نادرست می باشد که در جوشکاری فولاد های ریخته گری زیاد دیده می شوند .

انواع مهم عیوب خوشه ای عبارتند از :

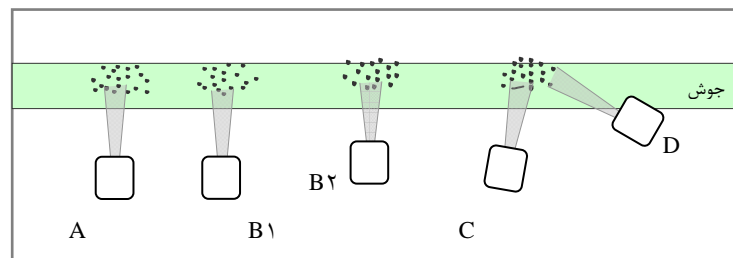
- Cluster Porosity
- Reheat Crack
- Group of Graphite ( این نوع عیب فقط در چدن ها دیده می شود )

### انواع واکنش ها :

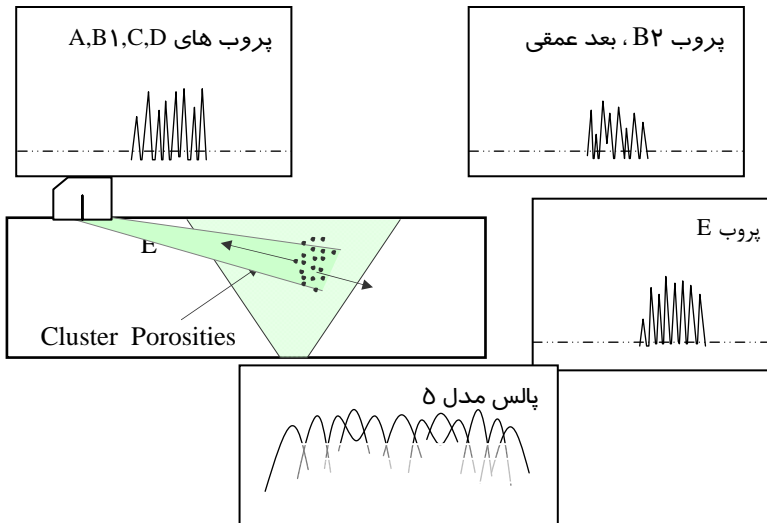
بطور معمول برخورد امواج با عیوب ریز خوشه ای، واکنش های متفاوت و نسبتاً ضعیفی را در صفحه تصویر ظاهر می سازند که شدت واکنش هر عیب ریز به اندازه سطح مقطع و فاصله آن با عیوب مجاور بستگی دارد .

با تکنیک های پوشش طولی، عمقی، چرخشی و دورانی، نتیجه واکنش امواج در برخورد با عیوب ریز خوشه ای، به شکل یک دسته پالس متشکل از پیک های مدل یک خواهد بود که مجموعه آنها به شکل پالس مدل پنج در صفحه تصویر دیده می شود .

( شکل ۱۵-۱۱- الف و ب ) .



شکل ۱۱-۱۵-الف



شکل ۱۱-۱۵-ب

### روش های اندازه گیری :

- با توجه به نوع واکنش عیوب ریز ، اندازه گیری ابعاد هر عیب منفرد غیرممکن می باشد و تنها می توان محدوده وجود عیوب را تعیین نمود .
- در روش حد پذیرش ، بیش از آنکه به ارتفاع پالس عیب توجه گردد ، باید نوع و مدل پالس مد نظر قرار گیرد و با مشاهده پالس مدل ۵ ، نسبت به آن تصمیم گیری شود .



## ۸ - عیوب منقطع ( Intermittent Imperfections ) :

### نوع عیب :

همانطور که از عنوان آن مشخص است ، عیوب منقطع به عیوبی گفته می شود که به لحاظ طول و یا عمق ناپیوسته و منقطع می باشند . در بعضی شرایط به علت زاویه و پخ نامنظم دو لبه اتصال، نقاطی با فاصله کوتاه بهم وصل شده و به دلیل ناکافی بودن حرارت و یا ضعف مهارت جوشکار، این نقاط بدون ذوب کافی باقی می مانند و فقدان ذوب ناپیوسته را تشکیل می دهند . همین حالت برای تداخل سرباره های غیر فلزی روی می دهد که سرباره ها در بین دندان های نامنظم لبه های اتصال محبوس گردیده و سرباره خطی ناپیوسته را بوجود می آورند . چنین فرایندی ممکن است برای سرباره های طولی در چندین پاس متوالی نیز روی دهد و در بعد عمقی یک عیب ناپیوسته و منقطع شکل بگیرد .

نوع دیگر این نوع عیب حباب های گازی طویل، کوتاه و کم عرضی هستند که به علت آلوده بودن لبه های اتصال در ریشه جوش های شیاری یک طرفه ( شکل ۷ ) بوجود می آیند و چون در یک راستا قرار دارند، به شکل یک عیب خطی ناپیوسته دیده می شوند .

انواع مهم آن :

۱ - Broken Slag Lines

۲ - Parallel Slag lines

۳ - Linear Point Porosities

انواع واکنشها :

### الف - عیوب منقطع طولی :

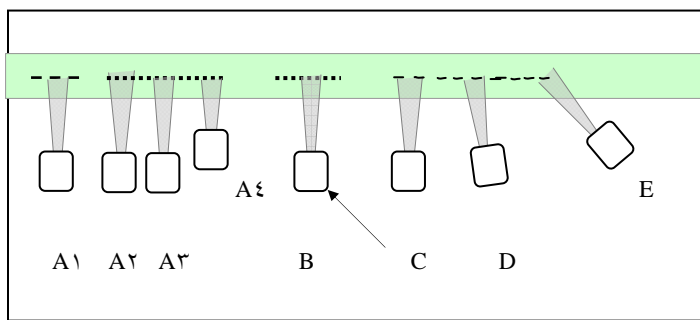
با تکنیک پوشش طولی از برخورد امواج با عیوب منقطع طولی، واکنشهای متفاوتی دیده خواهد شد که نوع واکنش ها به فاصله بین عیوب و توانائی تفکیک سازی پروب بستگی پیدا می کند و در چند حالت زیر قابل بررسی می باشند :

حالت ۱ - عیوب با فاصله بسیار کم از یکدیگر قرار گرفته اند و از پروبی با تفکیک سازی متوسط استفاده شده است . در این حالت پالس واکنش امواج به شکل پالس های مدل ۲ و ۳ و در بعضی شرایط به شکل مدل ۴ دیده می شوند ( پروب های A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> شکل ۱۶-۱۱ ) .

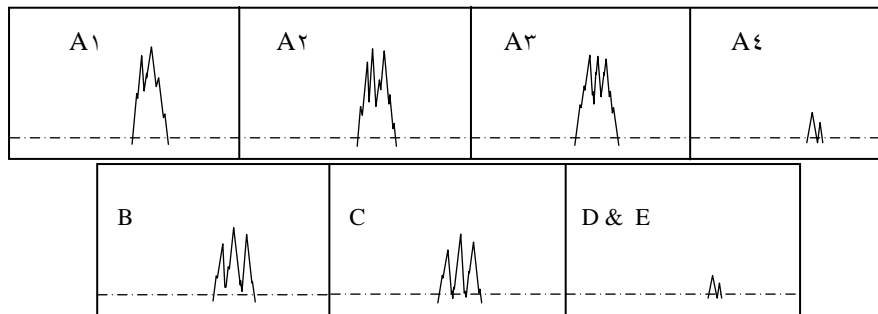
برای تمایز پالس های مدل سه و چهار، از پالس عیبی مانند ترک، از تکنیک پوشش عمقی کمک گرفته می شود و طبیعی است که با کمترین جابجائی عمقی، ارتفاع آن با افت شدید همراه خواهد بود ( پروب A۴ شکل ۱۱-۱۶ ).

حالت ۲ - عیوب کاملاً بهم نزدیک و توانائی تفکیک سازی پروب عالی است . در این حالت واکنش امواج به شکل پالس مدل ۵ با پیک های فاصله دار و یا به شکل پالس های مدل یک و تکراری دیده می شوند که همزمان با جابجائی طولی پروب ، جای پالس ها نیز تغییر خواهند نمود ( پروب B شکل ۱۱-۱۶ ).

حالت ۳ - عیوب از هم فاصله دارند ( بیش از نصف عرض پالس ، فصل ۳ ) . در این حالت نیز پالس واکنش امواج به شکل مدل ۵ با پیک های فاصله دار و یا به شکل پالس های مدل یک و تکراری دیده خواهند شد ( پروب C شکل ۱۱-۱۶ ).



شکل ۱۱-۱۶-الف



شکل ۱۱-۱۶-ب

برای اطمینان از خطی و طولی بودن چنین عیبی، از تکنیک های پوشش چرخشی و دورانی کمک گرفته می شود که با این تکنیک ها در هر سه حالت ذکر شده، ارتفاع پالسها با افت سریع همراه خواهد بود ( پروب های E,D شکل ۱۶-۱۱) .

### بررسی جابجائی پروبها در شکل ۱۶-۱۱ :

پروب های A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> با تفکیک سازی متوسط با عیوب منقطع نزدیک به هم برخورد نموده اند و چون قادر به تفکیک عیوب نیستند، مجموعه واکنش پالس ها به صورت پالس مدل چهار در صفحه تصویر دیده خواهد شد .

پروب B با تفکیک سازی عالی در مقابل همان نمونه عیب قرار گرفته است و چون از توانائی تفکیک سازی خوبی برخوردار است، هر عیب را با پیک جداگانه ای به شکل پالس مدل یک نشان می دهد که واکنش چندین پالس مدل یک، همزمان به شکل پالس مدل پنج در صفحه تصویر دیده خواهند شد .  
پروب C با تفکیک سازی متوسط، امواج را به سمت عیوبی که فاصله بین آنها از نصف عرض پالس بیشتر است ارسال می دارد . در این حالت نیز پالس عیوب بطور منفک پیک های جداگانه ای را به شکل پالس مدل یک در صفحه تصویر ظاهر می سازند که مجموعه آنها به شکل پالس مدل پنج دیده خواهد شد .

### ب - عیوب منقطع عمقی :

با تکنیک پوشش عمقی در برخورد امواج با عیوب منقطع عمقی نیز واکنش های متفاوتی در صفحه تصویر دیده خواهند شد که شکل مدل های آن تحت عواملی چون فاصله بین عیوب، نوع آنها و توانائی تفکیک سازی پروب، تاثیر می پذیرند، به همین دلیل واکنش امواج با تکنیک پوشش عمقی در سه حالت متفاوت زیر بررسی می گردند :

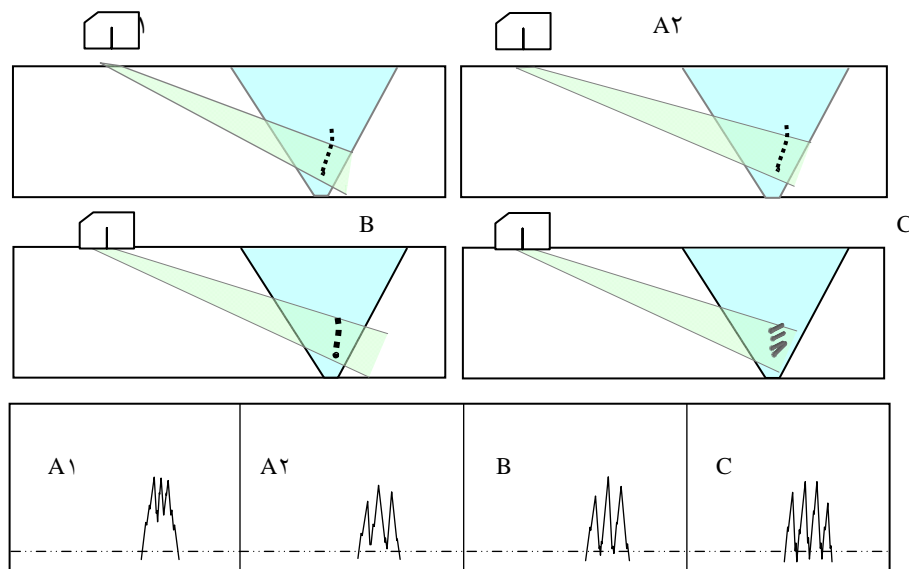
حالت ۱ - فواصل بین عیوب بسیار کم و توانائی تفکیک سازی پروب متوسط است .  
در این حالت واکنش امواج در برخورد عمقی با عیوب منقطع به شکل پالس مدل چهار دیده خواهد شد که پیک های آن با ارتفاعی تقریباً یکنواخت در کنار هم قرار می گیرند ( پروب A<sub>1</sub> شکل ۱۷-۱۱) .

حالت ۲ - فاصله بین عیوب بسیار کم، ولی از پروبی با توانائی تفکیک سازی عالی استفاده شده است. در این حالت، پالس واکنش امواج به شکل چند پالس منفک مدل یک و گاه به شکل پالس مدل پنج در صفحه تصویر ظاهر می گردند که فاصله بین پالس ها به فاصله بین عیوب بستگی خواهد داشت ( پروب A۲ شکل ۱۷-۱۱).

حالت ۳ - فاصله بین عیوب بیشتر از دو حالت قبل شده ( بیشتر از نصف عرض پالس ) و از پروبی با تفکیک سازی متوسط استفاده گردیده است.

در این حالت نیز، پالس واکنش امواج به شکل چند پالس تکراری از نوع مدل یک، منفک از هم دیده می شوند که فاصله بین پیک ها به عرض پالس، نوع عیب و فاصله بین عیوب بستگی خواهد داشت ( پروب B شکل ۱۷-۱۱).

- چنانچه عیوبی از نوع عیوب طولی چند لایه باشند، علاوه بر تکنیک پوشش عمقی، با تکنیک پوشش طولی نیز واکنش های مشابهی دیده خواهد شد. با حرکت پروب به موازات محور طولی جوش، مدل های مشابه پوشش عمقی با دامنه ای یکنواخت در صفحه تصویر دیده می شوند ( پروب C شکل ۱۷-۱۱).



شکل ۱۷-۱۱

### نکات مهم این بخش :

- ۱- از برخورد امواج با عیوب کروی و قوس دار مانند حباب های گازی، ضعیف ترین واکنش در صفحه تصویر ظاهر می گردد .
- ۲- اندازه گیری دقیق قطر حباب های گازی کروی، سوزنی و لوله ای غیرممکن است و فقط می توان با روش منحنی DGS قطر معادل آنها را بدست آورد .
- ۳- با تکنیک پوشش دورانی، پالس واکنش امواج دربرخورد با عیوب کروی، به شکلی یکنواخت با دامنه یکسان دیده می شود.
- ۴- واکنش امواج در برخورد با عیوب نقطه ای صاف، به جهت و زاویه تابش امواج بستگی دارد، در صورت آزمایش با دو زاویه و از دو جهت نتایج بهتری بدست خواهد آمد .
- ۵- از برخورد امواج با عیوب خطی پهن و صاف، واکنش قابل توجهی دیده می شود که در صورت آزمایش از دو سمت جوش ، تفسیر عیب بسیار دقیق خواهد بود و نتیجه تفسیر در مقایسه با پرتونگاری برتری محسوسی دارد . تجربه نشان داده که بطور معمول بعضی از حالت های فقدان ذوب دیواره ای با روش پرتونگاری قابل تشخیص نمی باشند .
- ۶- واکنش امواج در برخورد با عیوب ریزدندانه نظیر سرباره های خطی در صفحه تصویر بسیار ضعیف دیده می شوند .
- ۷- عیوب حجم دار از گروه عیوب مناسب برای روش آلتراسونیک بشمار می آیند که با انواع تکنیک های پوشش قابل آشکارسازی هستند.
- با اجرای تکنیک دورانی تفاوت پالس واکنش آن با پالس واکنش از یک ترک دندانه دار درشت مشخص می گردد.
- ۸- ترک ها مناسب ترین واکنش را در مقابل امواج آلتراسونیک نشان می دهند و هیچگاه تشخیص ترک ( بجز ترک های سطحی ) مشکل نخواهد بود .
- ۹- در شرایط عادی و با تکنیک های پوشش طولی، عمقی و چرخشی آشکار سازی ترک های عرضی غیرممکن است .

اصولاً در صورت احتمال وجود پدیده ترک های عرضی در جوش ها ، آزمایش باید با تکنیک پوشش عرضی در دستور کار قرار گیرد .

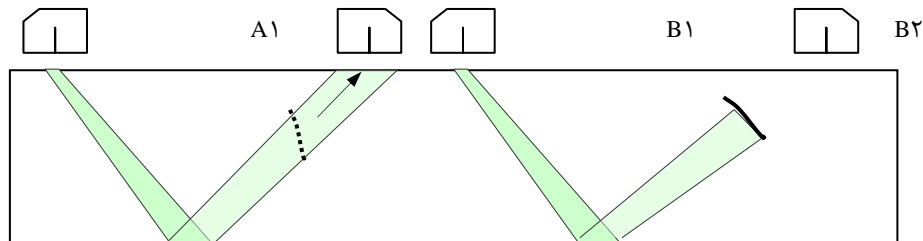
۱۰ - ترک های عرضی غالباً در پاس های نهائی شکل می گیرند و چون بعد عمقی بسیار کمی دارند، اگر سطح جوش به حالت اولیه ( جوش بر جسته ) باشد، با پروب تک کریستاله و در نیم گام تحت پوشش امواج قرار نمی گیرند ، لذا بهتر است از پروب دو کریستاله با زاویه بین ۷۰ تا ۸۰ درجه استفاده گردد و آزمایش در حد فاصله بین صفر تا نیم گام انجام گیرد .

ترک های عرضی موئی شکل و سطحی، روی گرده جوش با روش آلتراسونیک قابل آشکار سازی نمی باشند .

۱۱ - واکنش امواج در برخورد با عیوب ریز و خوشه ای بسیار ضعیف عمل می کند و چون این نوع عیوب در پاس های رو شکل می گیرند، آزمایش باید در فاصله بین صفر تا نیم گام و تا حد ممکن از زاویه با شیب کمتر ( ۷۰ درجه ) استفاده گردد .

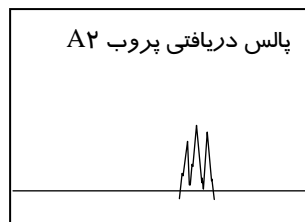
۱۲ - همانطور که قبلاً ذکر شد، از برخورد امواج با عیوب منقطع واکنش های متفاوتی بدست می آید و گاهی با قرار گرفتن عیوب در فاصله بسیار نزدیک به هم ( چسبیده به هم ) ، پالسی شبیه به پالس مدل چهار می سازند و ممکن است نتیجه غلطی گزارش گردد .

یکی از روش های مناسب برای تمیز دادن عیوب منقطع از یک عیب مهم ومضر مانند ترک، استفاده از تکنیک انتقال سر به سر است که در شکل ۱۱-۱۸ تفاوت دو عیب منقطع و ترک مشاهده می گردد .

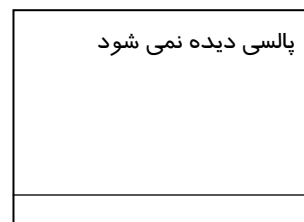


شکل ۱۱-۱۸

در شکل ۱۱-۱۹ واکنش امواج با دو عیب منقطع و پیوسته ( ترک ) در دو صفحه تصویر برای هر دو حالت مشاهده می شود.  
 در شکل الف پالس واکنش امواج عبور یافته از فاصله بین عیوب منقطع مانند پالس مدل ۵ در صفحه تصویر ظاهر شده اند.  
 اما در شکل ب ، اثری از پالس دریافتی پروب B۲ در صفحه تصویر دیده نمی شود و پیوستگی عیب مانع عبور امواج شده است .



شکل الف



شکل ب

شکل ۱۱-۱۹

## روش آزمایش جوش

( Ultrasonic Testing Procedure )

## مقدمه :

یکی از مهمترین بخش های تکنیکی و کاربردی آلتراسونیک، آزمایش و کنترل کیفیت جوشها با تکنیک های آلتراسونیک می باشد که بدلیل گستردگی انواع فرآیندهای جوشکاری، تنوع اتصالات و ویژگی های متفاوتی که در انواع عیوب جوشها دیده می شود، از پیچیدگی خاص و ویژه ای برخوردار است . بطور مثال برای آزمایش یک اتصال جوش از جنس فولاد کربنی ساده ، فرکانسی معادل ۴ تا ۵ مگاهرتز مناسب می باشد اما چنین فرکانسی برای آزمایش فولاد آستنیتی جواب درست نخواهد داد . در مثالی دیگر، استفاده از تکنیک پوشش عرضی برای اتصالات جوش زیر پودری امری عادی است در حالیکه در اتصال جوش مقاومت الکتریکی که هیچگونه احتمالی برای ترک عرضی وجود ندارد ، چنین تکنیکی کاربرد نخواهد داشت .

بنابراین برای احرای درست یک روش آزمایش آلتراسونیک باید عوامل و نکات زیر به ترتیب مورد توجه قرار گیرند :

الف - جنس دو طرف اتصال، نوع فرایند جوشکاری، طرح اتصال بین قطعات، ضخامت و قطر بطور دقیق مشخص گردند .

ب - نمونه مرجع و نمونه استاندارد مطابق با روش آزمایش تهیه شوند .

ج - پروبها مطابق با جنس و شکل هندسی اتصال انتخاب گردند.

د - دستگاه آلتراسونیک بر اساس پارامترهای فوق و استاندارد پذیرش عیوب تنظیم شود.

ه - در نهایت روش آزمایشی که در برگیرنده کلیه عوامل فوق و نیازهای استاندارد باشد تهیه و مکتوب گردد .



### عوامل اساسی یک روش آزمایش

بمنظور تهیه یک روش آزمایش آلتراسونیک، فاکتورها و عوامل زیر به عنوان شاخص های اصلی و پیش نیاز مورد نظر می باشند:

Material	۱ - جنس قطعات مورد آزمایش
Dimension	۲ - ابعاد ( ضخامت - قطر )
Welding Process	۳ - فرآیند جوشکاری
Weld Configuration	۴ - طرح اتصال و شکل هندسی

با نگاهی به عوامل اساسی فوق می بینیم که انتخاب فرکانس و زوایای پروبها به جنس فلز پایه، فلز جوش و ضخامت اتصال بستگی پیدا می کند و با ذکر جنس و ضخامت در روش، علت انتخاب نوع پروبها مشخص خواهد شد. اما دو عامل فرآیند جوشکاری و طرح اتصال در اکثر پارامترهای آزمایش تأثیر خواهند داشت لذا در خصوص این دو عامل شرح جداگانه و کاملتری ارائه می گردد.

### - فرآیند های جوشکاری :

تأثیرات عمده ای که انواع فرآیندها، در آزمایش آلتراسونیک دارند، نوع عیوب و شکل هندسی جوشها می باشد. مثلاً در یک اتصال لب به لب از نوع جوش مقاومت الکتریکی، عرض جوش بسیار کمتر از عرض یک اتصال لب به لب جوش زیر پودری می باشد، به همین دلیل در اتصال جوش مقاومت الکتریکی، عیوبی مانند ترک عرضی، ناخالصی سرباره، سوختگی شیار کناری جوش دیده نخواهد شد، اما در جوش زیر پودری، بروز چنین عیوبی بسیار محتمل است.

در مثالی دیگر؛ عیبی نظیر ناخالصی سرباره در جوش قوس الکتریکی ( دستی ) به آسانی شکل می گیرد، اما در جوش تنگستن با گاز محافظ ( T.I.G )، فقط ناخالصی فلزی ( ریزش قطرات مذاب تنگستن ) ممکن است دیده شود. بنابراین می بینیم که، دانستن نوع جوشکاری، می تواند در شناخت و تفسیر عیوب بسیار کمک نماید. لذا فرآیند جوشکاری باید بعنوان یک متغیر اساسی در روش آزمایش آلتراسونیک نوشته شود.

### انواع فرآیندهای جوشکاری :

مهمترین فرایندهایی که بطور فراگیری در ساخت و تولید ادوات صنعتی بکار می روند و بیشترین محدوده کاربردی آزمایش آلتراسونیک را نیز شامل می گردند، در شش فرآیند زیر خلاصه می شوند :

Shielded Metal Arc Welding ( SMAW )	۱- جوشکاری قوسی الکتریکی دستی
Submerged Arc Welding ( SAW )	۲- جوشکاری الکتریکی زیر پودری
Gas Metal Arc Welding ( GMAW )	۳- جوشکاری الکتریکی با گاز محافظ
Gas Tungsten Arc Welding ( GTAW )	۴- جوشکاری الکتریکی تنگستن با گاز محافظ
Flux Covered Arc Welding ( FCAW )	۵- جوشکاری الکتریکی با پودر محافظ
Electric Resistance Welding ( ERW )	۶- جوش مقاومت الکتریکی

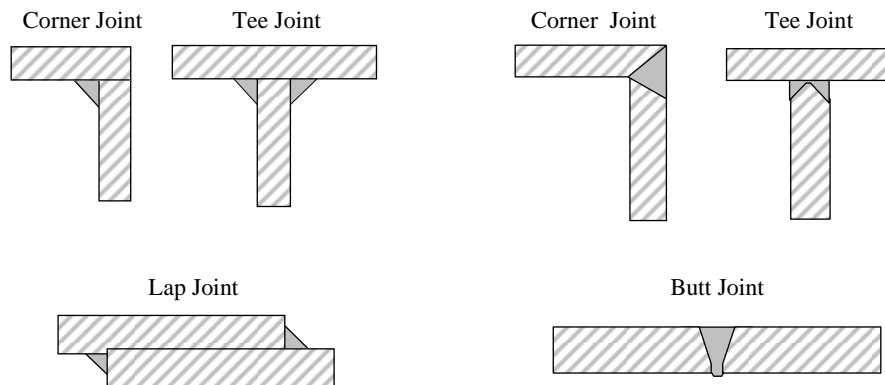
### انواع اتصالات جوشکاری :

بر اساس تعریف انستیتوی بین المللی جوش، روش های اتصال بین دو قطعه، به چهار طریق زیر انجام می گیرد :

Butt Joint	۱- اتصال سر به سر
Corner Joint	۲- اتصال گوشه ای
Tee Joint	۳- اتصال میانی
Lap Joint	۴- اتصال رویهم

اما جوشکاری بین چهار اتصال فوق، فقط به دو حالت لب به لب ( Butt weld ) و گوشه ای یا نواری ( Fillet Weld ) انجام می گیرد . در نوع لب به لب ، فلز جوش با نفوذ کامل در بین دو لبه پخ دار اتصال قرار گرفته و آنها را به هم پیوند می دهد، اما در نوع جوش نواری، جوش بدون نفوذ کامل، فقط فضای بین لبه های اتصال را اشغال نموده و از طریق اتصال بین جوش و لبه ها ، دو قطعه به هم پیوند می شوند .

با این توضیح، می‌توان برای جوش لب به لب، عنوان جوش نفوذی و برای جوش گوشه ای، عنوان روکار و یا غیرنفوذی را بکار برد ( شکل ۱-۱۲ ).



شکل ۱-۱۲-ب جوش های روکار

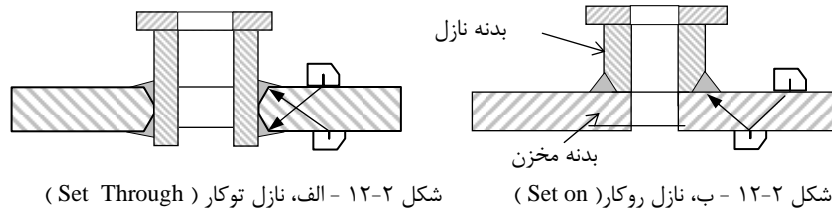
شکل ۱-۱۲-الف، جوش های نفوذی

در شکل ۱-۱۲-الف، انواع جوش های لب به لب نفوذی و در شکل ۱-۱۲-ب، جوش های نوع نواری ( گوشه ای ) مشاهده می‌شوند .

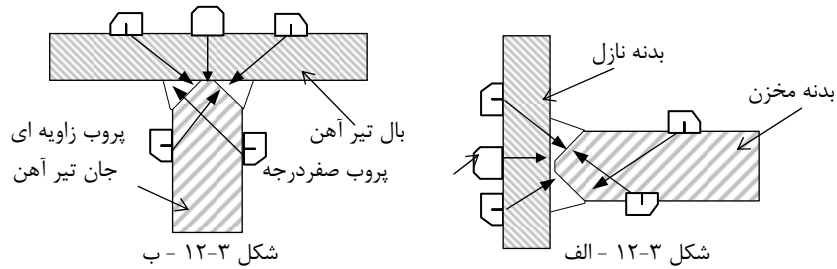
باید توجه داشت که کلیه اتصالات ادغامی ( Fusion welds )، مانند جوشکاری لوله به لوله، ورقه‌های مخازن، نازل به مخازن، اجزاء ساختمانی و هر نوع اتصال جوش بین دو قطعه، با همین دو واژه تعریف می‌گردند که ممکن است، در نوع آرایش لبه های اتصال ( بین دو قطعه )، با هم تفاوت داشته باشد .

در شکل ۱-۱۲-۲، دو نوع اتصال نازل به بدنه مخزن با تفاوت های زیر مشاهده می‌گردد: الف - در شکل الف، نازل با روش توی کار ( Set Through ) به بدنه مخزن اتصال داده شده است . اگر به هر سمت جوش آن توجه شود شبیه به یک اتصال Tee و به شکل حرف لاتین K دیده می‌شود.

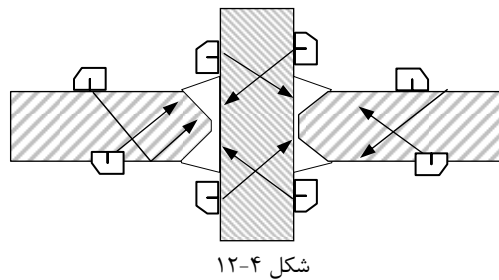
ب - در شکل ب، نازل با روش روکار ( Set-On ) به بدنه مخزن نصب گردیده و هر سمت آن مشابه اتصال جوش گوشه ای دیده می‌شود .



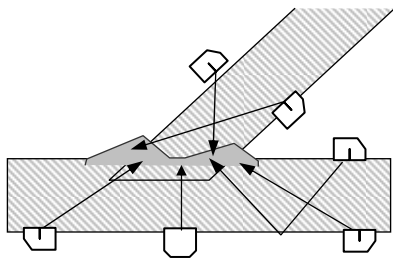
به منظور روشنتر شدن تأثیر انواع اتصالات، چند شکل زیر بررسی می گردند :  
در شکل ۱۲-۳ - الف، یک اتصال نازل به مخزن دیده می شود که چند پروب ناحیه جوش را از سمت نازل و همچنین از بدنه مخزن تحت پوشش امواج قرار داده اند .



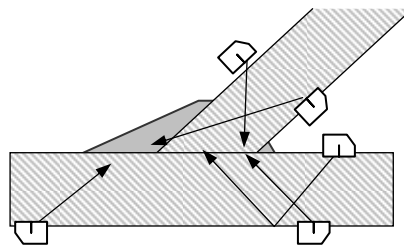
در شکل ۱۲-۳ - ب ، یک اتصال میانی اجزاء ساختمانی مشاهده می گردد که ناحیه جوش مانند آزمایش نازل، تحت پوشش امواج قرار گرفته است .  
در شکل ۱۲-۴ ، یک اتصال چهار جانبه دیده می شود که هر ناحیه از جوش آن مشابه جوش یک نازل، تحت پوشش امواج قرار می گیرد ( بجز پروب صفردرجه ) .



در شکل ۵-۱۲، الف و ب، دو نوع اتصال شیب دار دیده می شوند که به لحاظ ظاهر، کاملاً مشابه بوده اما آرایش لبه ها و نفوذی بودن آنها متفاوت است. بطوری که در شکل مشخص است، اگر چه پروب ها در موقعیت های مشابهی، امواج را به درون جوش می فرستند، اما نتیجه واکنش ها نمی تواند مشابه باشد و چنانچه نوع آرایش برای آزمایش کننده مشخص نگردد، تفسیر واکنش ها، بسیار مشکل خواهد بود.



شکل ۵-۱۲ - ب



شکل ۵-۱۲ - الف

علاوه بر نوع اتصال، شکل هندسی اتصال نیز در یک روش آزمایش به عنوان یک متغیر اساسی مطرح می باشد، با تغییر شکل هندسی مثلاً از سطح تخت به سطح قوس دار، بسیاری از پارامترهای آزمایش تغییر خواهند یافت.

با توجه به نکات فوق، می بینیم که برای نتیجه گیری از تفسیر واکنش امواج، کلیه اطلاعات مربوط به نوع اتصال و آرایش لبه های اتصال، باید در اختیار آزمایش کننده قرار گیرد. علاوه بر عوامل فوق، فاکتورهای متعدد دیگری نیز مانند درجه حرارت محیط، گرم بودن قطعات مورد آزمایش، حد زبری سطح تماس پروب و نظایر آن، می توانند در نتیجه گیری آزمایش تاثیر داشته باشند که اشاره به آنها در روش آزمایش ضروری می باشد.

## تهیه روش آزمایش

### مقدمه :

پس از آشنائی با عوامل و متغیرهایی که شرح داده شد، می توان روشی قابل اجرا برای آزمایش قطعات و اتصالات تهیه نمود. اما چند عامل مهم زیر نیز برای کامل شدن یک روش آزمایش باید در نظر گرفته شوند :

### الف - تکنیک پوشش

اگرچه تکنیک پوشش ( Scanning Technique ) بیشتر به نوع اتصال بستگی دارد اما محدوده حرکت پروب و نوع پوشش امواج برای آشکارسازی عیوب باید در روش نوشته شود. بطور مثال برای عیب یابی در یک اتصال نازل به مخزن، پوشش ممکن است هم از سطح بدنه مخزن و هم از سطح بدنه نازل انجام گیرد در حالیکه در یک اتصال خط لوله، حرکت پروب فقط از سطح خارجی لوله قابل انجام می باشد.

### ب - حد پذیرش عیوب

حد پذیرش عیوب به استاندارد ساخت اتصالات بستگی دارد بطور مثال، عیبی مانند نفوذ ناقص ( Inadequate penetration ) در جوشکاری مخازن تحت فشار در هر اندازه ای مردود می باشد در حالیکه همین عیب در جوش های خطوط لوله تا حد ۲۵ میلی متر در هر طول ۳۰۰ میلی متر قابل قبول خواهد بود. بنابراین اشاره به استاندارد ساخت و حد پذیرش عیوب اجتناب ناپذیر می باشد .

### ج - دانش و مهارت آزمایشگر

نکته ای که در اجرای روش بسیار اهمیت دارد، توانائی و دانش آزمایشگر می باشد که نباید فقط در مدرک ( Level ) خلاصه گردد. در عرف بین المللی هر آزمایشگر علاوه بر داشتن مدرک باید مطابق روش آموزش ببیند و نتایج آزمایشهای وی تحت نظارت یک متخصص بررسی گردد .

### د - کارائی روش

اصولاً یک روش زمانی قابل اجرا خواهد بود که توانائی و کارائی عوامل آزمایش، مطابق با استاندارد و حد آشکارسازی عیوب باثبات رسیده باشد .

### مندرجات عمومی یک روش آزمایش آلتراسونیک :

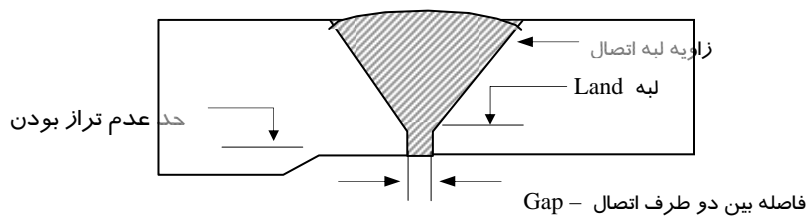
با توجه به مقدمه ای که بیان شد، می بینیم که برای هر نوع اتصال جوش، فرآیند جوشکاری و نوع محصول مطابق آنچه بعنوان عوامل تاثیرگذاری نام برده شد، باید یک روش آزمایش آلتراسونیک براساس استاندارد ساخت محصول تهیه گردد.

یک روش آزمایش باید در بر گیرنده حداقل اطلاعات و فاکتورهای زیر باشد :

۱ - نوع فرایند جوشکاری ( Welding Process )

۲ - نوع اتصال جوش و طرح اتصال ( Weld Type & Configuration )  
منظور اشاره به طرح اتصال، نوع جوش ( نفوذی و یا غیرنفوذی )، حد تراز بودن ( برای اتصال دو ضخامت متفاوت ) زاویه بین دو طرف اتصال و فاصله بین لبه ها ( Gap ) .

در شکل ۶-۱۲ نمای مقطعی یک اتصال از نوع Single-Sided V Groove با مشخصات قابل ذکر در روش مشاهده می گردد . بطوریکه در شکل دیده می شود به علت عدم تراز بودن دو طرف اتصال ، امکان اجرای پوشش کامل از یک سمت نخواهد بود.



شکل ۶-۱۱

۳ - جنس دو طرف اتصال ( Material )

۴ - ابعاد ( Dimension )  
شامل قطر ، ضخامت و شکل هندسی قطعات مورد آزمایش .

۵ - تکنیک آزمایش ( Technique )

شامل : نوع ارتباط امواج از پروب به منطقه جوش، ( تماس مستقیم و یا غوطه ور ) .

- ۶ - نوع دستگاه آلتراسونیک ( Equipment )  
با مشخصات کامل شامل سازنده دستگاه، مدل و سیستم صفحه تصویر .
- ۷ - انواع پروب ها ( Search Units )  
تعداد پروب ها، با مشخصات کامل شامل ابعاد، فرکانس، زاویه و سازنده .
- ۸ - ماده رابط ( Couplant )  
اشاره به نوع سیال رابط است ( آب خالص، آب با ماده مکمل، روغن و گریس )
- ۹ - شرایط سطح کار ( Surface Condition )  
مشخص بودن وضعیت سطح روی جوش ( گرده جوش )، حداقل درجه زبری سطوح دو طرف اتصال و عیوب سطحی مجاز در محدود حرکت پروبها .
- ۱۰ - سطوح مورد آزمایش ( Scanning Surfaces )  
پروب ها از چند جهت و چند سطح، جوش را تحت پوشش امواج قرار می دهد .
- ۱۱ - روش آزمایش بدنه ( Parent Metal Testing )  
آزمایش بدنه دو طرف اتصال با پروب صفردرجه، در محدوده ای که تحت پوشش امواج عرضی و حرکت پروب های زاویه ای قرار می گیرد .
- ۱۲ - نوع نمونه های تنظیم ( Reference & Standard Test Blocks )  
اشاره به نوع نمونه مرجع و نمونه استاندارد .
- ۱۳ - استاندارد مرجع ( Reference Standard )  
نوع استاندارد مرجع برای اجرای آزمایش ( استاندارد ساخت محصول )
- ۱۴ - حساسیت آمپلی فایر ( Sensitivity )  
تعریف درجه حساسیت آزمایش نسبت به عیوب ساختگی و مرجع .
- ۱۵ - روش اجرای آزمایش ( Testing Procedure )  
فاصله اجرای تکنیک های پوشش شامل : صفر تا نیم گام، نیم تا یک گام و یا هر دو ، همچنین حد همپوشانی سطوح آزمایش ( Overlapping ) .



## ۱۶ - روش تنظیم ( Method of Calibration )

روش تنظیم صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک با نمونه استاندارد و نمونه مرجع .

## ۱۷ - روش ارزیابی عیوب ( Evaluation )

مشخص بودن حد پذیرش استاندارد و روش ارزیابی عیوب .

## ۱۸ - صلاحیت آزمایشگر و تأیید کننده نتایج .

شامل نام و مدرک آزمایشگر ، کمک آزمایشگر و مسئول تأیید نتایج

## ۱۹ - گزارش ( Reporting )

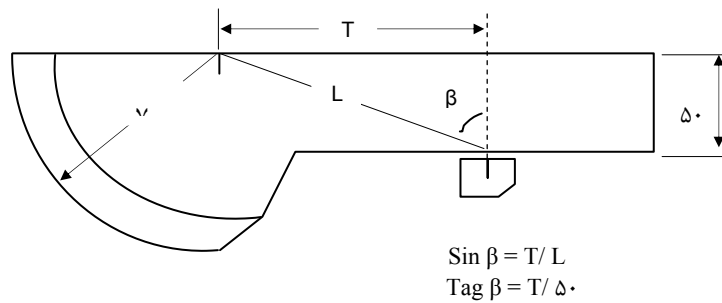
نوع گزارش و روش گزارش نویسی و طریقه اعلام نتایج .

برای یک روش آزمایش آلتراسونیک، علاوه بر مندرجات فوق، باید نام پروژه، موضوع آزمایش و سایر مشخصات مربوط به روش در عنوان روش مکتوب شود . همچنین کلیه مدارک قابل استناد شامل استاندارد مرجع ، مدرک سلامت دستگاه ، شماتیک نمونه تنظیم و نمودار های مرجع باید ضمیمه روش گردد .

۶ - نمونه تنظیم A<sup>۳</sup>, BSI

از این نمونه برای اندازه گیری باند فرکانس، طول پالس، طول حوزه کور، توانائی تفکیک سازی پروب های زاویه ای و صفر درجه، هم راستا بودن محور مرکزی پروب با جهت انتشار امواج (Beam Squint) و اندازه گیری عرض طیف امواج استفاده می شود.

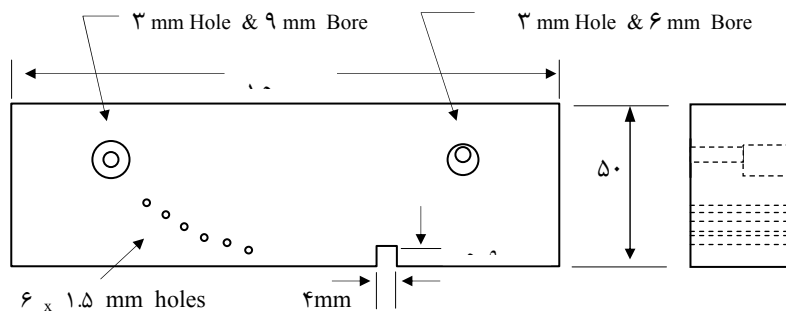
( شکل ۷-۸ )



شکل ۷-۸، نمونه تنظیم A<sup>۳</sup>

۷ - نمونه تنظیم A<sup>۶</sup>, BSI

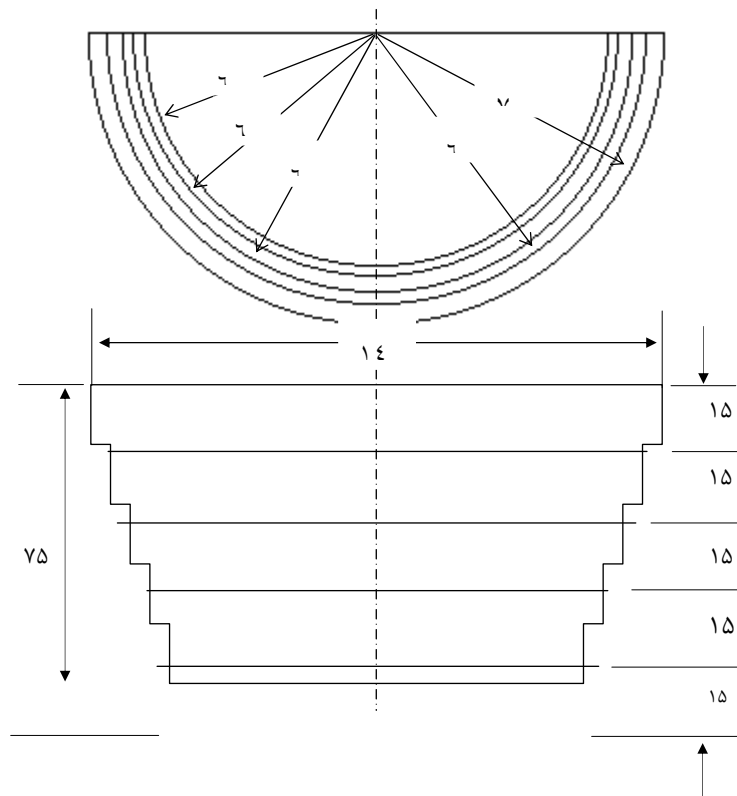
نمونه A<sup>۶</sup> برای تعیین و اندازه گیری دقیق باند فرکانس و عرض پالس های آلتراسونیک بکار می رود. فاکتورهای ابعادی این نمونه در مقایسه با نمونه A<sup>۳</sup> از دقت تنظیم دقیق تر برخوردار است ( شکل ۸-۸ ) .



شکل ۸-۸، نمونه A<sup>۶</sup>

۸ - نمونه تنظیم RSB - A۷ :  
( Round Step Resolution Block )

نمونه A۷ که به شکل نیم دایره و پله ای ساخته شده ، مناسبترین نمونه تنظیم برای تعیین حد توانایی تفکیک سازی پروب های زاویه ای می باشد . این نمونه در استاندارد BSI با نام A۷ معرفی شده است ( شکل ۸-۹ ) .

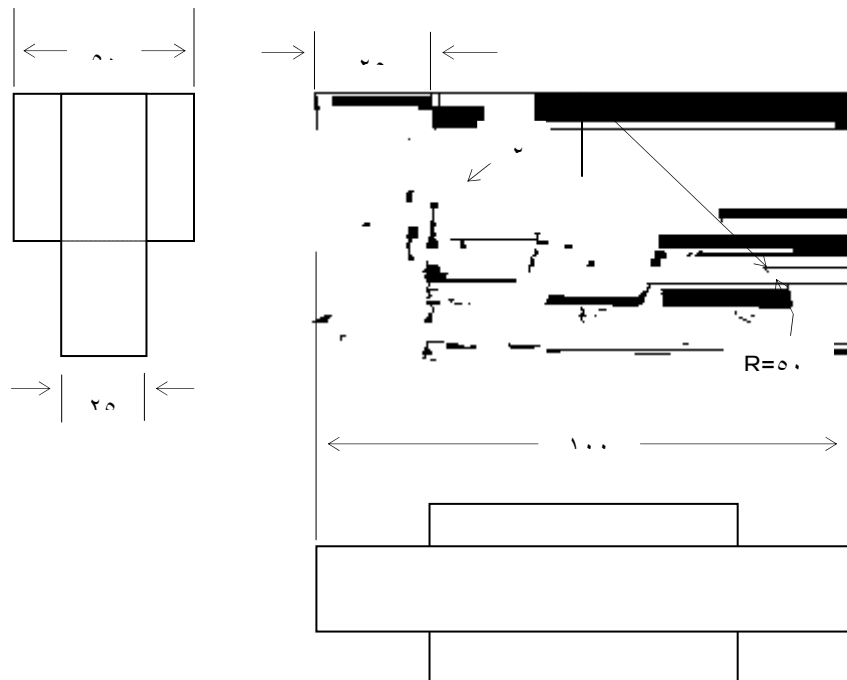


شکل ۸-۹ ، نمونه A۷ ، ( ابعاد به میلی متر )

۹ - نمونه تنظیم D.C,B :

( Distance Calibration Block )

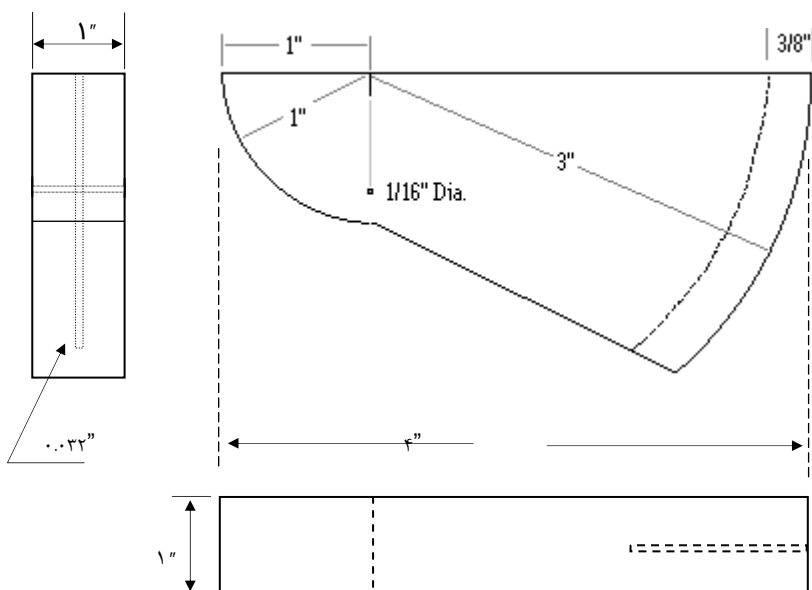
این نمونه از سری نمونه های استانداردهای ASTM و AWS می باشد که برای تنظیم درجه حساسیت آزمایش جوش طراحی شده است . با این نمونه می توان محور افقی صفحه تصویر را با پروب های زاویه ای برای ۵۰ میلی متر تنظیم نمود ( شکل ۸-۱۰ ) .



شکل ۸-۱۰ ، نمونه تنظیم DC ، ( ابعاد به میلی متر )

۱۰ - نمونه تنظیم: D.S.C,B  
( Distance & Sensitivity Calibration Block )

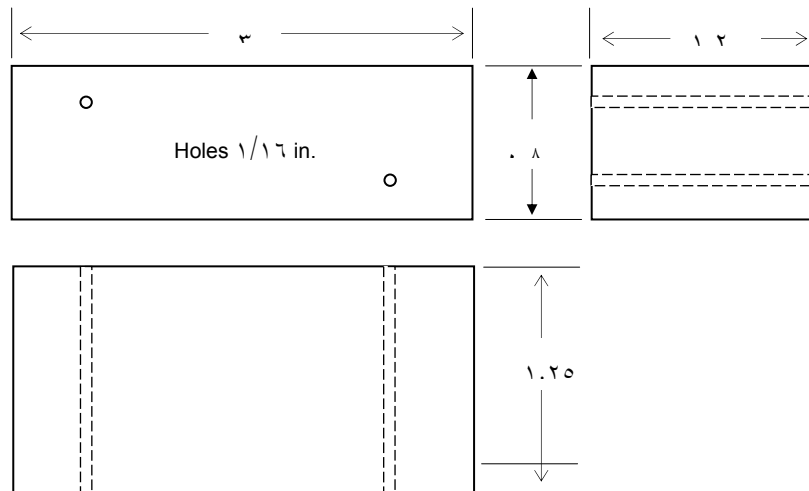
در شکل ۸-۱۱، نمونه تنظیم DSC مشاهده می گردد. این نمونه نیز توسط استاندارد های ASTM و AWS برای تنظیم درجه حساسیت آزمایش جوش با پروب های زاویه ای طراحی شده است. این نمونه به لحاظ دارا بودن دو قوس ۱ و ۳- اینچ و یک شیار به عرض ۰.۰۳۲ اینچ برای انواع تنظیم ها قابل استفاده می باشد و چنانچه ضرایب اتلاف انرژی برای قطعات کار محاسبه گردد و دسی بل معادل حد پذیرش تعیین شود، بجای نمونه مرجع (DAC) قابل استفاده خواهد بود.



شکل ۸-۱۱، نمونه تنظیم DSC با دو قوس ۱ و ۳- اینچ

( Sensitivity Calibration Block )

این نمونه نیز از سری نمونه های استاندارد های ASTM و AWS می باشد که برای تنظیم درجه حساسیت عیب یابی در آزمایش جوش ها معرفی شده است . چنانچه میزان اتلاف انرژی صوتی برای قطعات مورد آزمایش محاسبه شده باشد، از این نمونه می توان بجای نمونه تنظیم مرجع DAC استفاده نمود ( شکل ۱۲-۸ ) .



شکل ۱۲-۸ ، نمونه تنظیم S.C.B ( ابعاد به اینچ )

## ۱۲ - نمونه های F.B.H :

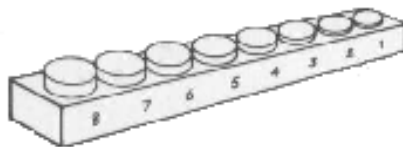
( Flat-Bottom-Holes )

نمونه های F.B.H بصورت سری چندتایی به شکل استوانه ساخته می شوند که هر استوانه دارای یک سوراخ تخت ( انتهای سوراخ ) با قطر و عمق معینی می باشد . هر تعداد استوانه در سری های ۸، ۱۰ و ۱۹ تایی با کد مشخصی معرفی می شوند که روی هر استوانه نیز مشخصات کامل شامل سری ساخت ، جنس ، قطر سوراخ و فاصله انتهای سوراخ تا سطح تماس نوشته می شود .

## ۱۳ - نمونه استوانه ای ( LSW / M ) , V W, Block :

نمونه استاندارد VW تقریباً مشابه نمونه LSW است که بشکل حلقه های استوانه ای به قطر ۱۵ میلی متر و در سری های هشتتایی ساخته می شوند. ضخامت استوانه ها به ترتیب شماره آنها از یک میلی متر

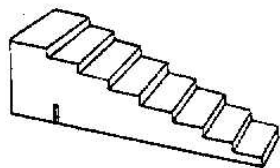
تا ۸ میلی متر می باشد که روی جعبه حامل هر سری، ضخامت و جنس نمونه ها نوشته شده است ( شکل ۱۳-۸) .



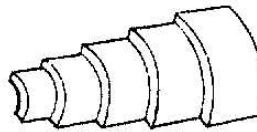
شکل ۱۳-۸، نمونه VW

#### ۱۴ - نمونه پله ای ساده و ربع استوانه ای :

در شکل ۱۴-۸، دو نمونه تنظیم پله ای با مشخصات زیر مشاهده می گردد :  
نوع الف به شکل پله ای ساده و مخصوص تنظیم محور افقی برای ضخامت سنجی قطعات تخت ساخته می شوند .  
نوع ب، به صورت ربع استوانه ساخته شده و مخصوص تنظیم محور افقی برای ضخامت سنجی قطعات قوس دار می باشد .



نوع الف پله ای ساده



نوع ب ربع استوانه ای

شکل ۱۴-۸

#### خواص عمومی نمونه های استاندارد :

همانطور که در ابتدای بخش گفته شد ، نمونه های استاندارد براساس ویژگی های خاصی توسط مؤسسات معتبر طراحی و ساخته شده و خواص ساختاری و مشخصات ابعادی آنها مورد تأیید سازمانهای استاندارد قرار می گیرد. بنابراین در صورت اقدام به ساخت نمونه استاندارد ، رعایت نکات زیر ضروری خواهد بود .

### ۱ - بی عیب بودن

قطعات انتخاب شده برای ساخت نمونه باید به لحاظ ساختار متالورژی کاملاً هموزن، همگن با دانه بندی ریز بوده و عاری از هرگونه عیب نظیر ناخالصی، حفره گازی، دو پوستگی و جدایش ( Segregation ) باشد .

### ۲ - جنس نمونه های استاندارد ( طبق ۴۳۳۱ BS )

نمونه فولادی

Low or Medium - Carbon Ferritic Steel ( Killed )

Normalized , Grain - refined & Homogeneous

### ۳ - زبری سطح

پس از اتمام هر گونه عملیات حرارتی ( بدون عملیات سخت کاری ) ، حد زبری سطح نمونه استاندارد ، نباید از  $0.8 \mu m$  بیشتر گردد .

### ۴ - اتلاف انرژی صوتی

در صورتی که یک پروب صفر درجه با فرکانس ۴ مگاهرتز و قطر ۲۲ میلی متر روی نمونه قرار گیرد، اتلاف انرژی صوتی بین دو پالس تکراری، که اولین پالس آن در فاصله بیش از سه برابر حوزه نزدیک قرار گرفته باشد، باید ۶ دسی بل گردد . حداکثر تغییر تا منفی و مثبت یک دسی بل مجاز خواهد بود .

### ۵ - ابعاد

تغییرات در اندازه ابعاد نمونه در مقایسه با نمونه های استاندارد تا حداکثر مثبت و منفی ۰/۱ میلی متر مجاز می باشد .

### چند توصیه برای نمونه های مرجع

در تعریفی که از نمونه مرجع شد، نمونه مرجع باید همجنس و کاملاً مشابه قطعات مورد آزمایش باشد، لذا نکات زیر برای کاربرد نمونه های مرجع ضروری می باشد :

۱ - حتی الامکان نمونه مرجع از بین قطعات مورد آزمایش انتخاب و تهیه گردد . با چنین گزینه ای کلیه پارامترهای تنظیم واقعی خواهند بود .

۲ - برای آزمایش جوش طولی لوله ها و قطعات استوانه ای فقط از نمونه مرجعی با قوس مشابه استفاده گردد و در صورت تفاوت جنس، می توان از طریق محاسبه اتلاف انرژی صوتی دسی بل معادل را بدست آورد .



- ۳ - مناسبترین نمونه مرجع در قالب کنترل کیفیت، نمونه DAC می باشد که نتیجه آزمایش فقط حد مردود و قبول بودن علامت واکنش را در مقایسه با نمودار DAC مشخص می کند.
- ۴ - برای آزمایش قطعاتی با ضخامت کمتر از ۲۰ میلی متر، تهیه نمونه مرجع با یک سوراخ کافی خواهد بود و رسم نمودار DAC الزامی نمی باشد .
- ۵ - ابعاد نمونه مرجع و عیوب مصنوعی مطابق استاندارد آزمایش انتخاب می گردد .
- ۶ - حد زیری سطح نمونه مرجع باید مطابق سطح قطعات مواد آزمایش باشد و در صورت تفاوت باید ضریب تسطیح اندازه گیری شود .
-

---

تعریف واژه های آلتراسونیک  
مرتبط با آزمونهای غیرمخرب

---

**Terms & Definitions**

**Ultrasonic Testing**

صفحات ۳۰۵ تا ۳۱۳

Acoustic Impedance	مقاومت ظاهری مواد ( در مقابل انتقال امواج صوتی )
Acoustic Couplant	سیال رابط امواج صوتی
Amplitude	دامنه ( ارتفاع علائم در صفحه تصویر آلتراسونیک )
Amplifier	تقویت کننده ( دسی بل )
Angle of Beam Spread	زاویه گسترش طیف امواج در حوزه دور
Angle of Incidence	زاویه برخورد امواج با سطح ورود
Angle of Reflection	زاویه انعکاس
Angle of Refraction	زاویه انکسار
Angle Probe	پروب زاویه ای
Angle of Squint	زاویه انحراف راستای امواج ( دو دید ، لوچ )
Angulation	تکنیکی است که با تابش امواج از چند زاویه، موقعیت عیب بدست می آید.
A- Scan Display	صفحه تصویر سیستم آ اسکن
Attenuation	اتلاف انرژی
Attenuation Coefficient	ضریب اتلاف انرژی
Attenuator	کلید تنظیم دامنه به نسبت اتلاف انرژی
Audio frequency	فرکانس قابل شنوایی ( بین ۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز در ثانیه )
AVG ( DGS ) Diagram	نمودار فاصله ، شدت و اندازه عیب
Back-Wall Echo	پالس انعکاس از ضخامت
Base Line	محور افقی صفحه تصویر
Beam Angle	زاویه طیف امواج
Beam Axis	محور مرکزی طیف امواج
Beam Emission Point	نقطه خروجی طیف امواج
Beam Index	مرکز نقطه خروجی طیف امواج
Beam Profile	مقطع امواج ( نیمرخ طیف )
Beam Spread	گسترده گی طیف
Boundary Echo	انعکاس پالس ناخواسته :

انعکاس پالس امواج در برخورد زاویه ای با مرز یک مانع مسطح جداری .

B-Scan	سیستم تصویر برش مقطعی ( بی اسکن )
Calibration Block	نمونه تنظیم
Combined Double Probe	پروب دو کریستاله فرستنده و گیرنده
Compressional Wave	امواج کمپرسی ( نام دیگر امواج طولی )
Contact Scanning	آزمایش با تماس مستقیم پروب و سطح کار
Continuous Wave	فاصله سکون بین پالس ها ( موج پیوسته )
C-Scan Display	سیستم تصویری از نمای بالای ( سی اسکن )
Couplant	سیال رابط بین پروب و سطح تماس
Corner Effect	برخورد جداری امواج با چند سطح ( اثر گوشه )
Critical Angles	زوایای بحرانی ( $27/3$ و $56/4$ درجه )
Cross Noise	امواج سطحی ناخواسته ( پارازیت ) : به علت خرابی عایق در پروبهای دو کریستاله بین فرستنده و گیرنده تولید می گردد .
Cross Talk	عایق بین کریستال ها در پروب دو کریستاله
Crystal	کریستال ( جسم پیزوالکتریک )
Crystal Array	آرایش کریستال ها
Crystal Backing	ماده پشت کریستال ( در پروب )
Crystal Mosaic	دو کریستال همجنسی که بهم وصل ( چسبانده ) شده اند .
Curved Crystal	کریستالی که سطح تماس آن قوسی باشد .
Cylindrical Reflector	مانع و یا عیب لوله ای شکل .
D.A.C ( Distance Amplitude Correction )	تعدیل دامنه نسبت به فاصله .
Damped Train	رشته پالس هائی که دامنه آنها یکنواخت باشد.
Damping	عمل ملایم نمودن ارتعاشات کریستال
Dead Zone	حوزه مرده ( ناحیه پر فشار جلوی کریستال )
Decibel	واحد شدت صوت / یکدهم بل
Delay Time- Base Line	زمان تأخیر در محور افقی صفحه تصویر
Decay Technique	تکنیک نزولی : روشی است که با مطالعه افت دامنه انعکاس امواج ، عیوب بررسی می شوند.

Defect Detection Sensitivity	درجه حساسیت آشکارسازی عیوب
Depth Scan	تکنیک پوشش عمقی ( تعیین بعد عمقی عیب )
Diffraction	انحراف مسیر امواج
Diffuse Reflection	انعکاس امواج با زاویه ای نابرابر
Directional Sensitivity	حساسیت نسبی دامنه انعکاس و زاویه برخورد امواج با عیب
Distance Amplitude Correction Curve	منحنی تعدیل دامنه انعکاس نسبت به فاصله
Dispersion Sound	پراکندگی امواج در برخورد با سطح بسیار ناهموار
Divergence	گسترش طیف امواج
Double Probe Technique	تکنیک استفاده از دو پروب فرستنده و گیرنده مجزا
Double-Traverse Technique	تکنیک استفاده از گام کامل
Double Bounce Technique	روش استفاده از سه نیم گام ( برای ضخامت های کم )
Double Crystal Probe	پروپ دو کریستاله
Double Transceiver Technique	تکنیک دو پروپ فرستنده گیرنده :
	روش است که از دو پروپ استفاده می گردد بطوریکه هر پروپ همزمان و به تنهایی فرستنده و یا گیرنده خواهد بود .
Echo	به هر پالس مجزا در صفحه تصویر گفته می شود .
Echo Ghost	پالس ناخواسته :
	که به علت تداخل فرکانس تکرار پالس با فرکانس تأخیر دهنده زمان حرکت الکترونها در محور افقی در صفحه ظاهر می گردد.
Echo Spurious	پالس های مزاحم و ناخواسته ( پالسهای پارازیتی )
Effective Beam Angle	زاویه مؤثر امواج در برخورد با سطوح قوس دار
Electro-Magnetic Acoustic Transducer	پروپ معروف به EMA :
	در این نوع پروپ ، امواج ماوراء صوت از طریق تقاطع خطوط دو میدان مغناطیسی و القای جریان گردابی تولید می گردد .
Effective Beam Profile	مقطع مؤثر طیف امواج
Electronic Noise	علائم ناخواسته الکترونیکی در صفحه تصویر
Expanded Time Base	گسترش طولی محور افقی

Far Field	حوزه دور
Flat Bottom Hole	نمونه تنظیم با سوراخ هائی که انتهای آن تخت باشد.
Focussed Probe	پروب های کانونی و متمرکز شده
Frequency	فرکانس ( هرتز ، کیلوهرتز و مگاهرتز )
Fresnel Region ( Zone )	ناحیه فرزنل یا حوزه نزدیک
Full Skip Technique	تکنیک استفاده از گام کامل
Fundamental Frequency	فرکانس پایه ( تشدید صوت )
Gain Control	کلید کنترل دسی بل
Gap Scanning	تکنیک آزمایش با فاصله دادن پروب از سطح تماس
Gate	محدود کننده کنترل دامنه در بخشی از محور افقی
Ghost Echo	پالس ناخواسته
Grass	علائم ریز چمنی روی محور افقی
Half-Skip Technique	تکنیک استفاده از نیم گام
Hard Face Probe	پروبی که سطح جلوی آن از جنس سخت و ضد سایش باشد .
Hard Wave	موج سخت :
	نوعی موج عرضی است که در شرایط خاص به علت تبدیل موج طولی بوجود آید.
Hertz	واحد فرکانس ، واحدهای بزرگتر آن کیلو و مگاهرتز می باشد .
Immersion Probe	پروب غوطه ور در سیال ( صفر درجه )
Immersion Testing	روش آزمایش غوطه وری
Initial Pulse Indication	پالس اولیه در صفحه تصویر ( پالس حوزه مرده )
Interface	مرز بین دو جسم
Interface Signal	پالس انعکاسی در برخورد با مرز بین دو جسم
Indirect Scan	تکنیک آزمایش بدون تماس مستقیم
Internal Echoes	پالس های ناخواسته ای که در داخل پروب بوجود می آیند .
Isobar	نواحی با فشار صوتی مشترک
Lamb Wave	امواج ورقه ای
Lateral Scan	تکنیک پوشش طولی

Linearity	خطی بودن و دقت تقسیم بندی محور افقی
Logarithmic Amplifier	آمپلی فایری که خروجی آن متناسب با لگاریتم ورودی است .
Longitudinal Wave	امواج طولی
Love Wave	نوعی امواج سطحی است که برای ضخامت های کم مناسب است .
Magnetostriction Transducer	نوعی مبدل آلتراسونیک است که : ارتعاش آن از تغییر شکل بعضی فلزات مانند نیکل در یک میدان مغناطیسی بوجود می آید. ( حداکثر فرکانس ۲۰۰ کیلوهرتز ) .
Manual Scanning	آزمایش آلتراسونیک با حرکت دست
Maximizing	حداکثرسازی دامنه
Mode Change ( Mode Transformation )	تبدیل موج ( طولی به عرضی و بالعکس )
Multiple Echo	چند پالس ( تکرار اکو )
Near Field ( zone )	حوزه نزدیک
Noise	علائم ریز و زائد در صفحه تصویر
Normal Probe	پروب صفردرجه
Oblique Technique	تکنیک شیب دار
Operating Frequency	فرکانس زمان کار
Orbital Scanning	تکنیک پوشش دورانی
Parasitic Echo	پالس های پارازیتی
Piezo-Electric Effect	اثر پیزوالکتریک
Pitch And Catch Technique	تکنیک ارسال و دریافت روشی است که در آن یک پروب فقط فرستنده انرژی صوتی در قطعه و دیگری فقط گیرنده انعکاس امواج می باشد.
Planar Surface	عیوبی که یک سطح صاف دارند
Plane	سطح صاف
Plane Wave	امواج مسطح
Plate Wave	امواج ورقه ای
Presentation	نمایش صفحه تصویر

Probe	محفظه نگهدارنده کریستال
Probe Array	آرایش چند پروب
Probe Face	سطح تماس پروب
Probe Shoe Delay	کفشک تأخیر دهنده : بعلت فاصله پروب تا سطح تماس، پالس ها با تأخیر در صفحه تصویر دیده می شوند .
Pulse	تعداد موج در واحد زمان
Pulse Duration	زمان تکرار هر پالس ( طول پالس )
Pulse Echo Technique	تکنیک پالس اکو ( تکرار پالس در واحد زمان )
Pulse Envelope	به هر دسته موج با مشخصات یکسان گفته می شود.
Pulse Length	طول هر پالس ( عرض هم گفته می شود ) .
Pulse Repetition Frequency ( PRF )	فرکانس تکرار پالس در واحد زمان
Pulse Width	عرض پالس ( طول هم گفته می شود ) .
Quadruple Traverse Technique	تکنیک استفاده از سه گام کامل
Range	ظرفیت محور افقی صفحه تصویر
Range Resolution	حد تفکیک سازی عیوب نزدیک بهم توسط دستگاه آلتراسونیک
Rayleigh Wave	امواج سطحی ری لای
Receiver	گیرنده
Reference Block	نمونه تنظیم مرجع
Reference Standard	نمونه تنظیم استاندارد
Reflected Energy	انرژی بازتابش
Reflected Pulse	پالس انعکاسی
Reflection Factor ( Coefficient )	ضریب انعکاس
Reflecting Prism	منشور انعکاس دهنده : منشور مخصوصی که امواج را تحت زاویه معینی در اجسام هدایت می کند .
Refracted Wave	موج منکسر شده
Reflector	مانع در مقابل امواج ( عیب )
Reject Control	کنترل دامنه پالس های چمنی ( grass )



Repetition Rate	جد تکرار ( پالس )
Resolution	تفکیک سازی بین عیوب نزدیک بهم
Resonance Technique	تکنیک تشدید صوتی
Reverberation Time	زمان فنا شدن :
	زمان لازم برای نزول شدت ارتعاش در یک سیستم محدود، تا حد فنا شدن انرژی صوتی . ( تقزیباً معادل افت ۶۰ دسی بل ) .
Ringing Time	زمان بین حرکت مکانیکی کریستال تا لحظه دریافت انرژی الکتریکی .
Rotational Wave	نام دیگر امواج عرضی است .
Rotational Scan	تکنیک پوشش چرخشی
Scale Expansion	باز و بست نمودن فاصله بین پالسها در صفحه تصویر.
Scanning	پوشش دادن ناحیه تحت آزمایش با امواج
Scan Pitch	همپوشانی تکنیک های آزمایش
Scatter	پراکندگی امواج
Sensitivity Level	درجه حساسیت آزمایش
Shadow Zone	نقطه کور
	ناحیه ای از قطعه مورد آزمایش که به علت زاویه تابش و یا شکل هندسی قطعه، تحت پوشش امواج قرار نمی گیرد.
Shear Wave	امواج برشی ( عرضی )
Sidewall Echoes	پالسهای جداری
Short Pulse	پالس کوتاه
Side Lobe	وجود یک پیک در یکی از حاشیه های طیف امواج .
Single-Bounce Technique	تکنیک استفاده از گام کامل
Signal-To-Noise Ratio	مقایسه پالس یک عیب با دسی بل پالس های ریز و چمنی .
	<b>توضیح روش :</b> ارتفاع پالس انعکاس از یک سوراخ ۳ میلی متری به حد ۲۰٪ رسانده می شود، سپس دسی بل دستگاه تا حدی افزایش می یابد که ارتفاع پالسهای الکترونیکی و یا واکنش از دانه بندی به حد ۲۰٪ برسد . تفاوت دسی بل در این دو مرحله Signal to Noise Ratio خواهد بود .

Single Probe System	استفاده از یک پروب تک کریستاله
Single-Traversal Technique	تکنیک آزمایش در نیم گام
Skip Distance	فاصله یک گام
Snell's Law	قانون اسنل ( رابطه زوایای انعکاس و انکسار )
Standing Waves	امواج ساکن
Stand-off	فاصله مرکز جوش تا مرکز انتشار پروب
Straddle Scan	آرایش متقابل روش قرار گرفتن دو پروب در دو سمت جوش برای آشکارسازی عیوب عرضی .
Spherical Wave	امواج کروی
Spurious Echoes	پالس های ناخواسته
Suppression	کاستن از دامنه پالس های چمنی صفحه تصویر
Surface Wave	امواج سطحی
Swivel Scan	تکنیک پوشش دورانی
Tandem Probe Technique	تکنیک استفاده از دو پروب مجزا و هم جهت
Test Frequency	فرکانس آزمایش
Test Block	نمونه تنظیم
Test Surface	سطح کار برای آزمایش
Threshold	آستانه
Time Base	محور افقی صفحه تصویر
Time Base Range	محدوده محور افقی ( انتخاب واحد طول )
Total Attenuation	مجموع اتلاف انرژی
Total Reflection	مجموع امواج منعکس شده
Transceiver	فرستنده گیرنده ( پروب تک کریستاله )
Transducer	مبدل انرژی آلتراسونیک ( پروب حاوی کریستال )
Transmission Factor	ضریب انتقال
Transmission Technique	تکنیک انتقالی
Transmission Point	نقطه انتشار

Transmitter Pulse	پالس فرستنده
Transverse Wave	امواج عرضی
Transverse Scan	تکنیک پوشش عرضی
Triple-Bounce Technique	تکنیک استفاده از سه نیم گام
Triple-Transverse Technique	تکنیک استفاده از سه گام کامل
Twin Crystal Probe	پروپ دو کریستاله
Ultrasonic Frequency	فرکانس دستگاه آلتراسونیک
Ultrasonic Waves	امواج آلتراسونیک
Velocity of Propagation	سرعت انتشار امواج
Vee Path	مسافت طی شده امواج در یک گام
Water Path	ارتفاع ستون آب در روش غوطه وری
Wave	موج
Wavelength	طول موج
Wave Motion	جنبش موج
Wave Transformation	تبدیل موج
Wedge	وسیله ای برای جهت دادن امواج یک پروپ
Wetting Agent	ماده رابط بین پروپ و سطح کار
Zero Angle Probe	پروپ صفر درجه

### مولد پرتوی ایکس

پرتوهای ایکس از برخورد الکترون هائی با شتاب بسیار زیاد به یک جسم سخت (تنگستن) و توقف ناگهانی الکترون های شتاب دار ( ترمز )، حاصل می گردد که در اثر آن، انرژی جنبشی الکترون ها به گرما و پرتوهای ایکس تبدیل می شود .

در یک مولد اشعه ایکس ، ابتدا، یک ابر الکترونی در کاتد شکل می گیرد، سپس با ایجاد اختلاف پتانسیل زیاد بین کاتد و آند، الکترون ها با شتاب به سمت آندگسیل می شوند و در نتیجه برخورد الکترون های شتاب دار با جسم سخت، پرتوهای ایکس تولید می گردد .

تعداد الکترون های گسیل شده، تعیین کننده شدت جریان یک مولد و اختلاف پتانسیل بین کاتد و آند تعیین کننده ولتاژ مولد می باشد . با این توضیح، توانائی انرژی نفوذی یک مولد اشعه ایکس در الکترون ولت تعریف می گردد که واحدهای بزرگتر آن کیلو الکترون ولت و مگا الکترون ولت میباشند .

#### تعریف الکترون ولت :

انرژی جنبشی یک الکترون، در یک میدان الکتریکی با اختلاف پتانسیلی معادل یک ولت را یک الکترون ولت می گویند . هر الکترون ولت برابر  $1.6 \times 10^{-19}$  erg می باشد  
انرژی جنبشی الکترون از رابطه زیر بدست می آید .

$$W = \frac{1}{2} Mc^2 = e \times V \quad \text{رابطه ۱-۲}$$

$W$  - انرژی الکترون ( به ژول )

$M$  - جرم الکترون (  $9.1 \times 10^{-31}$  gr )

$C$  - سرعت بر حسب سانتیمتر در هر ثانیه ( تقریباً معادل سرعت نور )

$V$  - اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد ( بر حسب ولت )

$e$  - بار الکترون ( به کلمب ) .

اجزاء اساسی یک مولد اشعه ایکس :

- ۱ - منبع تولید الکترون
- ۲ - شتاب دهنده الکترون ها
- ۳ - جسم سخت مورد هدف الکترون ها
- ۴ - لامپ تخلیه شده از هوا ( خلاء )
- ۵ - دستگاه کنترل الکترونیکی مولد

در مولدهای اشعه ایکس منبع تولید الکترون ها، یک سیم پیچ ( Filament ) از جنس تنگستن است که با شدت جریانی بین ۳ تا ۵ میلی آمپر و اختلاف پتانسیلی بین ۵ تا ۱۵ ولت گداخته شده و الکترون آزاد می نماید . با ایجاد اختلاف پتانسیل زیاد بین کاتد و هدف، الکترون های آزاد شده با شتاب به جسم مورد هدف ( آند ) بر خورد خواهند نمود و اشعه ایکس ساطع می گردد. سیم پیچ فیلمان و جسم مورد هدف درمحفظه ای ازجنس نوعی شیشه سرامیکی، عاری از هوا ( خلاء ) قرار می گیرند. برای متمرکز نمودن جریان الکترون ها، فیلمان در یک فنجانک مخصوصی ازجنس آهن و یا نیکل خالص تعبیه شده و مانند لنزهای الکترواستاتیک، الکترون ها را به سمت نقطه مشخصی از هدف هدایت می کند . نکته حائز اهمیت در مولد های اشعه ایکس، تبدیل مقدار زیادی از انرژی جنبشی الکترون ها به انرژی حرارتی است، بطوریکه فقط در صد اندکی از مجموعه انرژی جنبشی مولد صرف تولید انرژی مفید اشعه ایکس خواهد شد. انرژی مفیدیک مولد اشعه ایکس از رابطه زیر بدست میآید :

$$E = 1.4 \times 10^{-7} \times Z \times V \quad \text{رابطه ۲-۲}$$

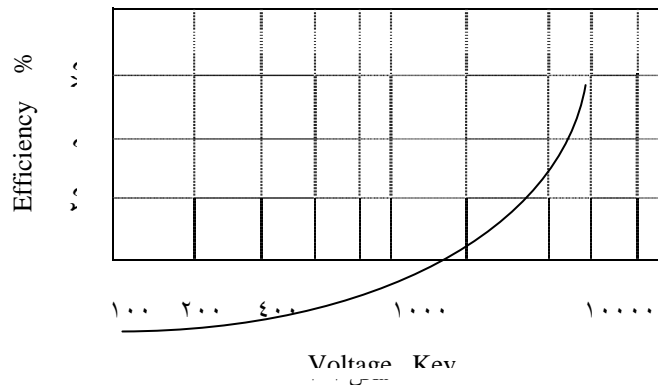
E - راندمان مفید انرژی جنبشی ( در صد )

Z - عدد اتمی جسم سخت ( تنگستن )

V - اختلاف پتانسیل مولد (ولتاژ )

با توجه به رابطه فوق بخوبی مشخص است، که حداکثر انرژی جنبشی الکترون ها، به انرژی حرارتی تبدیل خواهد شد و مقدار بسیار اندکی از آن به اشعه ایکس تبدیل می گردد.

در شکل ۲-۱ نمودار راندمان مفید مولدهای اشعه ایکس در ترازهای مختلفی از انرژی مشاهده می گردد، هر چه اختلاف پتانسیل دستگاه مولد اشعه ایکس کمتر باشد، راندمان مفید کمتر و تبدیل انرژی به گرما بیشتر خواهد شد. مثلا در یک مولد اشعه ایکس با اختلاف پتانسیل ۲۵۰ کیلو الکترون ولت، کمتر از ۳٪ به انرژی مفید و ۹۷٪ آن به انرژی گرمائی تبدیل می شود.

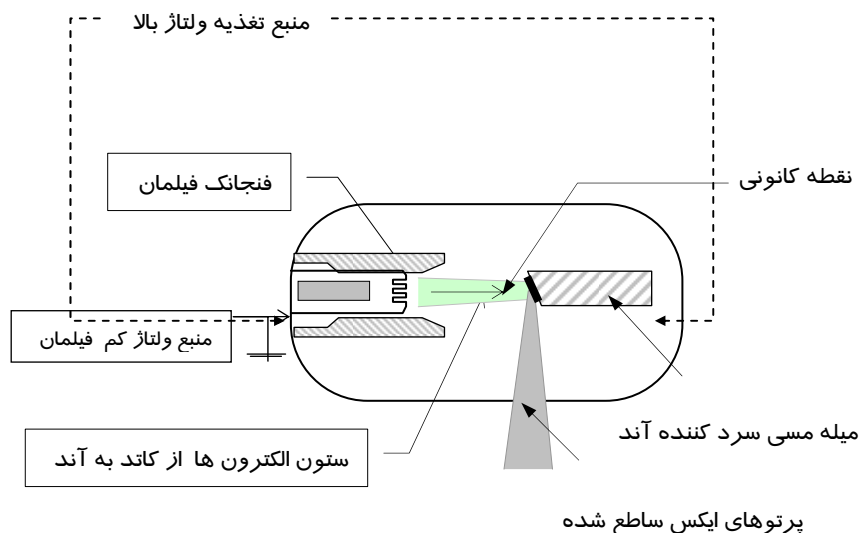


از طرفی ضمن هدر رفتن بخش اعظمی از انرژی جنبشی، حرارت ناشی از چنین فرآیندی موجب گرم شدن شدید مولد اشعه می گردد و یکی از عوامل رایج در خراب شدن دوربین های اشعه ایکس وجود همین حرارت است. بهمین جهت روشهای سردنمودن جسم مورد هدف الکترون ها، یکی از مهمترین فاکتورهای ساخت مولدهای اشعه ایکس به شمار می آید.

البته یکی از دلایل انتخاب فلز تنگستن در موقعیت هدف (آند)، نقطه ذوب بسیار بالای آن است که حدود ۳۳۷۰ درجه سانتی گراد می باشد.

بمنظور پیشگیری از ذوب شدن آند، آنرا درون قطعه ای از جنس مس تعبیه می کنند تا حرارت از طریق مس به خارج از لامپ هدایت شود. معمولا برای دستگاه هائی با انرژی زیاد، جسم هادی حرارت (مس) نیز در سیالی مانند روغن غوطه ور شده و روغن توسط جریان آب خنک می گردد.

در نوع دیگری از مولد های اشعه ایکس، آند بوسیله یک سیستم خنک کننده گازی که در داخل محفظه تعبیه شده، سرد می شود.



پرتوهای ایکس ساطع شده

شکل ۲-۲

در شکل ۲-۲ یک لامپ مولد اشعه ایکس دیده می شود، الکترون ها پس از محاط شدن در یک فنجانک تحت تأثیر اختلاف پتانسیل زیاد، بصورت یک ستون مستقیم، با شتاب به نقطه کانونی هدف برخورد نموده و پرتوهای ایکس ساطع شده است .

زاویه و پهنای پرتو های ساطع شده به زاویه و سطح مقطع برخورد الکترون ها با آند و همچنین به عوامل تشدید کننده خارجی بستگی خواهد داشت .

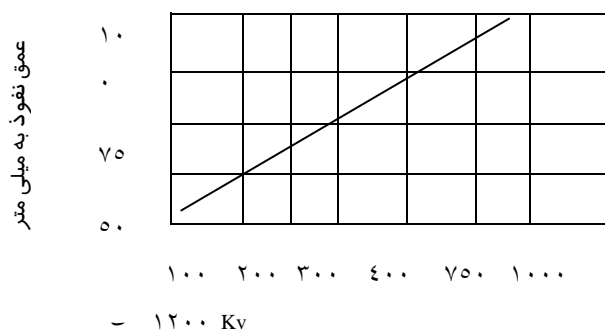
بطور کلی، پرتوهای اشعه ایکس، مانند طیفی از امواج با طول موج های متفاوتی از مولد ساطع می گردند که با افزایش اختلاف پتانسیل دستگاه، شدت پرتو ها و در نتیجه انرژی فوتون ها تأثیر می پذیرند . بنابراین هرچه اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد بیشتر گردد، سرعت برخورد الکترون ها بیشتر شده و طول موج ها کوتاهتر خواهند شد.

ذکر این نکته نیز ضروریست که در ولتاژهای کمتر از ۱۰۰ کیلو الکترون ولت، طول موج ریز و کوتاه تولید نمی گردد و شاید این بهترین توجیه برای پرتونگاری پزشکی باشد که بعلت پائین بودن ولتاژ، طول موجهای کوتاه و نفوذی تولید نشده و خطرات کمتری برای بافت های انسانی خواهد داشت . همانطور که در شکل ۲-۲ مشاهده شد، در هر مولد پرتو ایکس دو منبع تغذیه الکتریکی، ضعیف<sup>(۱)</sup> و قوی<sup>(۲)</sup> وجود دارد که منبع ضعیف با ولتاژی بین ۵ تا ۱۵ ولت برای تأمین انرژی مورد نیاز فیلمان و منبع قوی ( بیش از ۶۰ کیلو ولت ) برای شتاب دادن الکترون ها بین آند و کاتد طراحی شده اند. برای تولید انرژی قویتر، از ترانسفرمر متغیر خودکار استفاده می شود . در این نوع ترانسفرمر ها، اختلاف تعداد دور سیم پیچ های اولیه و ثانویه طوری انتخاب می گردد، که با کمترین تغییر ولتاژ، بیشترین شدت جریان تولید شود .

#### حد نفوذ پرتوها ( Penetration Power ):

اصولاً تغییرات انرژی پتانسیل بر قدرت نفوذ اشعه و میزان انرژی آن تأثیر می گذارد . با افزایش اختلاف پتانسیل، نفوذ پرتوها بیشتر خواهد شد و به بیانی دیگر عمق نفوذ رابطه مستقیم با مقدار الکترون ولت مولد دارد .

بطوریکه در نمودار شکل ۳-۲ دیده می شود، با انرژی ۲۰۰ کیلوولت، میزان نفوذ پرتو در فولاد ۲۵ میلی متر شده است و اگر پارامتر های دیگر ثابت فرض شوند، برای پرتونگاری از ضخامت بیشتر لازم است، تا ولتاژ مولد افزایش یابد .



اختلاف پتانسیل به کیلو ولت



بعلاوه با افزایش انرژی پتانسیل، عمق نفوذ پرتوها بیشتر شده و به زمان تابش کمتری برای پرتونگاری نیاز خواهد بود. بعنوان مثال اگر در یک عملیات پرتونگاری، سایر عوامل تابش ثابت فرض شوند با افزایش ۱۰٪ به اختلاف پتانسیل، زمان تابش تا ۵۰٪ کاهش خواهد یافت.

### شدت نفوذ ( Intensity ) :

بطوریکه قبلاً نیز اشاره شد، تولید پرتوهای ایکس از طریق شتاب الکترون ها از کاتد به آند صورت می پذیرد. هرچه تعداد الکترون ها بیشتر باشند، شدت اثرگذاری پرتوها نیز بیشتر خواهد شد و می توان شدت جریان یک مولد را تعیین کننده چگالی پرتوها دانست که با زمان تابش اشعه رابطه معکوس داشته و حاصلضرب آنها همیشه ثابت می باشد.

رابطه ۲-۳  $T_x I =$  عدد ثابت

T - مدت زمان تابش به دقیقه

I - شدت جریان به میلی آمپر

با استنباط از رابطه ۲-۳ می بینیم هر چه شدت جریان بیشتر گردد، به همان نسبت مدت زمان تابش کاهش خواهد یافت. در حقیقت با تعدیل شدت جریان، تعداد الکترون های بیشتری به آند برخورد نموده و در نتیجه فتون های بیشتری به صورت پرتو ساطع و به فیلم پرتونگاری می رسند، البته، افزایش شدت جریان مولدهای اشعه ایکس محدود بوده و چون ظرفیت گسترده ای برای فیلمان طراحی نمی گردد، از اینرو در رابطه ۲-۳، اغلب زمان تابش متغییر اصلی خواهد بود.

### توضیح :

بدلیل محدود بودن تولید الکترون در مدار سیم پیچ فیلمان، شدت جریان مولدهای اشعه ایکس با میلی آمپرهای محدودی طراحی می شود که معمولاً در دو تا سه مرحله و بین ۳ تا ۱۰ میلی آمپر می باشد.

**مثال :**

قطعه ای با شرایط زیر تحت آزمایش پرتونگاری قرار گرفته است .  
 شدت جریان ۲ میلی آمپر، مدت زمان تابش ۱۰ دقیقه و تصویر فیلم پرتونگاره با درجه سیاهی ۲ بدست آمده است . اگر ولتاژ و سایر پارامتر های پرتونگاری ثابت بماند و بخواهیم زمان تابش به ۵ دقیقه برسد، طبق رابطه ۲-۳ عمل می شود .

$$I_1 = 2 \text{ mA}$$

$$T_1 = 10 \text{ min}$$

$$T_1 \times I_1 = T_2 \times I_2 \Rightarrow I_2 = I_1 \times T_1 / T_2$$

$$I_2 = 2 \times 10 / 5 = 4 \text{ mA}$$

نتیجه مثال : اگر زمان تابش نصف گردد، شدت جریان باید دو برابر شود .

**انواع مولدهای پرتوی ایکس :**

ساخت مولد های اشعه ایکس در چهار مکانیزم زیر قابل تعریف هستند :

الف - سیستم خنک کننده

ب - نوع جریان

ج - اندازه نقطه کانونی

د - نوع آند و زاویه تابش

**الف - سیستم خنک کننده**

همان طور که قبلاً اشاره شد، برای پیش گیری از گداخته شدن ناحیه برخورد الکترون ها با جسم سخت هدف که از جنس تنگستن است، آن را در غلافی از مس قرار می دهند . این غلاف، حرارت را به سیستم خنک کننده دستگاه، هدایت می کند.

برای خنک نمودن غلاف مسی، از سیال آب و یا از سیستم گردش گاز استفاده می گردد، از اینرو مولد های پرتوی ایکس به دو نوع گازی و یا آبی تقسیم بندی می شوند .

## ب - حالت جریان (Electrical Waveform)

نوع جریان و دامنه نوسان ولتاژ بین کاتد و آند، در میزان انتشار پرتوها و توانائی نفوذ آنها تأثیر می گذارد. اصولاً جریان اصلی ترانسفرمر مولد اشعه ایکس متناوب است، در حالیکه مکانیزم گسیل الکترون ها، با جریان مستقیم انجام می گیرد.

در دستگاه های ضعیف، عمل یکسو سازی جریان بطور خودکار انجام می شود. در واقع در هر سیکل تناوبی وقتی جریان صفر می شود، کاتد به حالت منفی در آمده و اشعه ساطع نخواهد شد.

این نوع جریان برای مولد های ولتاژ قوی تر از ۱۰۰ کیلو الکترون ولت مناسب نمی باشد و راندمان انتشار اشعه شدیداً کاهش خواهد یافت. برای افزایش راندمان در مولد های قویتر، به کمک یکسو کننده، سیکل های منفی جریان متناوب حذف شده و راندمان مولد تا حدود دو برابر افزایش می یابد.

در نوع دیگری از مولد ها، موسوم به مدار ویلارد<sup>۱</sup>، دامنه ولتاژ طوری طراحی می شود که، با تعدیل دامنه نوسان، زمان تناوب در لحظات صفر و بدون ولتاژ مدار کوتاه تر گردد. در این حالت، اختلاف پتانسیل تقویت شده و زمان تابش تا ۳۰٪ کاهش می یابد.

با بهینه سازی مدار ویلارد، مدار های پتانسیل ثابت<sup>۲</sup> طراحی گردید. در این نوع مدارها، لحظات افت دامنه بوسیله خازن ها تقویت می گردند. در چنین حالتی تراز انرژی جنبشی الکترون ها یکنواخت شده و پرتو های ایکس با طول موجهای یکدست و نفوذی تر نسبت به سایر مدارها تولید خواهند شد.

## نکات مهم:

۱ - در مولد های جریان متناوب، در هر سیکل، کاتد به تناوب مثبت و منفی می گردد. در این حالت، چنانچه آند بیش از حد بحرانی گرم شده باشد، در سیکل منفی جریان، آند نیز مانند یک فیلمان الکترون آزاد خواهد نمود. الکترون های آزاد شده با شتاب معکوس به سمت فیلمان برگشته و سیم پیچ فیلمان ذوب خواهد شد (اصطلاحاً دوربین می سوزد).

۲ - همواره باید از ظرفیت متوسط مولدها استفاده نمود. گرمای شدید حاصل از تکرار کار با حداکثر ظرفیت، موجب بالا رفتن فشار درون مولد و سوختن فیلمان خواهد شد.

۱- Villard Circuit Waveform

۲ - Constant Potential

### ج - اندازه کانون تابش ( Focal Spot Size )

کانون تابش به سطح مقطعی از آند ( هدف ) اتلاق می گردد، که الکترون ها با شتاب به آن تابیده می شوند. اندازه و زاویه این نقطه از دو جنبه بسیار اهمیت دارد اول آنکه با مساحت کمتر، انرژی کمتری به گرما تبدیل خواهد شد و دوم آنکه، با مساحت و زاویه مناسب، عمق نفوذ پرتو ها بیشتر شده و تصویر پرتونگاره با وضوح بهتری دیده می شود.

دوربین های مولد اشعه ایکس، از نقطه نظر اندازه مساحت نقطه کانونی، به سه گروه زیر تقسیم می شوند :

#### ۱ - نقطه کانونی عادی ( Normal Focal Spot ) :

اندازه مساحت کانونی، بین  $1 \times 1$  تا  $5 \times 5$  میلی متر است .

#### ۲ - نقطه کانونی کوچک ( Mini Focal Spot ) :

اندازه مساحت کانونی ، بین  $0.2$  تا  $0.8$  میلی متر می باشد .

#### ۳ - نقطه کانونی ریز ( Micro Focal Spot ) :

اندازه مساحت کانونی، بین  $0.05$  تا  $0.5$  میلی متر است .

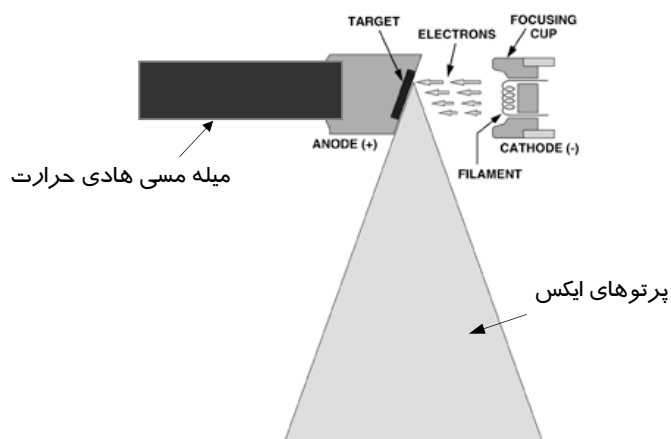
### د - جهت و زاویه تابش :

در این نوع تقسیم بندی شکل هندسی سطح کانونی آند و زاویه خروجی اشعه مورد نظر است و دوربین های مولد ایکس به دو گروه زیر تقسیم می شوند .

#### د - ۱ - تابش یک جانبه ( Directional Radiation ) :

در شکل ۲-۴ نمونه ای از انتشار یک جانبه پرتوهای از یک مولد اشعه ایکس دیده می شود. در این نوع مولدها، آند طوری طراحی شده که پرتوها فقط از یک جهت تابش داشته باشند. زاویه و عرض طیف پرتو، به حالت و شکل آند مولد بستگی خواهد داشت .

مولد تابش یک جانبه، نسبت به مولد تابش همه جانبه دارای عمق نفوذ بیشتری است و برای ولتاژهای بسیار زیاد قابل طراحی می باشند .

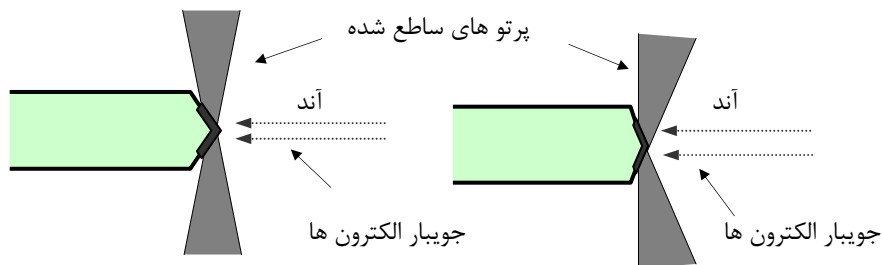


شکل ۴-۲، انتشار پرتو از یک مولد یک جانبه

#### د-۲- تابش همه جانبه (Panoramic) :

در این نوع مولد ها، ناحیه کانونی آند (هدف) و فنجانک فیلمان در کاتد طوری طراحی شده که در نتیجه برخورد الکترون ها پیرامون نقطه کانونی، پرتوهای محیطی (۳۶۰ درجه) ساطع گردند. در شکل ۲-۲، دو نوع آند مخروطی و نیمه مخروطی دیده می شوند. زاویه انتشار پرتوها به مساحت نقطه کانونی، شکل هندسی و زاویه نوک آند بستگی خواهد داشت.

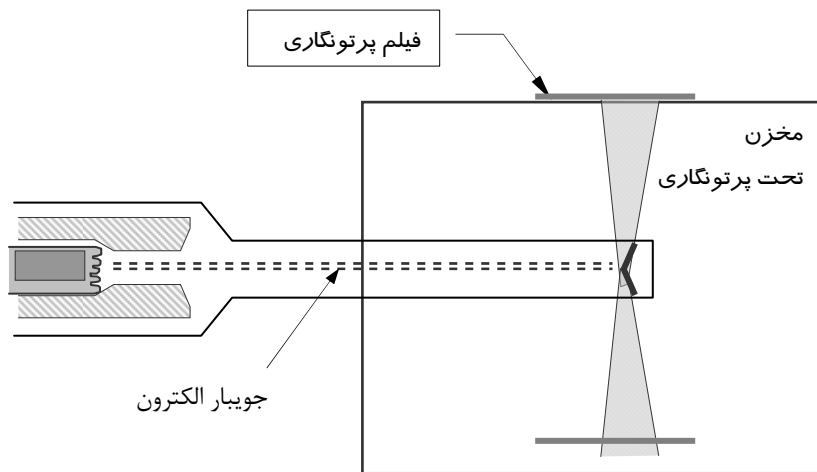
بعلاوه، آند نیز به دو حالت عادی و میله ای<sup>۱</sup> ساخته می شود، در نوع میله ای، آند در یک محفظه استوانه ای شکل تعبیه گردیده و الکترون ها به کمک لنزهای مغناطیسی به نوک آند هدایت می شوند.



شکل ۵-۲، تابش همه جانبه

۱ - Rod anode

در شکل ۲-۶، نمای یک مولد پانورامیک میله ای برای پرتونگاری از یک مخزن کوچک مشاهده می شود. میله آند جلوی مولد به درون مخزن هدایت شده و پرتوها بطور محیطی سطح داخل مخزن را تحت تابش قرار داده اند. بطوریکه در شکل مشخص است، الکترون ها به صورت جویبار در یک لوله تو خالی به سمت آند تابیده می شوند.



شکل ۲-۶

### شتاب دهنده های خطی

چنانچه الکترون ها در یک هادی توخالی<sup>۱</sup> ( امواجی با فرکانس رادیویی ) قرار گیرند، یک میدان الکتریکی محوری در مسیر هادی بوجود می آید که قادر است با افزایش شتاب خطی الکترون ها، انرژی جنبشی آنها را تا حد یک میلیون الکترون ولت در هر ۳۰ سانتیمتر تقویت نماید. از چنین پدیده ای برای ساختن مولدهای اشعه ایکس با انرژی بین ۲ تا ۱۰ میلیون الکترون ولت استفاده می شود.

۱ - Cavity of a linear Waveguide

## دستگاه کنترل ( Control Unit )

به منظور تنظیم ولتاژ، شدت جریان و زمان تابش در مولدهای اشعه ایکس، از یک سیستم کنترل جداگانه ای استفاده می گردد که در یک فاصله ایمن نسبت به مولد قرار می گیرد. معمولاً در یک دستگاه کنترل، کلیدهای تنظیم میلی آمپر، ولتاژ، ساعت تنظیم زمان تابش، کلید روشن و خاموش نمودن مولد و همچنین علائم هشدار دهنده نصب می گردد.

در دستگاه های پیشرفته، هرسیستم کنترل مجهز به حافظه و صفحه دیجیتال می باشد و کلیه اطلاعات مربوط به ویژگی مولد، فاکتور های تابش و پارامترهای محاسباتی توسط حافظه قابل برنامه ریزی خواهد بود .

هر دستگاه کنترل دارای ۲ تا ۳ گزینه انتخاب میلی آمپر دارد که بکمک نموداری مختص به مولد اشعه ایکس زمان تابش مطابق یکی از میلی آمپرهای قابل محاسبه خواهد بود . بعلاوه سیستم کنترل در زمان داغ شدن مولد اشعه ایکس بطور خودکار خاموش می شود .

## منبع پرتوی گاما

پرتوهای گاما، در نتیجه تجزیه و واپاشی اتمهای تحریک شده یک عنصر ناپایدار تولید و انتشار می یابند. اگرچه ناپایداری یک عنصر، تا لحظه رسیدن به پایداری، ممکن است با فرایندهای دیگری مانند خروج ذرات باردار نیز همراه باشد اما در بحث پرتونگاری صنعتی فقط پرتوهای گاما مورد نظر هستند که با خاصیت امواج الکترومغناطیسی و طول موجهای بسیار کوتاه قادر به نفوذ در اغلب مواد می باشند. منابع پرتوزای گاما با نام چشمه های پرتوزا و یا ایزوتوپ ها شناخته می شوند.

## ایزوتوپ ها

اتم های آن دسته از عناصر شیمیائی که عدد اتمی یکسان، اما عدد جرمی متفاوتی دارند، با هم ایزوتوپ می باشند. این اتم ها خواص شیمیائی تقریباً مشابهی داشته و فقط در تعداد نوترون ها با هم تفاوت دارند. بسیاری از ایزوتوپ ها به حالت ناپایدار شناسائی شده اند که اصطلاحاً، به رادیو ایزوتوپ ها موسومند.

ناپایداری هر رادیو ایزوتوپ تا یک دوره معینی از زمان بطول می انجامد، که مدت آن به جنس و نوع ایزوتوپ بستگی دارد. بطور کلی هیچ رادیو ایزوتویی قادر به حفظ ناپایداری دائم خود نمی باشد و تحت اثر فرایند های مختلفی مانند خروج ذرات آلفا، بتا، پوزیترون، (گیراندازی الکترون) و ساطع شدن گاما به تدریج به پایداری خواهد رسید.

ایزوتوپ ها در هر دو حالت طبیعی و مصنوعی یافت می شوند.

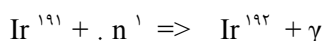
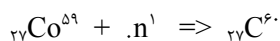


ایزوتوپ های طبیعی

هرگاه تعداد نوترون های موجود در اتم عنصری، بیشتر از ۱/۵ برابر پروتون های آن باشد، رادیو ایزوتوپ طبیعی نامیده می شود. اصولاً عناصری که عدد اتمی آنها بیش از ۸۲ باشد، از چنین خاصیتی برخوردارند.

ایزوتوپ های مصنوعی

چنانچه عنصری بوسیله نوترون بمباران شود، اتم آن عنصر با جذب نوترون، به یک ایزوتوپ ناپایدار تبدیل می گردد. مثلاً بوسیله بمباران نوترون های حرارتی، عنصر پایداری، مانند کبالت ۵۹، به عنصر ناپایدار کبالت ۶۰ تبدیل می شود. همچنین ایریدیوم ۱۹۲، محصول بمباران نوترونی ایریدیوم ۱۹۱ می باشد. نوترون ها ذرات بدون بار (الکتریکی) هستند که می توانند انرژی خود را در برخوردهای متفاوتی با هسته یک اتم از دست بدهند.



- ایزوتوپ سیزیم ۱۳۷ از این قاعده مستثنی بوده و محصول فرآیند شکافت اورانیم است و در راکتورهای هسته ای تولید می شود.

نیمه عمر ( Half Life )

فرآیند تجزیه خود به خودی هسته های ناپایدار، برای رسیدن به پایداری، با کاهش مداوم و پیوسته شدت انرژی پرتوئی یک عنصر پرتوزا همراه می باشد. در یک تعریف ساده، زمان لازم برای واپاشی نیمی از تعداد اتمهای موجود از یک عنصر ناپایدار را، زمان نیمه عمر آن عنصر می گویند.

هر ایزوتوپ دارای نیمه عمر مشخصی است و بعد از هر نیمه عمر به تدریج از شدت انرژی پرتوزایی آن کاسته می شود. مثلاً نیمه عمر یک چشمه ایریدیم ۱۹۲ فقط ۷۴ روز است و اگر انرژی اولیه آن ۶۰ کوری باشد، پس از چهار نیمه عمر قدرت آن به ۳/۷۵ کوری خواهد رسید.

### نزول پرتوزایی :

در تعریف نیمه عمر گفته شد که انرژی هر منبع پرتوزای گاما پس از یک دوره زمانی معین به نصف می رسد. اما سیر نزولی هر چشمه بصورت پیوسته و لحظه به لحظه ادامه دارد بطوریکه در هر لحظه تعدادی از هسته های عنصر تجزیه شده و از شدت پرتوزایی چشمه کاسته می شود. معمولاً نزول انرژی یک چشمه پرتوزا، از روی جدول و یا نمودار نزول، که همراه با چشمه ارائه می گردد، قابل اخذ می باشد، اما از طریق محاسبه نیز می توان نزول شدت پرتوزایی یک چشمه را بدست آورد که در زیر به چند روش آن اشاره می شود. در یک محاسبه سرانگشتی، زمان لازم برای نزول انرژی یک چشمه تا ۱۰٪ انرژی اولیه آن، از رابطه زیر بدست می آید.

مدت زمان نزول انرژی یک چشمه تا ۱۰٪ انرژی اولیه  $\text{Half life} \times \frac{10}{3}$

طبق همین رابطه، کاهش انرژی یک چشمه ایریدیم ۱۹۲ تا حد ۱۰٪ انرژی اولیه آن ۲۴۶ روز (۸ ماه و شش روز طول خواهد کشید).

$$10 / 3 \times 74 = 246 \text{ day}$$

$$246 / 30 = 8 \text{ month} + 6 \text{ day}$$

این مدت زمان برای کبالت ۶۰ حدود ۱۷ سال و ۱۷۵ روز خواهد شد.

$$10/3 \times (5 \times 365 + 90) = 19150/3 = 6383 \text{ day} \quad \text{روز } 6383$$

$$6383 / 365 = 17.48 \Rightarrow 17 \text{ year} + 175 \text{ day} \quad \text{۱۷ سال و } ۱۷۵ \text{ روز}$$

حدنزول انرژی یک چشمه پرتوزای ایریدیم ۱۹۲، پس از هر ۲۴ ساعت، برابر با یک در صد یک هفتادم قدرت آن می باشد (رابطه ۳-۱):

$$1/100 \times 1/70 \times \text{Half-life} = \text{decay rate per day} \quad \text{رابطه } ۳-۱$$

بطورمثال انرژی یک چشمه ایریدیم ۱۹۲ به قدرت ۶۰ کوری پس از ۳ روز به شرح زیر محاسبه می گردد.  
 نزول پرتوزائی ایریدیم ۱۹۲ در هر ۲۴ ساعت  $1/100 \times 1/70 \times 74 = 0.01057$   
 انرژی باقیمانده پس از ۲۴ ساعت

$$60 \times 0.01057 = 0.6342 \Rightarrow 60 - 0.6342 = 59.3658 \text{ curie}$$

انرژی باقیمانده پس از ۲۴ ساعت دوم

$$59.3658 \times 0.01057 = 0.628 \Rightarrow 59.3658 - 0.628 = 58.7378 \text{ ci}$$

$$58.7378 \times 0.01057 = 0.62 \Rightarrow 58.7378 - 0.62 = 58.1178 \text{ ci}$$

پس از ۲۴ ساعت سوم

محاسبات فوق بصورت سر انگشتی و برای زمان های کوتاه قابل استفاده است، اما در محاسبه کلاسیک و دقیق تر، تعداد اتم های تجزیه نشده یک چشمه، در لحظه t از رابطه زیر بدست می آید .

$$N = N_0 \exp(-\lambda t) = N_0 \exp(-0.693 t / T) = N_0 \times e^{-0.693 t / T}$$

رابطه فوق بصورت زیر نیز نوشته می شود :

$$e^{-0.693} = 1/2$$

$$N = N_0 / 2^{t/T} \quad \text{رابطه ۳-۲}$$

N - تعداد اتم های تجزیه نشده

N<sub>0</sub> - تعداد اتم های اولیه

λ - ضریب ثابت واپاشی

t - زمان طی شده      T - زمان یک نیمه عمر

مثال :

انرژی یک منبع ایریدیم ۱۹۲ به قدرت ۶۰ کوری بعد از گذشت ۱۰ روز چقدر خواهد شد؟

$$N = N_0 / (2)^{t/T}$$

$$N = 60 / (2)^{10/74}$$

$$N = 60 / 1.098 \Rightarrow N = 54.6 \text{ curies}$$

بطوریکه در مثال مشاهده می شود انرژی یک چشمه ایریدیم ۱۹۲ پس از گذشت ۱۰ روز به ۵۴/۶ کوری رسیده است .

انرژی چشمه پرتوزا

اصولاً توانائی منابع پرتوزای گاما نیز مانند مولدهای اشعه ایکس، در واحد الکترون ولت تعریف می گردد، البته علی رغم واحد مشترک الکترون ولت در هر دو نوع پرتوی ایکس و گاما، قدرت نفوذ آنها برابر نمی باشد. بطور مثال؛ توانائی نفوذ پرتوهای یک چشمه کبالت ۶۰، با میانگین انرژی Mev ۱.۲ ( ۱.۳۳+۱.۱۷ ) ( معادل توانائی نفوذ پرتوهای یک مولد اشعه ایکس به قدرت Mev ۳ خواهد بود .

قدرت چشمه ( Source Strength )

یکی از خواص مهم یک ایزوتوپ ناپایدار، توانائی اثرگذاری آن در واحد زمان است که به تعداد فوتون های ساطع شده از یک چشمه پرتوزا بستگی دارد . واحد پرتوزائی یک چشمه پرتوزا بکرل ( Becquerel ) می باشد . هر بکرل معادل یک واپاشی در ثانیه است که بدلیل کوچک بودن بکرل، از واحد کوری ( Curie ) استفاده می گردد .

هر یک کوری با حرف مخفف Ci برابر با یک گیگا بکرل Giga Bq و معادل  $۳.۷ \times ۱۰^{۱۰}$  واپاشی در ثانیه می باشد .

پرتوزائی ویژه ( Specific Activity )

پرتوزائی ویژه بیان کننده، چگالی پرتوزائی یک چشمه پرتوزا می باشد که در واحد کوری در گرم و یا کوری در سانتی متر مکعب اندازه گیری می شود . در مقایسه بین دو منبع پرتوزا با قدرت مساوی، چشمه ای که پرتوزائی ویژه آن بیشتر است، حجم کمتری دارد . اصولاً منبعی با پرتوزائی ویژه بالا ، ضریب خود جذبی کمتری داشته و تصویر پرتونگاره آن از وضوح بهتری برخوردار است .

رابطه پرتوزائی ویژه

$$S.A = ۰.۶۹۳ \times M / T \quad \text{رابطه ۲-۳}$$

S.A - پرتوزائی ویژه

M - تعداد اتم در هر گرم

T - نیمه عمر ماده

## انواع چشمه های پرتوزا :

وقتی از چشمه های پرتوزای گاما صحبت می شود، منظور چشمه های معمولی و متداولی مانند کبالت ۶۰ و ایریدیم ۱۹۲ می باشند که پس از فعال شدن، برای پرتونگاری مورد استفاده قرار می گیرند. اما دو چشمه سیزیم ۱۳۷ و تالیوم ۱۷۰ نیز از جمله چشمه های قابل استفاده برای پرتونگاری صنعتی بشمار می آیند که در جدول ۳-۱ ویژگی این چهار نوع چشمه پرتوزا مشاهده می گردد.

جلد سوم کتاب Nondestructive Testing Handbook, ASNT .

جدول ۳-۱				
ویژگی ها Characteristic	نوع چشمه			
	Cobalt	Cesium	Iridium	Thulium
Isotope	۶۰	۱۳۷	۱۹۲	۱۷۰
Half - Life	۵.۲۷ years	۳۰.۱ years	۷۴.۳ days	۱۲۹ days
Chemical form	Co	CsCi	Ir	Tm <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>
Density ( gr./cm <sup>۳</sup> )	۸.۹	۳.۵	۲۲.۴	۴
Gamma rays ( MeV )	۱.۳۳-۱.۱۷	۰.۶۶	۰.۳۱, ۰.۴۷, ۰.۶۰	۰.۰۸۴ ۰.۰۵۲
Beta rays ( MeV )	۰.۳۱	۰.۵	۰.۶	۱.۰
R/ hr-m per curie <sup>(۱)</sup>	۱.۳۵	۰.۳۴	۰.۵۵	۰.۰۰۳
MSv/h-m per gigabecquerel	۳۱۰	۸۰	۱۲۵	۰.۷
Approximate diameter /mm	۳.۰	۱۰.۰	۳.۰	۳.۰
Uranium shield Dai . /cm	۳۳	۲۰	۱۵	۵
Typical uranium shield weight ( Kg )	۲۲۵	۵۴	۲۰	۱.۰
Specific activity	High	Low	High	Low
Useful penetrating range In steel ( inch )	۲.۵ to ۸	۱ - ۴	۰.۵ to ۲.۵	۰.۱۲۵ to ۰.۵
Image quality	Poor	Good	Medium	Good

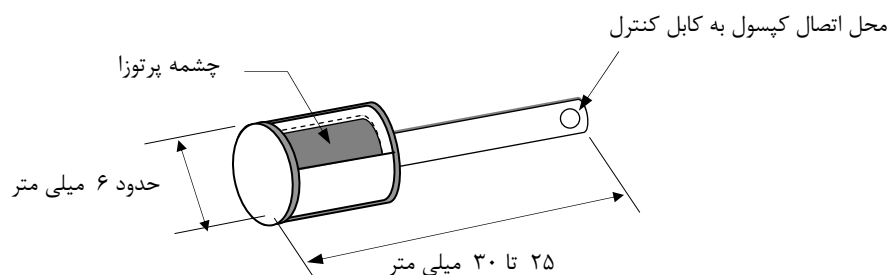
( ۱ ) - به انرژی خروجی یک چشمه، فاکتورگاما و یا تندی پرتو دهی گفته می شود، که بر حسب رنتگن درفاصله یک متری بازا هر یک کوری در ساعت اندازه گیری می شود .

### کپسول نگهدارنده چشمه

بمنظور پیشگیری از نشت و انتشار ذرات باردار آلفا و بتا و همچنین ممانعت از آلودگی چشمه پرتوزا، در مقابل تماس با سطوح اطراف، آنرا در یک کپسول فلزی ( بدون درز ) قرار می دهند که جنس فلز کپسول به نوع و قدرت چشمه پرتوزا بستگی دارد.

برای چشمه های قوی ( پرتوی تیز و سخت ) نظیر کبالت ۶۰ و ایریدیم ۱۹۲ از موادی چون پلاتین، مونل و فولاد ضدزنگ که در مقابل ضربه و خوردگی نیز مقاوم هستند، استفاده می شود، اما برای چشمه ای مانند تالیوم که پرتوی نرم دارد، از فلزی با خاصیت جذب کمتر مانند آلومینیوم استفاده می گردد. بعلاوه ضخامت کپسول ها طوری طراحی می شود که مانعی برای خروج پرتوها نباشد و فقط پرتوهای ناخواسته را جذب نمایند .

در شکل ۳-۱، نمونه ای از یک کپسول چشمه پرتوزا مشاهده می گردد. ابعاد کپسول، به اندازه و نوع چشمه پرتوزا بستگی خواهد داشت .



شکل ۳-۱ نمای برشی یک کپسول چشمه پرتوزا

### محفظه حامل کپسول ( Container device )

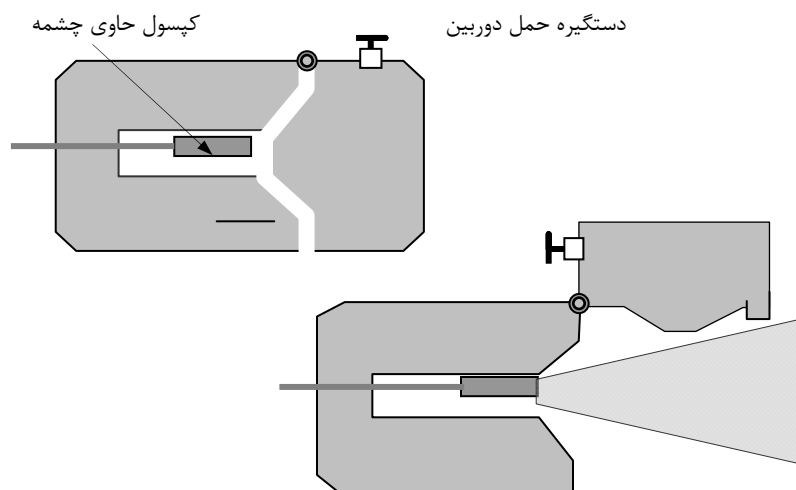
بطوری که در شکل ۳-۱ ملاحظه می شود چشمه در یک کپسول قرار گرفته است که این عمل فقط در کارخانه سازنده انجام می گیرد . اما با توجه به خطرات پرتوزائی شدید، از کپسول بدون محافظ نمی توان استفاده نمود، لذا آن را در محفظه ای مخصوص به نام دوربین پرتونگاری قرار می دهند .

یک دوربین پرتونگاری بر اساس ویژگی های فنی و استاندارد، طراحی و ساخته می شود بطوریکه در مقابل ضربه، فشار و حرارت کاملاً مقاوم بوده، به آسانی حمل گردد و کمترین نشستی پرتو را داشته باشد. طبق توصیه اکثر استانداردها، میزان دُز ( Doze ) خروجی از اطراف یک محفظه، در فاصله ۵ سانتی متری کمتر از ۱۰۰ میلی رم ( یک میلی سیورت) و در فاصله یک متری کمتر از ۱۰ رم در ساعت مجاز می باشد. هر سیورت ( Sievert ) معادل ۱۰۰ رم ( rem ) است.

## انواع محفظه های چشمه گاما

### ۱- نوع دریچه ای ( Shutter Type )

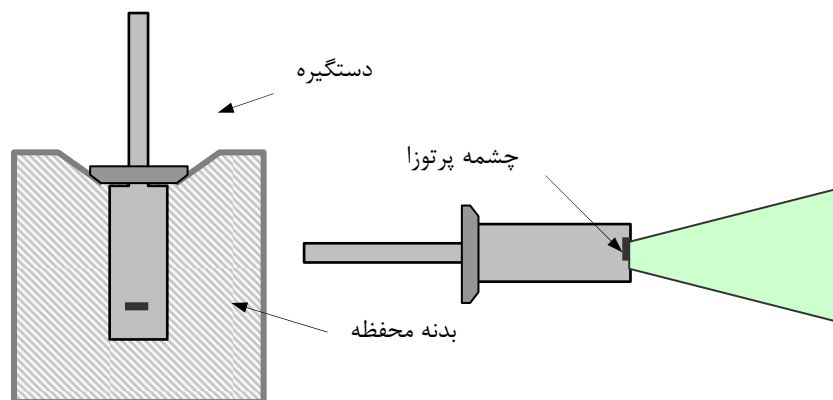
این نوع محفظه، مانند یک دوربین عکاسی مجهز به دریچه باز و بست می باشد. به علت پرتوگیری شدید پرتوکار، کار با این نوع محفظه تقریباً منع شده است ( شکل ۲-۳ ). محفظه دریچه ای، از نوع بسیار قدیمی می باشد و چون ترکیب ظاهری آن مشابه دوربین عکاسی بود، اصطلاح دوربین برای محفظه های چشمه گاما رایج گردید.



شکل ۲-۳ دوربین دریچه ای ( شاتر )

## ۲ - نوع چراغ قوه ای ( Torch Type Container )

این نوع دوربین ها بیشتر برای چشمه های کوچک با انرژی کم ساخته می شوند، اما در گذشته نوع عادی آن برای پرتونگاری صنعتی مصرف داشته است . به دلیل فاصله کوتاه دسته دوربین، همواره با خطرات ناشی از پرتوگیری همراه می باشد .



شکل ۳-۳

در شکل ۳-۳، یک نمونه دوربین چراغ قوه ای مشاهده می گردد. در زمان پرتونگاری، پرتوکار با گرفتن دستگیره ، دوربین را در مقابل موضوع پرتونگاری قرار می دهد. از دهه ۱۹۶۰ استفاده از این نوع دوربین ها برای پرتونگاری در انرژی بالا ممنوع شده است .

## ۳ - نوع کنترل از راه دور ( Remote control )

این نوع دوربین ها، بوسیله سیستم هدایت از راه دور کنترل می گردند و پرتوکار در زمان شروع پرتودهی، با چشمه پرتوزا فاصله دارد . امروزه در اغلب کار های پرتونگاری، از این نوع دوربین که از ایمنی بالاتری برخوردار است، استفاده می گردد . با این نوع دوربین، پرتوکار به کمک سیستم کنترل از راه دور، در لحظه باز شدن دریچه محفظه و شروع پرتودهی تا حدی از منبع پرتوزا فاصله خواهد داشت .



## اجزاء اصلی دوربین کنترل از راه دور

### ۱ - بدنه اصلی دوربین

به منظور حفاظت محیط در مقابل پرتو ها و امکان حمل و نقل دوربین پرتونگاری، بدنه اصلی و نگهدارنده آن، از دو لایه خارجی و داخلی ضخیم تشکیل شده است و کپسول حاوی چشمه در مرکز آن در یک لوله هدایت، قرار می گیرد. معمولاً پوسته خارجی دوربین از جنس فولاد آلیاژی سخت و لایه داخلی آن از محصولات پسماند فرآیند غنی سازی اورانیوم بنام اورانیوم مرده ( Depleted Uranium ) ساخته می شود. ضخامت و جنس پوسته خارجی و پوسته داخلی، به نوع و قدرت اسمی چشمه بستگی دارد. هر چه قدرت چشمه بیشتر باشد، لایه ها ضخیم تر و دوربین سنگین تر می گردد.

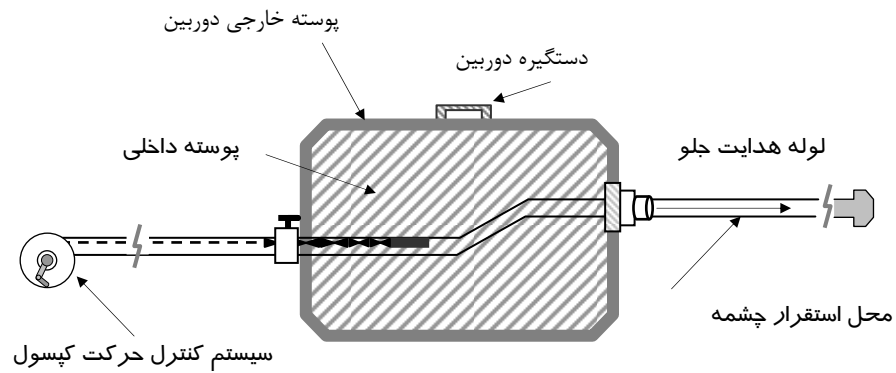
هر دوربین پرتونگاری مجهز به سیستم باز و بست و قفل می باشد و بجز مواقع پرتونگاری، در سایر شرایط دریچه ها مسدود خواهند بود. برای کنترل خروج کپسول، در جلوی دریچه دوربین، سیستمی طراحی شده که با چرخاندن آن، لوله خروجی کپسول در مقابل لوله هدایت کننده جلو قرار گیرد.

### ۲ - لوله های هدایت کپسول

برای جابجائی و حرکت کپسول حاوی چشمه در عملیات پرتونگاری، از دو لوله انعطاف پذیر استفاده می شود. لوله هدایت کننده جلوی دوربین، از یک سر مسدود می باشد تا در زمان رسیدن کپسول به انتهای لوله، از آن خارج نشود.

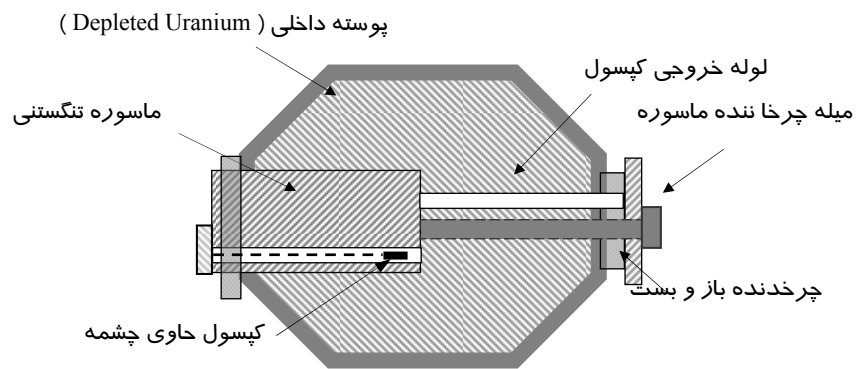
لوله هدایت کننده پشت، از یک سمت به دوربین و از سمت دیگر به یک قرقره چرخان متصل می گردد. یک رشته سیم با توانائی کششی و انعطاف پذیری قوی به دور قرقره پیچیده شده و می تواند، با حرکت در لوله هدایت کننده، کپسول را جابجا نماید.

در زمان پرتونگاری، این سیم به حلقه پشت کپسول وصل می شود و کپسول را از طریق لوله جلوی دوربین به سمت محل پرتونگاری هدایت می کند ( شکل ۳-۴ ).



شکل ۳-۴

در شکل ۳-۴، یک دستگاه دوربین پرتونگاری ایریدیوم ۱۹۲، با اتصال دو لوله (شیلنگ) جلو و عقب مشاهده می گردد، که سیم کنترل به زنجیر پشت کپسول وصل شده است.



شکل ۳-۵، محفظه یک دوربین کبالت ۶۰ در حال بسته

در شکل ۳-۵، اجزاء اصلی یک دستگاه دوربین چشمه کبالت ۶۰ مشاهده می گردد. بدلیل انرژی بسیار بالای چشمه کبالت ۶۰، معمولاً دوربین این نوع چشمه ها، پوسته داخلی و خارجی ضخیم تری دارند و دریچه باز و بست خروج و بازگشت چشمه نیز از تمهیدات حفاظتی بیشتری برخوردار است. در زمان پرتونگاری پس از باز نمودن قفل، بکمک یک چرخنده، ماسوره تنگستنی چرخانده شده و کپسول حاوی چشمه در مسیر لوله خروجی قرار می گیرد. انتقال چشمه از محفظه به نقطه تابش و بازگرداندن آن بوسیله سیستم کنترل از راه دور انجام می گیرد.

#### مقررات ایمنی :

مراقبت های ویژه حفاظتی در زمان پرتونگاری برای عموم و پرتوکاران، حمل و نقل و همچنین نگهداری دوربین های پرتوزای گاما، باید طبق دستورالعمل و مقررات سازمان انرژی اتمی ( واحد قانونی ) انجام گیرد. یک چشمه پرتوزای گاما همواره فعال می باشد لذا مراقبت از دوربین پرتوزای گاما در تمام لحظات اجباری خواهد بود .

## بخش چهارم

### تصویر پرتونگاره

#### تعاریف :

- ۱ - فیلم پرتونگاره ( Radiograph )  
به یک فیلم پرتونگاری گفته می شود که در اثر تابش پرتوهای ایکس یا گاما و عملیات ظهور و ثبوت، در حد متعادل ( قابل تفسیر ) سیاه شده باشد .
- ۲ - درجه سیاهی ( Density )  
غلظت سیاهی یک فیلم پرتونگاره تابش دیده را با درجه سیاهی تعریف می کنند . واژه رایج درجه سیاهی دانسیته می باشد.
- ۳ - درجه حساسیت ( Sensitivity )  
درجه حساسیت یک فیلم پرتونگاره عبارتست از قابلیت آشکارسازی عیوب به نسبت در صدی از ضخامت قطعه مورد پرتونگاری .

#### مقدمه :

آنچه مسلم است در بحث آزمایش های غیرمخرب، هدف اصلی از انجام پرتونگاری آشکارسازی ناپیوستگی ها و عیوب درون قطعات، روی یک تصویر پرتونگاره می باشد. برای چنین منظوری، یک فیلم حساس به پرتوها در زیرقطعه مورد آزمایش قرار گرفته و پس از تابش اشعه به قطعه و ظاهر نمودن فیلم در تاریکخانه، تصویر قطعه و ناپیوستگی های درون آن روی فیلم پرتونگاره دیده خواهد شد. یک تصویر پرتونگاره، بشرطی قابل تفسیر خواهد بود که فیلم در حد متعارف سیاه شده و تغییرات ساختاری درون قطعه با شفافیت و تباینی از درجه سیاهی قابل رؤیت باشد. رعایت پارامتر های تابش، بکار بردن تکنیک پرتونگاری مناسب، استفاده از فیلم هائی با کیفیت خوب و اجرای درست فرآیند ظهور و ثبوت، مجموعه عواملی هستند که در شکل گیری تصویر پرتونگاره تأثیر می گذارند .

عواملی که در شکل گیری یک تصویر پرتونگاره تأثیر می گذارند عبارتند از :

- ۱ - مقدار پرتو ساطع شده از منبع
- ۲ - مقدار پرتو رسیده به قطعه مورد آزمایش
- ۳ - میزان پرتو جذب شده ( توسط قطعه )
- ۴ - صفحات تشدید کننده
- ۵ - فیلم پرتونگاری
- ۶ - تکنیک پرتونگاری
- ۷ - عملیات ظهور و ثبوت

### شرح عوامل

#### ۱ - مقدار پرتو ساطع شده

##### الف - پرتوهای ایکس

مجموعه پرتوهای ساطع شده از یک مولد پرتو ایکس به شدت جریان، زمان تابش و اختلاف پتانسیل آن بستگی دارد. در یک کار پرتونگاری، چنانچه اختلاف پتانسیل و سایر عوامل تأثیرگذار، ثابت فرض شوند، فاکتور تابش، در دو عامل شدت جریان و زمان تابش خلاصه خواهد شد. با افزایش شدت جریان، الکترون های بیشتری به هدف برخورد نموده و در نتیجه پرتوهای زیادتری ساطع می گردد. همچنین با طولانی تر شدن زمان تابش، فرصت بیشتری برای تغییر ماهیت کریستال های نقره ( روی فیلم پرتونگاری ) فراهم خواهد شد.

طبق رابطه زیر ( رابطه ۳-۲، بخش ۲ )، حاصلضرب زمان تابش در شدت جریان یک مولد همواره ثابت می باشد و با تغییر هر کدام، کمیت دیگری تغییر خواهد نمود.

$$E = I_1 \times T_1 = I_2 \times T_2 = I_3 \times T_3$$

E - فاکتور تابش ( میلی آمپر-دقیقه )

T - زمان تابش ( دقیقه )

I - شدت جریان ( میلی آمپر )

**مثال ۱:**

برای بدست آوردن یک فیلم پرتونگاره با دانسیته ۲، مدت زمان تابش ۲ دقیقه و شدت جریان ۶ میلی آمپر بوده است. با فرض ثابت بودن سایر عوامل تابش، برای بدست آوردن کیفیت مشابه با زمان تابش ۳ دقیقه، شدت جریان را محاسبه می کنیم:

$$E_1 = E_2 \Rightarrow T_1 \times I_1 = T_2 \times I_2$$

$$T_1 = 2 \text{ min} \quad I_1 = 6 \text{ mA}$$

$$I_2 = I_1 \times T_1 / T_2 = 12 / 3 = 4 \text{ mA}$$

**نکته:** افزایش ولتاژ یک مولد، در اندازه طول موج های آن تاثیر دارد و به همین نسبت بر شدت پرتو نیز اثر می گذارد. در مثال فوق ولتاژ ثابت فرض شده است.

**ب - پرتوهای گاما**

مجموعه پرتوهای ساطع شده از یک منبع گاما در واحد زمان، به فاکتور تابش آن بستگی دارد که تابعی از شدت منبع پرتوزا و زمان تابش می باشد.

فاکتور تابش برای پرتونگاری با پرتوهای گاما، در مقیاس کوری دقیقه و یا کوری ثانیه بیان می شود. مثلاً اگر با یک منبع گاما به قدرت ۱۰ کوری، در زمان ۳ دقیقه، یک تصویر با دانسیته مشخصی بدست آید، فاکتور تابش ۳۰ کوری دقیقه بوده است. حال با فرض ثابت ماندن سایر عوامل، چنانچه قدرت منبع به ۵ کوری برسد، زمان تابش ۶ دقیقه خواهد شد.

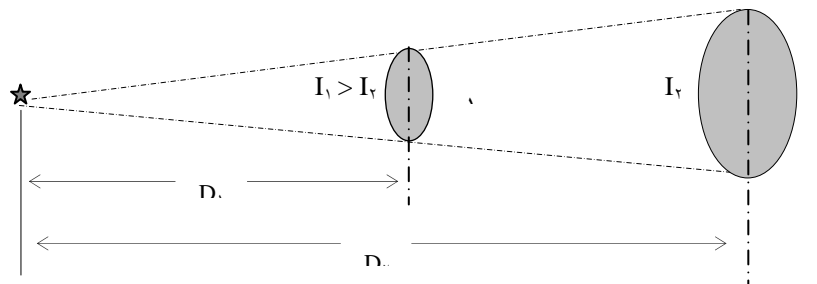
$$E_1 = E_2 \Rightarrow I_1 \times T_1 = I_2 \times T_2$$

$$10 \times 3 = I_2 \times 5 \Rightarrow I_2 = 6 \text{ min.}$$

(- E فاکتور تابش به کوری دقیقه (- T زمان تابش به دقیقه (- I قدرت چشمه به کوری

**۲ - مقدار پرتو رسیده ( به قطعه و فیلم )**

شدت و مقدار پرتو رسیده به قطعه مورد پرتونگاری، با فاصله منبع پرتو تا قطعه، رابطه معکوس دارد هر چه فاصله بیشتر گردد، میزان پرتو دریافت شده در یک نقطه فرضی کمتر خواهد شد و تابع قانون مربع معکوس می باشد.



شکل ۴-۱

$$I_1 / I_2 = (D_2)^2 / (D_1)^2 \quad \text{رابطه ۴-۱}$$

$D_1$  - فاصله منبع تا نقطه ۱

$D_2$  - فاصله منبع تا نقطه ۲

$I_1$  - شدت پرتو رسیده به نقطه ۱

$I_2$  - شدت پرتو رسیده به نقطه ۲

بطوریکه در شکل ۴-۱، مشاهده می گردد، بعلاوه گسترش طیف پرتوها و فاصله دو هدف تا منبع تابش، شدت پرتوها در نقطه ۱ به فاصله  $D_1$ ، به مراتب بیشتر از نقطه ۲ به فاصله  $D_2$  می باشد. در چنین حالتی اگر نسبت فواصل دو برابر فرض شود، شدت پرتوهائی که یک فیلم در نقطه ۲ دریافت می کند طبق رابطه مربع معکوس فاصله ها، معادل یک چهارم شدت پرتوهائی خواهد بود که به فیلم مشابهی در نقطه ۱ می رسد.

با این فرضیه چنانچه قرار باشد، درجه سیاهی فیلمی در نقطه دوم، با درجه سیاهی فیلمی در نقطه اول برابر گردد، به شرط ثابت بودن سایر عوامل، شدت پرتو برای نقطه دوم باید تا چهار برابر افزایش یابد. با این توضیح، برای محاسبه زمان تابشی متناسب با فاصله منبع تا فیلم، از رابطه قانون مربع مستقیم استفاده می گردد.

قانون مربع مستقیم ( Direct square law )

فاکتور تابش  $E_1$  در فاصله  $D_1$  ، به نسبت فاکتور تابش  $E_2$  در فاصله  $D_2$  تابع رابطه مربع مستقیم بین آنها می باشد ( رابطه ۲-۴ ) .

$$E_1 / E_2 = (D_1)^2 / (D_2)^2 \quad \text{رابطه ۲-۴}$$

$D_1$  - فاصله منبع تا نقطه ۱

$D_2$  - فاصله منبع تا نقطه ۲

$E_1$  - فاکتور تابش برای نقطه یک (  $E_1 = I_1 \times T_1$  )

$E_2$  - فاکتور تابش برای نقطه دو (  $E_2 = I_2 \times T_2$  )

مثال ۲ :

در یک کار پرتونگاری با منبع ایریدیم ۱۹۲ با قدرت ۶ کوری و با مشخصات زیر یک فیلم با درجه سیاهی ۲ ( دانسیته ) بدست آمده است .

فاصله منبع تا فیلم ۳۰ سانتی متر و زمان تابش ۲ دقیقه بوده است .

فاکتور تابش برای فاصله ۳۰ سانتی متری  $E_1 = 2 \times 6 = 12 \text{ ci-min}$

$$D_1 = 30 \text{ cm}$$

در این حال اگر فاصله از ۳۰ به ۴۵ سانتی متر افزایش یابد برای دانسیته مشابه، زمان تابش طبق رابطه ۲-۴ محاسبه می گردد ( سایر پارامترها ثابت فرض می شوند ) .

$$E_1 / E_2 = D_1^2 / D_2^2 \Rightarrow E_2 = E_1 \times D_2^2 / D_1^2$$

$$E_2 = 12 \times 45^2 / 30^2 \Rightarrow E_2 = 27 \text{ mA min}$$

$$E_2 = I_2 \times T_2$$

$$T_2 = 27 / 6 = 4.5 \text{ min}$$

البته در مثال فوق، اگر قدرت چشمه برای همان لحظه ثابت باشد، می توان بجای فاکتور تابش، فقط زمان تابش را در رابطه قرار داد .

$$T_1 / T_2 = D_1^2 / D_2^2$$

$$T_2 = 2 \times 45^2 / 30^2$$

$$T_2 = 9 / 2 = 4.5 \text{ min}$$



مثال ۳:

در یک کار پرتونگاری با مولد پرتوی ایکس، در حالیکه شدت جریان ۳ میلی آمپر و زمان تابش ۴ دقیقه بوده، دانسیته فیلمی در فاصله ۶۰ سانتی متری از منبع، معادل ۲/۵ شده است. با فرض ثابت بودن سایر عوامل پرتونگاری، چنانچه فاصله فیلم تا منبع به ۴۸ سانتی متر رسانده شود، زمان تابش برای دانسیته مشابه چقدر خواهد بود؟

طبق رابطه ۲-۴ خواهیم داشت،

$$E_1 = I \times T_1 = 3 \times 4 = 12 \text{ mA-min}$$

$$E_2 = E_1 \times D_2^2 / D_1^2$$

$$E_2 = 12 \times (48^2) / (60^2)$$

$$E_2 = 12 \times 2304 / 3600 = 7.68 \text{ mA min}$$

$$T_2 = 2.56 \text{ min} \Rightarrow 2 \text{ min} + 34 \text{ sec.}$$

معمولاً در مولدهای اشعه ایکس، میلی آمپر دستگاه محدود به یک تا دو عدد ثابت است، لذا فقط زمان تابش متغییر اصلی خواهد بود.

### ۳ - پرتوهای جذب شده

مقدار پرتوهای جذب شده توسط یک قطعه بستگی به عواملی چون ضخامت، چگالی و جنس قطعه، فاصله از منبع تابش و محدوده تراز انرژی پرتوها دارد.

**نکته مهم:**

اصولاً در ترازهای مختلفی از انرژی پرتوها، ضریب جذب مواد یکسان نمی باشد. مثلاً در انرژی حدود ۱۵۰ کیلو الکترون ولت، توانایی جذب یک قطعه سربی به ضخامت ۲۵ میلی متر، معادل ۳۵۰ میلی متر فولاد (۱۴ برابر) می باشد، در حالیکه در انرژی ۴۰۰ کیلو الکترون ولت، این نسبت به ۱۲ برابر و در انرژی ۱۰۰۰ کیلو الکترون ولت، فقط به ۵ برابر خواهد رسید.

در مثالی دیگر؛ یک قطعه فولادی به ضخامت ۶ میلی متر، در دو تابش جداگانه با دو انرژی ۸۰ و ۱۲۰ کیلو ولت پرتونگاری شده است. در حالیکه در هر دو حالت دانسیته برابری بدست آمده، اما فاکتور تابش آنها بسیار متفاوت دیده می شود (الف و ب).

الف - با انرژی تابش ۸۰ کیلو الکترون ولت، فاکتور تابش ۳۵ میلی آمپر دقیقه شده است.

ب - با انرژی تابش ۱۲۰ کیلو الکترون ولت، فاکتور تابش بسیار کمتر و به ۲/۵ میلی آمپر دقیقه رسیده است.

از مثال فوق چنین نتیجه گرفته می شود، که علاوه بر متغیرهایی مانند، جنس، چگالی و ضخامت، تراز انرژی پرتوها نیز بر ضرایب جذب مواد تأثیر می گذارند.

### فاکتور معادل فولاد :

برای سهولت در محاسبات عملیات پرتو نگاری، ضریبی برای ضخامت معادل مواد مختلف تعیین می گردد، که این ضریب بر پایه معادل فولاد بنا نهاده شده است.

در جدول ۱-۴، نسبت جذب پرتوها، در مواد مختلف، نسبت به ضخامت معادل فولاد دیده می شود و می بینیم که با پرتوهای گاما که انرژی آنها بیش از ۰.۵ MeV است، تغییرات معادل فولاد برای مواد مختلف، تفاوت کمتری دارند.

### مثال :

ضخامت معادل فولاد، برای پرتونگاری قطعه ای از جنس مس به ضخامت ۱۲ میلی متر، با چشمه گاما بشرح زیر تعیین می شود :

در جدول ۱-۴، ضریب معادل فولاد برای مس برابر با ۱/۱ می باشد، با ضرب آن در ضخامت مس، ضخامت معادل فولاد بدست خواهد آمد.

$$\text{Steel equivalent} \Rightarrow 12 \times 1.1 = 13.2 \text{ mm}$$

البته نسبت های جدول ۱-۴، بطور تقریبی قابل استفاده هستند و اصولاً به علت تأثیرگذاری عوامل مختلف، ضریب جذب مواد از رابطه و یا قانون دقیقی تبعیت نمی کند.

جدول ۴-۱ ، مقایسه فاکتور های معادل فولاد							جنس ماده
پرتوهای گاما			پرتوهای ایکس KeV				
سیزیم ۱۳۷	کبالت ۶۰	ایریدیم ۱۹۲	۴۰۰	۲۲۰	۱۵۰	۱۰۰	
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۲	فولاد <sup>۱</sup>
۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵	-	۰/۱۸	۰/۱۲	۱	آلو مینیوم <sup>۲</sup>
-	-	-	-	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۶	منگنز
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۲	فولاد ضد زنگ
۱/۱	۱/۱	۱/۱	۱/۴	۱/۴	۱/۶	۱۸	مس
۱	۱	۱/۱	۱/۳	۱/۳	۱/۴	-	روی
۱/۱	۱/۱	۱/۱	۱/۳	۱/۳	۱/۴	-	برنج
۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۴	۱۶	این کونل
۳/۲	۲/۳	۴		۱۲	۱۴	-	سرب
۵/۶	۳/۴	۱۲/۶		۲۵	-	-	اورانیم
-	-	-		۰/۳۵	۰/۴۵	-	تیتانیم

- ۱ - فاکتور معادل فولاد برای انرژی بیش از ۱۰۰ کیلو الکترون ولت می باشد .  
 ۲ - در انرژی های ۱۰۰ کیلو الکترون ولت و کمتر، آلومینیوم مبنای معادل قرار می گیرد .

#### ۴ - صفحات تشدید کننده ( Intensifying Screen ) :

اگر پرتوهائی با انرژی بیش از ۱۰۰ کیلو الکترون ولت از قطعه ای عبور کرده و به فیلمی بدون پوشش تشدیدکننده برسند، فقط ۱٪ آن جذب سطح فیلم شده و ۹۹٪ آن بدون مصرف مفید به هدر خواهندرفت ، لذا برای بدست آوردن تصویری با دانسیته متعارف، به زمان تابشی بسیار طولانی نیاز خواهد بود.

برای افزایش توانائی جذب پرتوها، از صفحات تشدیدکننده استفاده می گردد. با قرار دادن فیلم پرتونگاری در بین دو صفحه تشدیدکننده، زمینه تأثیرپذیری بیشتری برای فیلم فراهم خواهد شد .

#### ساختمان صفحات تشدید کننده :

هرصفحه تشدیدکننده، لایه ای از یک ماده فلزی مانند سرب و یا ماده ای غیرفلزی با خاصیت فلورسنسی می باشد که روی ورقه ای از جنس پلاستیک و یا مقوا چسبانده می شود. این صفحات ممکن است بصورت خشک<sup>۱</sup> و یا انعطاف پذیر<sup>۲</sup> ساخته شوند.

صفحات تشدید کننده به دو صورت یکبار مصرف و یا قابل تعویض ساخته می شوند. در نوع یکبار مصرف، ضخامت لایه ها در دو طرف فیلم برابر بوده و همراه با فیلم در یک غلاف مخصوص موسوم به کاست بسته بندی می شوند .

عمل بسته بندی فیلم های یکبار مصرف توسط سازنده فیلم در کارخانه انجام می گیرد .

در نوع قابل تعویض، فقط از صفحات سربی با ضخامت های متنوع استفاده می گردد که عملیات جاسازی صفحات در کاست مخصوص ( همراه با فیلم ) در تاریخانه و با دست انجام خواهد شد .

#### انواع صفحات تشدید کننده

##### الف - تشدید کننده سربی ( Lead Intensifying Screen )

همانطور که اشاره شد، صفحات تشدیدکننده سربی در دو نوع یکبار مصرف و قابل تعویض ساخته می شوند. در نوع یکبار مصرف، صفحات تشدیدکننده به صورت ورقه های نازک با ضخامت ثابت ( Lead foil ) همراه با فیلم در کاست ضد نور و رطوبت بسته بندی می شوند. این نوع کاست ها برای اغلب کارهای متداول پرتونگاری کاربرد دارند، اما برای پرتونگاری با انرژی بالاتر از ۴۰۰ کیلو الکترون ولت مناسب نیستند و معمولاً از صفحات سربی قابل تعویض با ضخامت های بیشتر استفاده می شود .

۱- Rigid Screen

۲ - Flexible Screen

بطور مثال، برای پرتونگاری با منبع کبالت ۶۰، که پراکندگی پرتوها در پشت قطعه و فیلم شدید می باشد، از صفحات قابل تعویض استفاده می گردد و برای جلوگیری از انعکاس پرتوهای پراکنده به پشت فیلم ( Back scattering )، صفحه سربی پشت فیلم ضخیم تر از صفحه جلوی فیلم انتخاب می گردد.

#### خواص صفحات سربی :

الف - در نتیجه تابش پرتوها به سرب، با ساطع شدن الکترون از سرب و همچنین تولید پرتوهای ثانویه، سرعت تأثیرپذیری فیلم بیشتر می شود.

ب - در برخورد پرتو ها با صفحه سربی، طول موج های بزرگ و پراکنده، جذب صفحات سربی می شوند.

ج - صفحات سربی از ورود پرتوهای برگشت شده از پشت فیلم جلوگیری می کنند و موجب بالا رفتن کیفیت تصویر و کاهش زمان تابش می شوند.

#### نکات مهم :

- در انرژی های کمتر از ۱۰۰ کیلوالکترون ولت، صفحات سربی ضخیم، خود مانعی برای عبور پرتوها خواهند بود. در چنین شرایطی بهتر است، از پوشش سربی نازک و یا از فیلم بدون پوشش سربی استفاده نمود.

- برای انرژی های بسیار زیاد، صفحات فلزی دیگری مانند مس و فولاد بهتر از سرب جواب می دهند اما زمان تابش بیشتر خواهد شد.

- در پرتو نگاری با انرژی بالا، بهتر است ضخامت صفحه سربی پشت فیلم از ضخامت صفحه جلوی فیلم بیشتر باشد. برای پرتونگاری با انرژی متوسط، ضخامت استاندارد صفحه سربی جلوی فیلم ۰/۱۲۵ میلی متر و صفحه سربی پشت فیلم ۰/۲۵ میلی متر می باشد.

- برای انرژی های بالاتر از نیم میلیون الکترون ولت و خصوصاً پرتونگاری نزدیک به زمین و دیوارهای صیقل، توصیه می شود ضخامت صفحه سربی پشت فیلم باید ضخیم تر از ۰/۲۵ میلی متر انتخاب گردد.

## ب - صفحات نمکی (Fluorescent Screen)

این نوع صفحات آغشته به کریستال های فسفری مانند تنگستات کلسیم<sup>۱</sup> و یا سولفات روی<sup>۲</sup> با دانه بندی بسیار ریز می باشد که در اثر تابش پرتوهای ایکس، گاما و نور سفید، از خود نور مهتابی ساطع می نمایند. معمولاً برای ساخت این نوع صفحات، ورقه های پلاستیکی و مقوایی به ماده فلورسنت آغشته شده و همراه با فیلم بصورت کاست یکبار مصرف در یک غلاف مخصوص و ضد نور جاسازی می شوند. ماده فلورسنت در مقابل پرتوها و نور بسیار حساس می باشد و وقتی در مقابل تابش پرتوها قرار گیرد، در یک اثر متقابل واکنش نشان داده و از خود نور بنفش ساطع نموده و می تواند فیلم پرتونگاره را سیاهتر نماید.

در اصل با تأثیرگذاری مواد فلورسنت روی فیلم، به پرتوهای کمتری برای سیاه نمودن فیلم نیاز خواهد بود. به همین دلیل با این نوع صفحات کیفیت تصویر پرتونگاره و خصوصاً وضوح و تباین تصویر بسیار ضعیف دیده می شود.

اغلب استانداردها استفاده از صفحات فلورسنتی را برای پرتونگاری صنعتی در انرژی های متوسط و بالا تر مناسب نمی دانند. از این صفحات بیشتر برای پرتونگاری پزشکی و پرتونگاری روی کاغذ استفاده می شود.

## ج - صفحات فلورومتالیک (Fluorometallic Screens)

این نوع صفحات ترکیبی از دو نوع صفحه سربی و فلورسنتی است که هر دو خاصیت را توأمأ دارا می باشند. در این نوع صفحات، سطوح ورقه هائی از سرب با لایه ای از مواد فلورسنتی پوشش داده می شود. کیفیت تصویر پرتو نگاره با این نوع صفحات بهتر از نوع فلورسنتی است اما برای پرتونگاری در کارهای حساس توصیه نمی شود.

**توضیح:** اصولاً فیلم های پرتونگاری که با پوشش تشدیدکننده فلورسنتی عرضه می شوند، به فیلم های تابش ثانویه موسومند.

۱- Calcium tungstate      ۲- Zinc Sulphide

## ۵ - تکنیک های پرتونگاری

یکی از عوامل بسیار مهم در شکل گیری یک تصویر پرتونگاره ، استفاده از تکنیک پرتونگاری مناسب می باشد. برای انجام پرتونگاری از قطعات متنوع از تکنیک های ویژه و متفاوتی استفاده می شود که شرح مفصل آنها در بخش ۸ داده خواهد شد .

## ۶ - فیلم پرتونگاری

فیلم پرتونگاری یک جزء مهم و تأثیرپذیر در یک کار پرتونگاری محسوب می گردد. اندازه دانه بندی هالوژن های نقره و خواص شیمیائی شیرایه روی سطوح فیلم از جمله عوامل تأثیرگذار در کیفیت تصویر پرتونگاره می باشند . درجه تأثیرپذیری و سیاه شدن یک فیلم پرتونگاره، به مقدار پرتو های جذب شده، روی شیرایه حساس فیلم بستگی دارد . در بخش ۵ بطور مفصل شرح داده خواهد شد .

## ۷ - عملیات ظهور و ثبوت

یک فیلم پرتونگاری، پس از تابش پرتوهای ایکس و یا گاما بصورت یک فیلم پرتونگاره با تصویری پنهانی ( Latent Image ) در می آید . فیلم پرتونگاره، زمانی قابل تفسیر خواهد بود که پس از عملیات ظهور و ثبوت، تصویر پنهانی آن قابل رؤیت گردد . فرآیند عملیات ظهور و ثبوت طی مراحل خاصی در تاریکخانه انجام می گیرد که در بخش ۶ جزئیات کامل آن شرح داده می شود .

## فیلم پرتونگاری

## مقدمه :

فیلم خام پرتونگاری یک جزء مهم و تاثیرپذیر در عملیات پرتونگاری صنعتی به شمار می آید و بخشی از کیفیت تصویر پرتونگاره به مرغوبیت و خواص آن مربوط می شود. سطح یک فیلم خام پرتونگاری آغشته به شیرایه ای حاوی ذرات بسیار ریز کریستال های نمکی نقره است که در مقابل تابش پرتوها و نور تأثیر می پذیرند .

وقتی پرتوهای ایکس و یا گاما به سطح یک فیلم خام پرتونگاری برخوردکنند، هر ناحیه از سطح فیلم به نسبت مقدار پرتوئی که جذب نموده، تغییر ماهیت فیزیکی داده و بخشی از کریستالهای نقره به فلز نقره تبدیل خواهند شد. کریستال های تابش ندیده به حالت اولیه خود باقی می مانند .

چنانچه فیلم پرتودیده در ماده شیمیائی ظاهر ساز غوطه ور شود، به علت واکنش شیمیائی ماده ظهور، برومهای نقره تابش دیده تیره شده و فیلم پرتونگاره سیاه می گردد. هر چه شدت پرتوها و زمان تابش بیشتر گردد، تغییر ماهیت کریستال ها و در نتیجه درجه سیاهی فیلم بیشتر خواهد شد . البته توقف طولانی فیلم در ماده ظاهر ساز و درجه حرارت زیاد ماده نیز موجب سیاهتر شدن تصویر خواهد شد که اصطلاحاً سیاه شدن مصنوعی گفته می شود .



### اجزاء تشکیل دهنده فیلم خام پرتونگاری

#### ۱ - بدنه اصلی فیلم ( لایه A )

بدنه اصلی یک فیلم خام پرتونگاری معمولاً از جنس پلی استر<sup>۱</sup> و مواد سلولزی تشکیل شده که به صورت ورقه ای نازک، انعطاف پذیر و مقاوم در مقابل کشش و فشارهای عادی ساخته می شود. ضخامت استاندارد این لایه حدود ۰/۱۷۵ میلی متر است .

#### ۲ - لایه چسبنده ( لایه B )

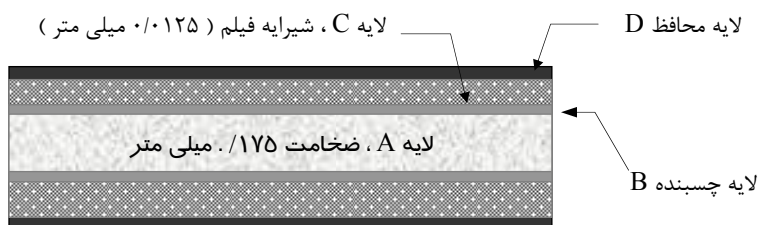
ماده ای شفاف از جنس ترکیبات سلولزی است، که برای پیوند دادن شیرایه فیلم به بدنه اصلی روی دو سطح آن قرار می گیرد .

#### ۳ - شیرایه یا امولسیون ( لایه C )

این لایه حاوی شیرایه ای از جنس ژلاتین است که کریستال های هالوژن نقره با دانه بندی ریز در آن پراکنده و معلق هستند. اندازه دانه بندی و نظم انتشار کریستال ها ، تعیین کننده کیفیت و درجه حساسیت فیلم خواهد بود .

#### ۴ - لایه سخت محافظ ( لایه D )

ماده سخت کننده ( Hardener ) برای محافظت سطح خارجی فیلم و حفظ ثبات شیرایه، روی هر دو سطح خارجی فیلم فرار می گیرد ( شکل ۵-۱ ) .



شکل ۵-۱ نمای مقطعی فیلم پرتونگاری

۱- Polyester Base

## خصوصیات یک فیلم پرتونگاری

برای تعریف کیفیت یک فیلم پرتونگاره ( پرتونگاری شده )، فاکتور هائی چون حد دانسیته، درجه حساسیت، تباین درجه سیاهی، وضوح هندسی و شفافیت تصویر مطرح می شوند، که تصویر نهائی تحت اثر عوامل پرتونگاره و نوع فیلم خام شکل می گیرد .

اما آنچه به فیلم خام مربوط می شود، مرغوبیت مواد تشکیل دهنده فیلم و اندازه و انتشار دانه های کریستال های نقره می باشد که هر دو عامل در واژه تباین قابل بررسی می باشند. هرچه انتشار دانه ها در سطح شیرایه فیلم منظم تر، اندازه دانه ها ریزتر و از چگالی بیشتری برخوردار باشد، تصویر با کیفیت و تباین بهتر بدست می آید .

### تباین تصویر ( Image Contrast )

#### تعریف :

تفاوت درجه سیاهی نقاط مختلفی از تصویر یک فیلم پرتونگاره را، که به علت تفاوت جذب پرتوها شکل می گیرد، تباین تصویر گفته می شود .

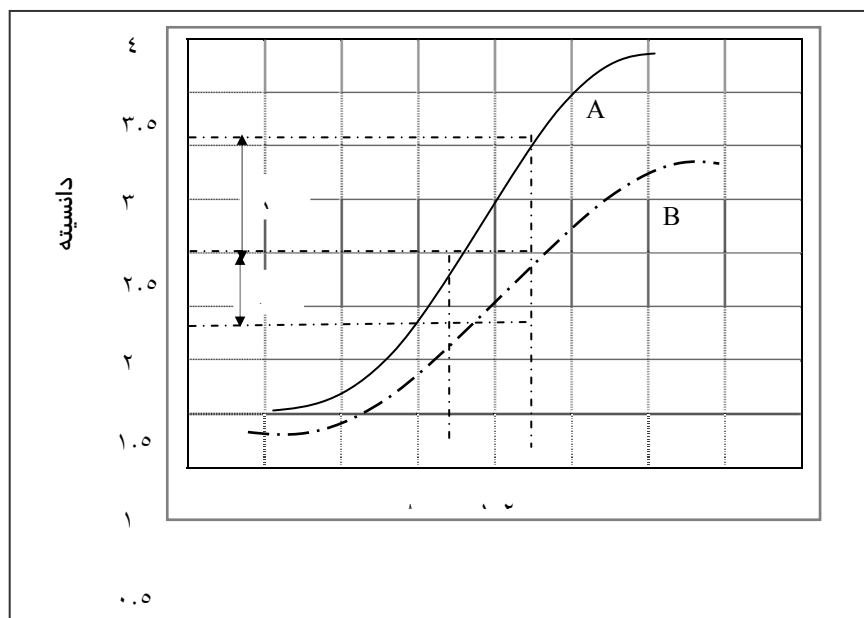
### شیب تباین ( Gradient )

یکی از مهمترین فاکتورهای تعیین کیفیت تصویر پرتونگاره، تباین تصویر می باشد. برای ارزیابی تباین تصویر یک فیلم پرتونگاره، از منحنی شیب تباین استفاده می گردد. شیب تباین که به منحنی ویژه فیلم<sup>۱</sup> و یا منحنی  $H \& D^2$  موسوم است، برای تعیین کیفیت فیلم های پرتونگاری و محاسبه فاکتورهای تابش رسم می گردد.

در شکل ۲-۵ نمونه ای از نمودار منحنی شیب تباین مشاهده می شود که محور افقی برحسب لگاریتم ضریب تابش و محور عمودی براساس تغییرات درجه سیاهی (دانسیته) تقسیم بندی شده است . چنانچه سایر پارامترهای تابش ثابت نگهداشته شوند، محور افقی فقط به نسبت لگاریتم زمان تابش تقسیم بندی خواهد شد .

۱- Film Characteristic Curve

۲ - Hurter-Driffield Method



شکل ۵-۲ نمودار شیب تباین

در شکل ۵-۲، نمونه ای از نمودار شیب تباین برای دو نوع فیلم پرتونگاری A و B مشاهده می گردد، محور افقی نمودار برحسب لگاریتم زمان تابش از صفر تا ۲ و محور عمودی برای دانسیته صفر تا ۴ تقسیم بندی شده است.

بطوری که در شکل دیده می شود، برای فاکتور تابش بین  $0/8$  تا  $1/2$  (محور افقی)، تغییرات دانسیته فیلم A، برابر با  $1/3$  درجه و برای فیلم نوع B با همان فاکتور تابش برابر با  $0/7$  درجه شده است.

### رسم منحنی شیب تباین

برای رسم دقیق منحنی شیب تباین (منحنی ویژه فیلم)، از پرتوهای یک مولد اشعه ایکس استفاده می شود تا با ثابت نگهداشتن ولتاژ و میلی آمپر، فقط زمان تابش تغییر باشد.

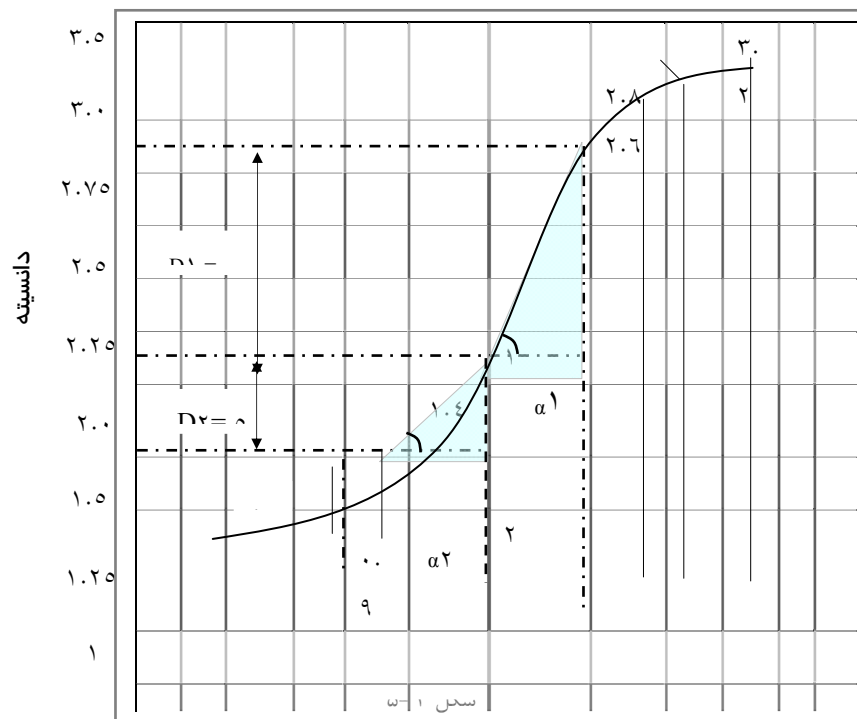
## مراحل رسم :

- ۱ - یک قطعه با ضخامتی متناسب با ضرایب تابش انتخاب و در فاصله ای معینی از منبع تابش قرار می گیرد .
- ۲ - از بسته فیلم های مورد آزمایش شش قطعه انتخاب شده و از یک تا شش شماره گذاری می شوند .
- ۳ - با نصب فیلم شماره یک در پشت قطعه، به مدت ۸ ثانیه به قطعه تابش داده می شود .  
در این مرحله ولتاژ ، میلی آمپر و فاصله قطعه تا منبع تابش یادداشت می گردند.
- ۴ - با ثابت نگهداشتن کلیه پارامتر ها، فیلم دوم در زیر قطعه قرار گرفته و معادل دوبرابر زمان تابش مرحله قبل ( ۱۶ ثانیه ) تابش داده می شود .
- ۵ - تابش پرتو به فیلم شماره ۳ نیز با دو برابر زمان مرحله قبل ( ۳۲ ثانیه ) انجام می گیرد.
- ۶ - فیلم های شماره ۴، ۵ و ۶ ، نیز مانند مراحل قبل، با زمان های تابش تساعدی پرتونگاری می شوند ( ۶۴ ، ۱۲۸ و ۲۵۶ ثانیه ) .
- ۷ - هر شش فیلم تابش دیده، در شرایطی کاملاً یکسان در تاریکخانه ظاهر می گردند .
- ۸ - لگاریتم زمان های تابش از روی ماشین حساب بدست می آیند .
- ۹ - با دستگاه دانسیته سنج و با حد روشنی ثابت چراغ فیلم خوانی، درجه سیاهی هر فیلم بدقت اندازه گیری و یادداشت می گردد ( دانسیته های بین ۰/۶ تا ۳/۲ ) .

ارقام به شرح زیر بدست می آیند :

شماره فیلم	زمان تابش	لگاریتم زمان تابش	دانسیته
فیلم شماره ۱	۸ ثانیه	۰/۹	دانسیته ۰/۷
فیلم شماره ۲	۱۶ ثانیه	۱/۲	دانسیته ۰/۹
فیلم شماره ۳	۳۲ ثانیه	۱/۵	دانسیته ۱/۴
فیلم شماره ۴	۶۴ ثانیه	۱/۸	دانسیته ۲/۶
فیلم شماره ۵	۱۲۸ ثانیه	۲/۱	دانسیته ۲/۸۵
فیلم شماره ۶	۲۵۶ ثانیه	۲/۴	دانسیته ۳/۲

- ۱۰ - محور عمودی نمودار برای دانسیته بین صفر تا  $3/5$  و محور افقی بر حسب لگاریتم زمان های تابش از صفر تا  $2/5$  تقسیم بندی می شود .
- ۱۱ - با انتقال مختصات هر واحد دانسیته نسبت به زمان تابش، شش نقطه بدست می آید که با وصل شش نقطه، منحنی ویژه فیلم بدست می آید ( شکل ۳-۵ ) .



- بطوریکه در شکل ۳-۵ دیده می شود، شیب منحنی در ناحیه یک با زاویه  $\alpha_1$  تندتر از ناحیه دو با شیب  $\alpha_2$  گردیده است .
- بطور مثال ، در ناحیه یک منحنی، تفاوت زمان های تابش بین  $31$  ثانیه (  $\text{anti log } 1.5$  ) تا  $45$  ثانیه (  $\text{Anti-lon } 1.65$  ) برابر با  $14$  ثانیه و در همین مدت زمان دانسیته  $1/2$  درجه سیاهی تغییر نموده است .

برای تعیین ضریب تباین از رابطه تانژانت شیب منحنی استفاده می گردد ( رابطه ۵-۱ ) .

$$\text{Tag } \alpha = D / T \quad \text{رابطه ۵-۱}$$

$\alpha$  - زاویه شیب منحنی

D - محدوده تغییرات دانسیته

T - محدوده تغییرات زمان تابش

بطورمثال شیب تباین منحنی شکل ۳-۵ ، در دو ناحیه با زوایای  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  به صورت زیر محاسبه می گردد :

ضریب زاویه منحنی در ناحیه اول

$$\text{Tag } \alpha_1 = D_1 / T_1 \Rightarrow (2.65 - 1.35) / (1.75 - 1.5) = 5.2$$

ضریب زاویه منحنی در ناحیه دوم

$$\text{Tag } \alpha_2 = D_2 / T_2 \Rightarrow (1.25 - 0.75) / (1.5 - 1) = 1.0$$

تانژانت زاویه شیب تباین در هر محدود از نمودار، نشان دهنده ضریب زاویه تغییرات دانسیته نسبت به تغییرات زمان های تابش خواهد بود . بطور تجربی درجه شیب تباین بین ۲ تا ۴ درجه برای فیلم های پرتونگاره معمولی مناسب می باشد .

با نتیجه گیری از مطالب فوق می بینیم ، تباین تصویر بیانگرتفاوت درجه سیاهی فیلم در زمان های تابش متفاوت است . با این استدلال ، تفاوت در میزان جذب پرتوها توسط تغییر ضخامت و ناپیوستگی های درون یک قطعه نیز با واژه تباین قابل تعریف خواهد بود .

#### مثال :

در نتیجه پرتونگاری یک اتصال جوش به ضخامت ۱۰ میلی متر، با زمان تابشی معادل ۶۰ ثانیه، فیلم پرتونگاره با درجه سیاهی ۲/۳ بدست آمده است . چنانچه عیبی به ضخامت ۱ میلی متر در جوش وجود داشته باشد، درجه سیاهی عیب محاسبه می گردد .  
برای حل مثال ، دو قطعه با ضخامت های ۱۰ و ۹ میلی متری انتخاب و در دو نوبت با شرایط یکسان پرتونگاری شده اند. فرض می شود زمان تابش برای دو ضخامت بترتیب ۶۰ و ۵۴ ثانیه بوده است، تغییرات دانسیته از روی نمودار ۳-۵ بدست می آید .

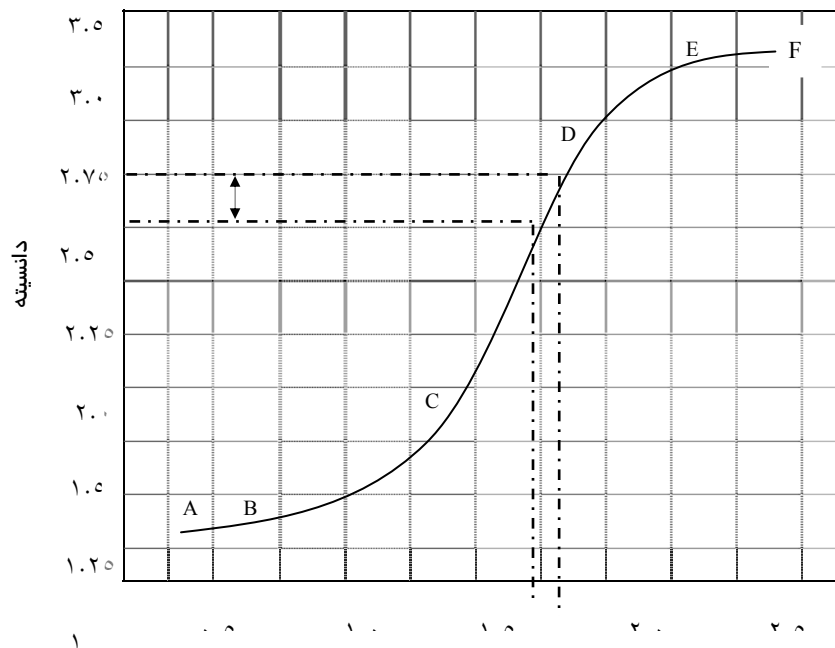
با محاسبه لگاریتم زمان های تابش دو عدد  $۱/۷۸$  و  $۱/۷۳$  بدست می آید .

$$۱) - \text{Log } ۶۰ = ۱.۷۸ \quad ۲) - \text{Log } ۵۴ = ۱.۷۳$$

از دو نقطه بدست آمده دو خط عمودی تا برخورد با منحنی رسم می گردد و از تقاطع این دو نقطه با منحنی، دو خط موازی با محور افقی رسم می شوند. دانسیته دو زمان تابش  $۲/۴$  و  $۲/۱۴$  خواهند شد.

$$\text{Density} = ۲.۴ - ۲.۱۴ = ۰.۲۶ \quad \text{از روی منحنی}$$

از مثال چنین نتیجه گرفته می شود که اگر عیبی به ضخامت  $۱$  میلی متر در قطعه ای به ضخامت  $۱۰$  میلی متر وجود داشته باشد، تفاوت دانسیته عیب نسبت به ضخامت  $۰/۲۶$  درجه سیاهی خواهد بود .



## نتایج رسم منحنی :

با نتیجه گیری از مطالب فوق می بینیم که، هرچه شیب تباین فیلم پرتونگاری بیشتر گردد، تصویر تفاوت جذب پرتوها توسط قطعه با وضوح بهتر دیده خواهد شد. البته ذکر این نکته نیز ضروریست که بخش قابل توجهی از تفاوت درجه سیاهی تصویر به شکل هندسی قطعه مربوط می شود که در بخش ۷ بطور جداگانه تحت عنوان تباین موضوع<sup>۱</sup> بحث شده است. اما برای تعریف کیفیت فیلم پرتونگاری سه ویژگی زیر مطرح می باشند :

## ۱ - درجه تباین فیلم

درجه تباین یک فیلم پرتونگاری بستگی به کیفیت مواد تشکیل دهنده فیلم خام ، آرایش یکنواخت کریستال های نقره و اندازه دانه های آن دارد .

## ۲ - سرعت نسبی فیلم

هرچه اندازه دانه ها کریستال های نقره درشتتر باشند سرعت تأثیر پذیری فیلم در واحد زمان بیشتر خواهد شد .

## ۳ - رنگ پایه فیلم خام

دانسیتته رنگ پایه معرف سالم بودن فیلم خام می باشد.

بمنظور روشنتر شدن رابطه بین فاکتور تابش و دانسیته یک فیلم پرتونگاره ، نقاط A تا F در شکل ۵-۴ به شرح زیر تعریف می گردند .

نقطه A ، حد سیاهی فیلم بدون تابش ( رنگ پایه فیلم خام )

نقطه B ، آستانه سیاهی بعلت تابش

نقطه B تا نقطه C ، محدوده کمترین شیب منحنی که برای پرتونگاره مناسب نمی باشد .

نقطه C تا نقطه D ، مناسبترین شیب تباین فیلم

نقطه D تا نقطه E ، ناحیه سیاهی فوق تابش

نقطه E تا نقطه F ، ناحیه اشباع سیاهی



### انتخاب فیلم های پرتونگاری

اصولاً به علت وسعت و کثرت تولید انواع فیلم های تجارتي، تقسیم بندی کلاسیک و مشخصی برای فیلم های پرتونگاری تعریف نشده است. در بعضی از استانداردها مانند ASTM انواع فیلم ها بر حسب سرعت و دانه بندی به چند کلاس تقسیم شده اند، اما بنا به تجربه رایج ترین تقسیم بندی، استفاده از نام تجارتي فیلم ها می باشد که با مشخص نمودن فاکتور فیلم که نسبت مستقیمی با سرعت تابش پذیری آن دارد می توان نوع فیلم را شناسائی نمود.

اما برای انتخاب فیلم پرتونگاری متناسب با تکنیک پرتونگاری، سه ویژگی دانه بندی، سرعت و شیب تباین با سه هدف زیر قابل بررسی هستند:

- الف - بالا بردن کیفیت تصویر پرتونگاره ( دانه بندی ، سرعت و تباین )
- ب - کاهش زمان تابش ( دانه بندی و سرعت )
- ج - ارزانی قیمت فیلم ( کیفیت شیرایه، نشر دانه ها و نوع بسته بندی )
- د - پائین بودن هزینه پرتونگاری ( صفحات تشدید کننده )

### دانه بندی فیلم های پرتونگاری

دانه بندی به مفهوم آرایش، نظم و غلظت تعداد کریستال های نقره معلق در شیرایه سطح یک فیلم پرتونگاری می باشد. اندازه دانه ها ، سرعت تأثیرپذیری فیلم را مشخص می کند. هر چه دانه بندی فیلم درشتتر باشد سرعت پرتونگاری بیشتر و در نتیجه زمان تابش کمتر خواهد شد، اما سرعت فیلم رابطه معکوسی با کیفیت تصویر دارد.

فیلم های پرتونگاری به نسبت اندازه دانه بندی به چهار گروه زیر تقسیم می شوند:

- |                  |                         |
|------------------|-------------------------|
| Ultra Fine Grain | ۱ - دانه بندی فوق ریز   |
| Very Fine Grain  | ۲ - دانه بندی بسیار ریز |
| Fine Grain       | ۳ - دانه بندی ریز       |
| Medium Grain     | ۴ - دانه بندی متوسط     |

انواع فیلم های پرتونگاری :

فیلم های پرتونگاری از نقطه نظر کاربردی به انواع مختلفی که دربرگیرنده دانه بندی، فاکتور فیلم و سایر خواص آنها باشد تقسیم می گردند اما بلحاظ بسته بندی با صفحات تشدید کننده، به دو گروه اصلی زیر تقسیم می شوند :

**۱ - فیلم های تابش مستقیم ( Direct Type, Non-Screen type )**

فیلم هایی که بطور مستقیم و فقط از طریق تابش پرتوهای ایکس و یا گاما سیاه شوند، به فیلم های تابش مستقیم موسومند . این نوع فیلم ها، ممکن است با پوشش تشدیدکننده سربی و یا بدون پوشش سربی مورد استفاده قرار گیرند.

اما منظور از عنوان بدون لایه ( Non-Screen Type )، اشاره به فیلم هایی است که بدون صفحات تشدید کننده فلورسنتی و فلورو متالیک استفاده می شوند .

کیفیت تصویر با این نوع فیلم ها با شیب تباین کافی دیده خواهد شد و چون سیاه شدن فیلم فقط توسط پرتوها صورت می پذیرد، درجه حساسیت عیب یابی بیشتری دارند و مطابق کلیه استانداردها مورد تأیید هستند .

**۲ - فیلم های تابش ثانویه ( Screen Type )**

فیلم هایی که با پوشش های تشدید کننده فلورسنتی عرضه می شوند، به فیلم های تابش ثانویه معروف هستند. این نوع فیلم ها همزمان از دو طریق تابش ثانویه نور ماوراء بنفش و تابش پرتوهای ایکس و گاما سیاه می گردند. بنابراین منظور از Screen Type اشاره به صفحات تشدید کننده فلورسنتی می باشد که به علت واکنش پرتوها با ماده فلورسنت از خود نور ماوراء بنفش ساطع می کنند .

چنین فیلم هایی از درجه حساسیت بسیار کمی برخوردارند و نمی توانند عیوب ریز را بخوبی آشکار نمایند. اما این نوع فیلم ها برای قطعات ضخیم و در شرایطی که در جستجوی عیوب درشت باشیم دارای مزیت هستند .

این نوع فیلم ها در بعضی از امور پزشکی کاربردی مفید دارند .

### بسته بندی انواع فیلم ها

فیلم های پرتونگاری به دو شکل صفحات مربع مستطیل ( Sheet ) و یا نواری طویل ( Roll )، در اندازه های متفاوت، به دو صورت یکبار مصرف و یا قابل تعویض عرضه می شوند.

در نوع یکبار مصرف، هر فیلم همراه با صفحات تشدیدکننده در یک غلاف ضد نور و رطوبت موسوم به کاست توسط سازنده فیلم بسته بندی می گردد.

در نوع قابل تعویض، فیلم ها بدون صفحات تشدیدکننده با طول و عرض مشخصی در جعبه و یا پاکت های ضدنور بسته بندی و عرضه می شوند. در زمان استفاده ، هر فیلم همراه با صفحات سربی در یک کاست جاسازی می گردد .

عمل جاسازی فیلم در کاست ( Film Loading ) در تاریکخانه انجام خواهد شد .

توضیح : چون صفحات تشدید کننده فلورسنتی نسبت به نور روشن حساس هستند، فقط بصورت یکبار مصرف همراه با فیلم عرضه می شوند .

## فرایند ظهور و ثبوت فیلم پرتونگاره

چنانچه کلیه عوامل تابش در یک عملیات پرتونگاری ثابت فرض شوند، کیفیت و دانسیته یک فیلم پرتونگاره به نوع فیلم مصرف شده و عملیات ظهور و ثبوت آن مربوط می شود .  
وقتی پرتوهای ایکس و گاما به شیرایه حاوی کریستال های حساس هالوژنه نقره برخورد نمایند، تغییری غیر قابل رویت و نهانی ( Latent Image )، در ساختار فیزیکی کریستال ها روی می دهد و کریستال های نقره به فلز نقره تغییر ماهیت می دهند . پس از غوطه ور شدن فیلم تابش دیده، در داروی شیمیائی ظهور، بعلت سیاه شدن دانه های نقره، تصویر پرتونگاره شکل می گیرد .

### ظهور و ثبوت فیلم پرتو دیده

اساساً فرآیند ظاهر سازی فیلم های پرتونگاری، به دو شیوه دستی و خودکار ( اتوماتیک ) در تاریکخانه انجام می پذیرد. هر فیلم تابش دیده، طی مراحل مختلفی که به مدار پیوسته ظهور و ثبوت موسوم است، به ترتیب در محلول های ، ظهور، حمام توقف، ثبوت و شستشو قرار گرفته و پس از خشک شدن به فیلم پرتونگاره قابل تفسیر تبدیل خواهد شد .

مراحل ظهور و ثبوت / روش دستی

## ۱ - مرحله ظهور ( Development )

ماده ظاهرکننده ترکیبی از بلورهای جامد سفید متول<sup>۱</sup> و ماده هیدروکینون<sup>۲</sup> است که با یک حلال قلیائی دیگری ( برای نفوذ به منفذهای شیرایه ) تقویت می شود . بعلاوه برای طولانی شدن عمر مفید ماده ظاهر ساز، موادی مانند سولفات سدیم و برمور پتاسیم به محلول ظاهرکننده افزوده می شود تا مانع فاسد شدن محلول گردد .

محلول ظاهرکننده، رنگ فلزنقره تابش دیده را سیاه می کند، اما روی سایر کریستال های نقره تابش ندیده، بی اثر است .

یک فیلم تابش دیده پس از غوطه ور شدن در محلول ظاهرکننده ، به مدت زمانی کافی برای واکنش های شیمیائی نیاز دارد. هر چه زمان توقف فیلم در محلول طولانی تر و درجه حرارت محلول بیشتر باشد، فیلم سیاهتر خواهد شد. بنابراین زمان توقف و درجه حرارت محلول به دلخواه نبوده و معمولاً طبق استاندارد و توصیه سازنده فیلم تعیین می گردد.

## ۲ - مرحله توقف ( Stop Bath )

پس از خارج نمودن فیلم از محلول ظهور، سطح آن آغشته به محلولی با خاصیت قلیائی است که می تواند موجب تداوم سیاهی فیلم گردد . لذا پس از خروج فیلم از محلول ظهور، در یک ظرف حاوی آب خالص و یا محلول اسید اسیتیک رقیق شده ( ۰.۳٪ ) موسوم به حمام توقف غوطه ور می گردد . چنانچه محلول خاصیت اسیدی داشته باشد، مدت توقف فیلم در این مرحله کمتر از یک دقیقه خواهد بود و تکان دادن فیلم تاثیر مطلوبی در کیفیت تصویر خواهد داشت . اما اگر محلول فقط آب خالص باشد، مدت زمان لازم برای شستن فیلم همراه با تکان دادن مداوم بین ۱ تا ۲ دقیقه الزامی خواهد بود. استفاده از آب روان همراه با تکان دادن فیلم نیز روش مناسبی برای این مرحله به شمار می آید .

۱ - Metol

۲ - Hydroquinone

**۳ - مرحله ثبوت ( Fixing )**

پس از این دو مرحله، دانه های نقره تابش دیده سیاه شده و کریستال های نقره تابش ندیده، بدون تغییر ماهیت باقی می مانند . در چنین حالتی کریستال های تابش ندیده، در مقابل نور حساس هستند و مانع ثبات تصویر پرتونگاره خواهند شد و باید به طریقی از روی فیلم جدا گردند . این عمل توسط محلول ثبوت انجام می گیرد . محلول ثبوت حاوی مواد سولفات نظیر سولفات سدیم و آمونیم است که می تواند دانه های نقره تابش ندیده را از فیلم جدا نماید. برای سخت شدن شیرایه سطح فیلم نیز، مواد سخت کننده ای مانند سولفات آلومینیوم و پتاسیم به محلول ثبوت افزوده می گردد . مدت زمان توقف فیلم در ظرف ثبوت، به شفاف شدن رنگ ( پایه ) فیلم بستگی دارد . معمولاً کریستالهای تابش ندیده ای که در شیرایه فیلم وجود دارند به رنگ زرد شیری دیده می شوند و مدت زمانی لازم خواهد بود تا محلول ثبوت در شیرایه نفوذ کرده و کریستالهای تابش ندیده را معلق نماید. پس از این عمل، کریستالهای معلق شده در محلول ثبوت رسوب نموده و رنگ فیلم شفاف خواهد شد. زمان جدا شدن کریستالها از سطح فیلم را زمان زدایش<sup>(۱)</sup> فیلم می گویند. مدت زمان لازم برای توقف فیلم در ظرف ثبوت، حداقل دو برابر زمان زدایش می باشد . تکان دادن فیلم خصوصاً در ثانیه های اولیه تأثیر مطلوبی در این فرآیند می گذارد .

**۴ - مرحله شستشوی نهائی ( Final Washing )**

پس از عملیات ظهور و ثبوت، برای برطرف نمودن مواد شیمیائی بجا مانده از مرحله قبل، فیلم پرتونگاری باید بخوبی شستشو گردد . بعلاوه برای ثبات عملیات مراحل قبل و مصون ماندن فیلم در مقابل رنگ پدیدگی، لازم است تا فیلم در مدت زمان کافی با آب در تماس باشد . هرچه مدت زمان توقف بیشتر گردد، دوام رنگ تصویر فیلم بیشتر خواهد شد . حد اقل زمان لازم برای تثبیت رنگ یک فیلم پرتو نگاره ۳۰ دقیقه می باشد .

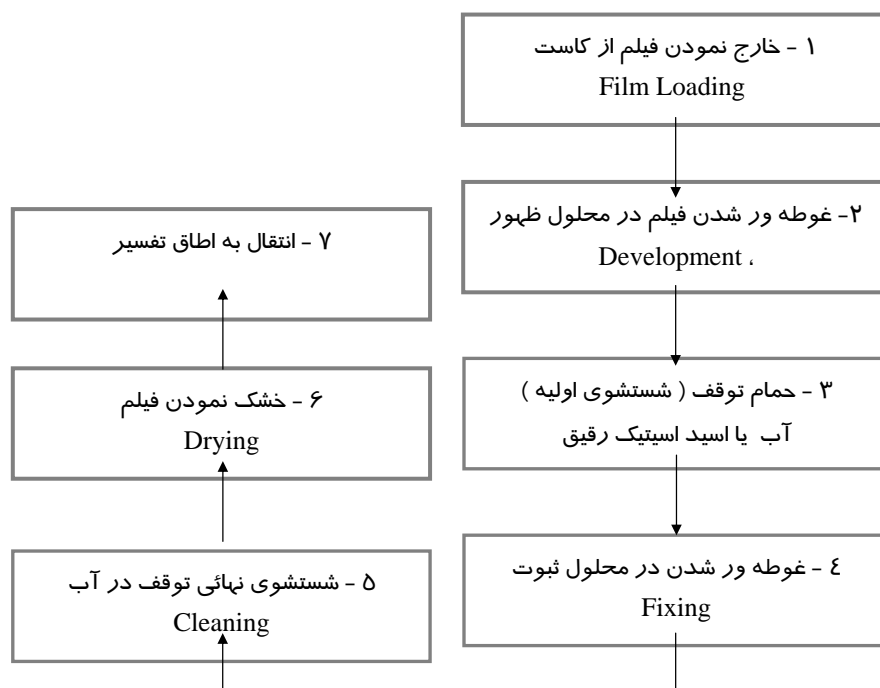
**۵ - مرحله خشک نمودن ( Drying )**

اصولاً سطح روی فیلم پس از عملیات فوق خیس، نرم و آسیب پذیر می باشد . بنابراین آخرین مرحله فرایند ظهور و ثبوت فیلم پرتونگاره، عملیات خشک نمودن فیلم است که مانند مراحل قبل، باید با دقت و طبق اصول انجام گیرد

۱ - Clearing time

استفاده از اتاقک با هوای خشک و گرم ( Dryer Cabinet ) ، مناسبترین روش برای خشک نمودن فیلم است. اما آویزان کردن فیلم نیز ( روش سنتی )، بشرط مراقبت از لکه دار شدن سطح فیلم روش مناسبی می باشد .

در شکل ۶-۱ مدار پیوسته عملیات ظهور و ثبوت یک فیلم پرتونگاره مشاهده می شود . چهار مرحله اول فقط در تاریکی ( نور قرمز ) و سایر مراحل می توانند در نور عادی انجام شوند . تمیز بودن تاریخانه ، حد روشنایی در مرحله ظهور و کنترل درجه حرارت مواد در کیفیت کار بسیار اهمیت دارد .



شکل ۶-۱

**ظهور و ثبوت خود کار ( اتوماتیک )**

دستگاه خودکار ظهور و ثبوت بطور معمول دارای چهار ظرف جداگانه برای هر مرحله از عملیات می باشد . هر ظرف در یک مدار بسته به مخزن تغذیه یدکی متصل است. در ظرف اول محلول ظهور، ظرف دوم آب ، ظرف سوم محلول ثبوت و در ظرف نهائی آب در حال جریان قرار می گیرد . مواد هر ظرف طبق دستور العمل سازنده تهیه و در مخازن یدک ریخته می شود. تنظیم درجه حرارت و زمان توقف فیلم در هر ظرف ( پس از تنظیم اولیه )، بطور خودکار انجام می گیرد .

فیلم از یک دریچه سمت اطاق تفسیر وارد دستگاه شده و پس از طی مراحل مختلف و عبور از محفظه بادگرم ، مجدداً از دریچه خروجی سمت اطاق تفسیر خارج می گردد. حرکت و جابجائی فیلم در دستگاه اتوماتیک توسط غلطک های چرخان انجام می گیرد و هر فیلم در یک حرکت مارپیچ، مسافتی طولانی را در ظروف طی می کند .

معمولاً مواد اولیه ظهور و ثبوت دستگاه های خودکار مایع می باشند که باید تحت شرایط خاصی نگهداری شوند .

**برتری های دستگاه خودکار :**

- ۱ - سرعت عمل دستگاه های خودکار بسیار زیادتر از روش دستی است
- ۲ - عملیات بدون دخالت دست انجام می گیرد.
- ۳ - درجه حرارت و سرعت حرکت فیلم برای هر شرایطی قابل تنظیم است.
- ۴ - کیفیت تصویر ظاهر شده در مقایسه با روش دستی بسیار بهتر می باشد.
- ۵ - حجم کمتری از فضای تاریکخانه را اشغال می نماید

**تقویت کننده ها ( Replenisher )**

در هر دو روش دستی و خودکار ، برای جبران ضعیف شدن خواص محلول ظهور و ثبوت از مواد تقویت کننده ( یا جبران کننده ) استفاده می گردد . بطور معمول پس از ظهور تعداد معینی از فیلم های پرتونگاره و ضعیف شده خواص شیمیائی مواد، به هر محلول ماده تقویت کننده مخصوصی اضافه می گردد .



### نکات مهم در فرایند ظهور و ثبوت

همانطور که قبلاً نیز اشاره شده هدف از پرتونگاری، ساخت تصویری واقعی برای آشکار سازی ساختار درونی یک قطعه می باشد ، یک فیلم پرتونگاری با هزینه زیادی تبدیل به فیلم پرتونگاره قابل تفسیر تبدیل می گردد . بنابراین دانستن نکات فنی عملیات ظهور و ثبوت در نتیجه گیری بسیار اهمیت دارد که بطور مختصر به شرح آنها پرداخته می شود .

۱ - در زمان خارج نمودن فیلم تابش دیده از کاست ( در تاریکخانه ) ، از تماس انگشتان دست با سطح فیلم خود داری شود . اثر انگشت و خصوصاً ناخن روی فیلم باقی می ماند .

۲ - ظروف مواد شیمیائی ظهور و ثبوت معمولاً از موادی چون فولاد ضد زنگ، لاستیک سخت شده و پلاستیک ساخته می شوند . از ظروفی با جنس مس، آلومینیم، روی و آهن گالوانیزه که در مقابل مواد اسیدی و بازی حساس هستند نباید استفاده شود .

۳ - درجه حرارت معمول محلول ظهور ۲۰ درجه سانتی گراد است ، در درجه حرارتی کمتر از ۱۶ درجه، ماده هیدروکینون ( Hydroquinone ) که عامل اصلی تباین است فعال نخواهد شد و درجه حرارت زیاد نیز موجب نرم شدن شیرابه سطح فیلم می گردد .

۴ - مهمترین فاکتور در عملیات ظهور و ثبوت مدت زمان توقف فیلم در محلول ظهور است . در موارد زیادی دیده شده که بجای استفاده از منبع قوی و صرف زمان تابش لازم ، از طریق طولانی کردن زمان توقف فیلم در ماده ظهور ، درجه سیاهی کافی بدست آمده است . چنین فیلمی فاقد ارزش بوده و بسیاری از عیوب دیده نخواهند شد .

۵ - تکان دادن فیلم در محلول خصوصاً در ثانیه های اولیه الزامی است در غیر اینصورت سیاهی یکنواخت بدست نمی آید . در دقایق بعدی نیز ۱۰ تا ۱۵ ثانیه در هر دقیقه فیلم باید در محلول تکان داده شود . حرکت و تکان دادن فیلم ، در جهت عمودی نتیجه بهتری خواهد داد .

۶ - در صورت ضعیف شدن داروی ظهور، از محلول تقویت کننده استفاده می شود . استفاده از تقویت کننده، ۲ تا ۳ نوبت مجاز می باشد.

- ۷ - درجه حرارت حمام توقف باید معادل درجه حرارت محلول ظهور باشد.
- ۸ - بطور اصولی هر گاه مدت زمان تبدیل رنگ زرد شیری فیلم به رنگ شفاف در محلول ثبوت، بیش از دو برابر زمان عادی ( داروی ثبوت سالم ) گردد، محلول اشباع و خنثی شده و باید تعویض گردد .
- ۹ - در صورت کاهش سطح ارتفاع در ظرف محلول ثبوت ، باید با افزایش ماده جبران کننده تقویت گردد .  
 خاصیت ماده جبران کننده ( Replenisher ) حفظ درجه pH و درجه سختی محلول ثبوت می باشد .
- ۱۰ - داروی اشباع شده ثبوت دارای حدود ۴۰٪ از نقره های روی سطح فیلم است که در مخزن داروی ثبوت رسوب می کند. دور ریختن محلول ثبوت علاوه برهدر دادن فلز با ارزشی چون نقره، سبب آلودگی محیط زیست نیز می گردد .
- ازسال ۱۹۷۴ سازمان بهزیستی جهانی ، دور ریختن محلول ثبوت را تجاوز به حقوق دیگران و جرم اعلام نموده است، زیرا به اثبات رسیده که نقره در چنین حالتی بسیار سمی بوده و اثر زیان باری را برای محیط زیست بوجود خواهد آورد .
- ۱۱ - درجه حرارت آب برای شستشوی نهائی فیلم بین ۱۵ تا ۱۸ درجه مناسب است، که باید در هر ساعت یک تا چهار بار تعویض گردد. مدت زمان عادی برای شستشوی فیلم ۳۰ دقیقه است و اگر آب در گردش باشد به زمان کمتری نیاز خواهد بود .
- ۱۲ - خشک نمودن فیلم باید طوری انجام شود که اثر لکه های آب روی فیلم دیده نشود. استفاده از دستگاه خشک کن با جریان باد گرم مناسبترین روش است اما درجه حرارت باد باید در حدی باشد که روی خاصیت پلاستیکی فیلم اثر نگذارد .
- آویزان نمودن فیلم به شرط کنترل لکه های باقیمانده آب روش آسان و کم هزینه تری است و در هر شرایط امکان پذیر می باشد .

### عیوب مراحل ظهور و ثبوت

- ۱ - در عملیات ظهور و ثبوت با دستگاه خودکار ( اتوماتیک )، اثر خراش میله های گردان و هدایت کننده، بیشترین عیوب مصنوعی را روی فیلم بوجود می آورند .
  - ۲ - فاسد بودن داروهای ظهور و ثبوت عامل کدروی و مه آلوده بودن فیلم می شود.
  - ۳ - در روش دستی در اثر پاشیدگی محلول ظهور و اثر سایشی لکه های آب، نقاطی با لکه کدر در سطح فیلم دیده خواهد شد .
  - ۴ - تخلیه الکتریسیته ساکن در تاریکخانه و در زمان خارج نمودن فیلم از کاست موجب بروز خطوطی به شکل ترک در سطح فیلم می گردد .
  - ۵ - اثر انگشت ، خراشیدگی سطح فیلم ، اثر لکه های داروی ثبوت و کثیفی آب عامل عیوب مصنوعی روی فیلم ظاهر شده خواهند شد .
- در بخش تفسیر فیلم مفصل تر شرح داده خواهد شد .

## بخش هفت

### کیفیت تصویر پرتونگاره

مقدمه :

همانطور که در بخش چهارم اشاره شد، یک فیلم پرتونگاره بشرطی قابل تفسیر خواهد بود که از شفافیت و وضوح کافی برخوردار بوده و با درجه سیاهی متعارفی تغییرات درونی و شکل هندسی موضوع پرتونگاری شده را با تباینی از درجه سیاهی نشان دهد.

بنابراین برای تعریف کیفیت یک فیلم پرتونگاره چند فاکتور زیر مطرح می شوند:

- ( ۱ ) - درجه سیاهی
- ( ۲ ) - تباین تصویر
- ( ۳ ) - حساسیت پرتونگاری
- ( ۴ ) - وضوح تصویر
- ( ۵ ) - پراکندگی ( شفافیت )

#### ۱ - درجه سیاهی فیلم ( دانسیته )

درجه سیاهی یک فیلم پرتونگاری با واژه دانسیته به مفهوم غلظت سیاهی تصویر پرتونگاره تعریف می گردد و عبارت است از مقدار نور قابل عبور از یک فیلم پرتونگاره، زمانی که در مقابل شدت نور معینی قرار گیرد .

اصولاً برای رؤیت و تفسیر فیلم های پرتونگاره، از دستگاهی موسوم به دستگاه نمایش فیلم یا چراغ فیلم خوانی ( Film Viewer ) استفاده می گردد. با قرار دادن یک فیلم پرتونگاره روی دستگاه فیلم خوانی، در صد نور قابل عبور از فیلم با شدت نور دستگاه مقایسه می شود .

روش محاسبه دانسیته :

طبق رابطه زیر، دانسیته یک فیلم ، عبارت از لگاریتم نسبت شدت نور چراغ فیلم خوانی به مقدار نور عبور کرده از فیلم می باشد

$$D = \text{Log}_{10} I_0 / I \quad \text{رابطه ۷-۱}$$

D - دانسیته فیلم پرتونگاره

I<sub>0</sub> - شدت نور تابیده به فیلم ( نور چراغ فیلم خوانی )

I - شدت نور عبور کرده از فیلم

مثال ،

با قرار دادن یک فیلم پرتونگاره روی دستگاه فیلم خوانی، معادل ۱۰٪ شدت نور از فیلم عبور کرده است، دانسیته آن را محاسبه می کنیم .

$$D = \text{Log} I_0 / I \quad (I_0 = 100, I = 10, D = ?)$$

$$D = \text{Log} 100 / 10$$

$$D = \text{Log} 100 - \text{Log} 10 \Rightarrow D = 2 - 1 = 1$$

از مثال فوق این نتیجه بدست می آید، که اگر فیلمی ده در صد نور چراغ فیلم خوانی را از خود عبور دهد، درجه سیاهی ( دانسیته ) آن یک خواهد شد. با این استدلال، برای داشتن دانسیته ای معادل ۲ ، فیلم باید در حدی سیاه گردد که فقط یک صدم نور چراغ را از خود عبور دهد .

$$D = \text{Log} 100 / 1 = \text{Log} 100 - \text{Log} 1$$

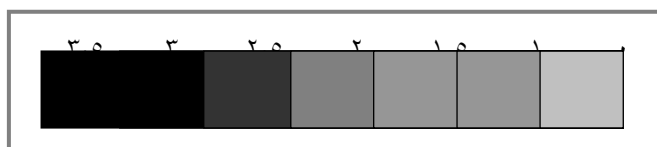
$$D = \text{Log} 100 \Rightarrow D = 2$$

### روش اندازه گیری دانسیته

برای اندازه گیری دانسیته فیلم های پرتونگاره با روش محاسبه، مستلزم داشتن دستگاه نورسنج برای اندازه گیری شدت نور چراغ فیلم خوانی و نور عبور کرده از فیلم می باشد. اما با توجه به تفاوت پیوسته درجه سیاهی فیلم ها ، روش عملی مطلوبی محسوب نمی گردد. لذا برای اندازه گیری درجه سیاهی، از نوارهای مرجع و دانسیته سنج استفاده می شود:

## - نوار های مرجع ( Reference Film Strips )

در این روش یک نوار فیلم به طول حدود ۱۵ سانتی متر، با دانسیته های معین و متفاوت به عنوان مرجع در اختیار قرار می گیرد. در زمان تفسیر، درجه سیاهی فیلم پرتونگاره با درجه سیاهی یکی از دانسیته های مرجع مقایسه و حد آن تعیین می گردد .



نوار مرجع دانسیته

## - دانسیته سنج فتوالکتریک ( Photoelectric Densitometer )

برای اندازه گیری دقیق تر از نورسنج های فتوالکتریک استفاده می شود. صفحه نمایش این نوع نورسنج به صورت عقربه ای و یا دیجیتال برحسب لگاریتم شدت نور از صفر تا ۴ تقسیم بندی شده است . قبل از اندازه گیری دانسیته فیلم پرتونگاره ، صفر دستگاه نسبت به حداکثر نور چراغ فیلم خوانی تنظیم شده و سپس دانسیته فیلم خوانده می شود .

۲ - تباين تصوير پرتونگاره ( Radiograph Contrast )

اختلاف درجه سیاهی بین نقاط مختلف ( نقاط مجاور ) یک فیلم پرتونگاره را با تباين تصوير تعريف می کنند اصولاً تباين یک تصوير پرتونگاره به دو دليل زير شکل می گيرد :

## - تباين موضوع ( Subject Contrast )

چنانچه شکل هندسی قطعه پرتونگاری شده از تنوع ضخامت برخوردار باشد، حتی با تکنیک ضعیف پرتونگاری، تباين دانسیته خوبی روی تصوير دیده خواهد شد. اما برای قطعاتی با ضخامت یکنواخت، ایجاد تباين تصويرمشکل می گردد .

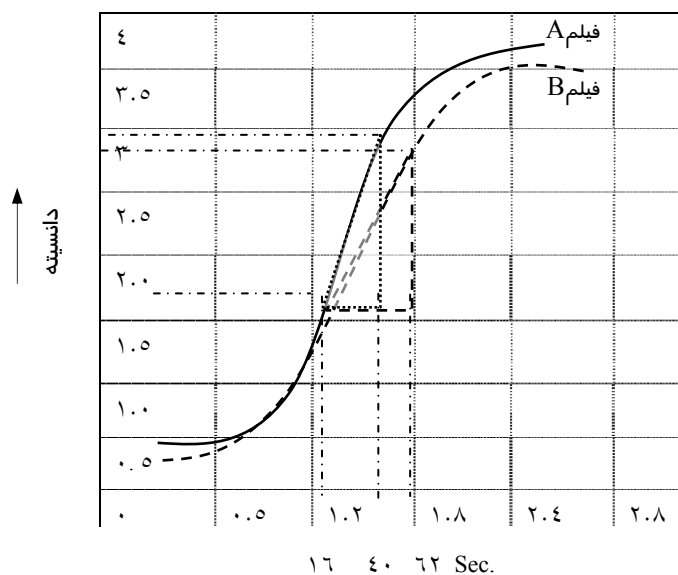
بطور مثال ، در صورت پرتونگاری از یک ورق فولادی با ضخامتی یکنواخت، که عیبی مانند دوپوستگی در آن وجود دارد، هیچگونه تباینی در تصویر شکل نمی گیرد و شاید این بهترین توجیه ناتوانی روش پرتونگاری برای تعیین دو پوستگی در ورق ها و قطعات یکنواخت و همگن می باشد . علاوه بر شکل هندسی، شدت تابش نیز، در شکل گیری تباین موضوع تأثیر می گذارد، مثلاً چنانچه در یک قطعه فولادی به ضخامت ۲۵ میلی متر، عیبی معادل ۵٪ ضخامت وجود داشته باشد، تفاوت سیاهی آن در نتیجه تابشی با انرژی ۱۶۰ کیلو الکترون ولت بیشتر از تفاوت درجه سیاهی آن با تابش منبعی به قدرت ۲۵۰ کیلو الکترون ولت خواهد بود.

به همین جهت تباین تصویر پرتونگاره با پرتوهای گاما که انرژی بالایی دارند، بسیار ضعیف تر از تصویری است که با پرتوهای ایکس گرفته می شود .

#### - تباین فیلم خام پرتونگاری ( Film Contrast )

اگر چه سرعت و اندازه دانه بندی فیلم پرتونگاری، دو عامل اصلی در شکل گیری تصویر پرتونگاری می باشند، اما کیفیت انتشار دانه ها در شیرایه و تکنولوژی ساخت فیلم ، نوع صفحات تشدید کننده و عوامل ظهور و ثبوت هر کدام به نوعی در تشدید تباین تصویر پرتونگاره تأثیر می گذارند . همانطور که در بحث نمودار ویژه فیلم های پرتونگاری گفته شد، هر چه درجه شیب تباین منحنی یک فیلم بیشتر باشد، تباین تصویر بهتری می سازد. بمنظور روشنتر شدن موضوع دو منحنی A و B در شکل ۷-۱ مقایسه می گردند :

تغییرات سیاهی منحنی فیلم A در مدت زمان تابش ۲۴ ثانیه ( بین ۱۶ تا ۴۰ ثانیه ) معادل ۱/۳ درجه و تغییرات سیاهی منحنی فیلم B در زمان تابش ۴۶ ثانیه ( ۱۶ تا ۶۲ ثانیه ) معادل ۱/۱ درجه بوده است . بنابراین می توان نتیجه گرفت که حساسیت فیلم A در مقابل تغییرات زمان تابش به مراتب بیشتر از فیلم B می باشد .



لگاریتم زمان، تابش.

#### نتیجه گیری :

بطور کلی تباین یک تصویر پرتونگاره، ترکیبی از تباین موضوع و تباین فیلم می باشد که عواملی چون نوع و انرژی پرتوها، ضرایب تابش، جنس و ضخامت قطعه، نوع فیلم، فرآیند ظهور و ثبوت، صفحات تشدید کننده و تکنیک پرتونگاری در حد آن تأثیر می گذارند.

### ۳ - حساسیت پرتونگاری ( Radiography Sensitivity )

اصولاً در بحث پرتونگاری، هدف اصلی از انجام پرتونگاری، آشکارسازی و نمایان نمودن عیوب و ناهمگنی های ساختاری درون قطعات می باشد. حدآشکارسازی عیوب با واژه حساسیت پرتونگاری تعریف می گردد و می توان گفت، درجه حساسیت پرتونگاری عبارتست از حدآشکارسازی عیوب درون قطعات به نسبت در صدی از ضخامت در تصویر فیلم پرتونگاره، که در صد آن بنا به درجه اهمیت کار تعیین می گردد.



### شاخص کیفیت تصویر (Image Quality Indicator)

برای اندازه گیری درجه حساسیت آشکارسازی عیوب در تصویر پرتونگاره ، از ابزاری استاندارد موسوم به شاخص های کیفیت تصویر (I.Q.I) استفاده می شود . این شاخص ها که به نفوذسنج ( Penetra-meter ) نیز موسومند، در اشکال و ابعاد متفاوت و متنوعی طراحی و عرضه می گردند. در ادامه به معرفی انواع آنها می پردازیم .

#### انواع شاخص های کیفیت تصویر :

الف - نوع سیمی ( استاندارد DIN )

( Wire Type IQI - DIN ۵۴۱۰۹ )

شاخص های این استاندارد بصورت رشته های هفت سیمی در سه سری در اندازه های متفاوت ساخته شده است . هر سری دارای هفت سیم با قطر و طول معینی می باشد که با کد و شماره مشخصی تعریف می گردند ( شکل ۷-۲ ) .

اندازه قطر سیمی که باید روی فیلم پرتونگاره دیده شود از رابطه زیر بدست می آید:

$$S = ( t / T )_x \cdot 100 \quad \text{رابطه ۷-۲}$$

S - درجه حساسیت

t - قطر سیم مورد نظر

T - ضخامت قطعه مورد پرتونگاری

**مثال :** اگر قرار باشد درجه حساسیت تصویر پرتونگاره قطعه ای به ضخامت ۱۲۵ میلی متر معادل دو در صد گردد، قطر سیم شاخص قابل رویت از رابطه ۷-۲ محاسبه می گردد:

$$S = t / T \cdot 100 \quad \Rightarrow \quad t = S \cdot T \cdot 100$$

$$t = 0.2 \cdot 125 \cdot 100 \quad \Rightarrow \quad t = 2.5 \text{ mm}$$

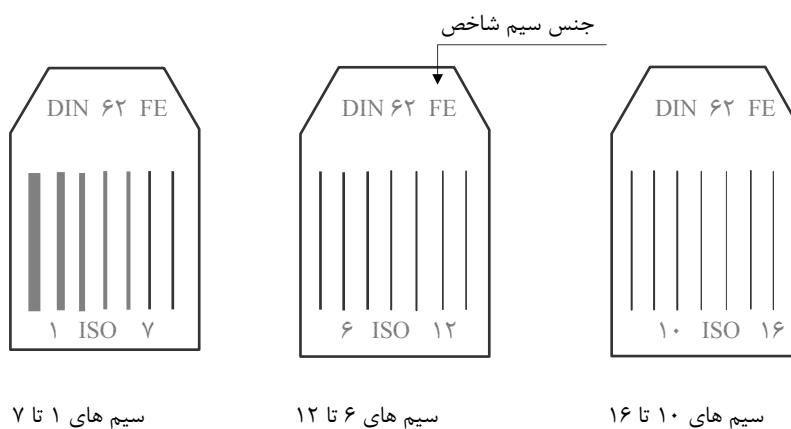
در این مثال با تکنیک و روشی که پرتونگاری شده، درجه حساسیت دو در صد بوده است، یعنی اینکه حداقل ضخامت یک عیب قابل آشکارسازی با این تکنیک و ضخامت ۱۲۵ میلی متر معادل ۲/۵ میلی متر می باشد و عیب ریزتر از آن بوضوح قابل رویت نخواهد بود.

چنانچه با درجه حساسیت مثال قبل بخواهیم یک قطعه به ضخامت ۵۰ میلی متر پرتونگاری شود، حداقل قطر سیم قابل رویت ۱ میلی متر خواهد بود.

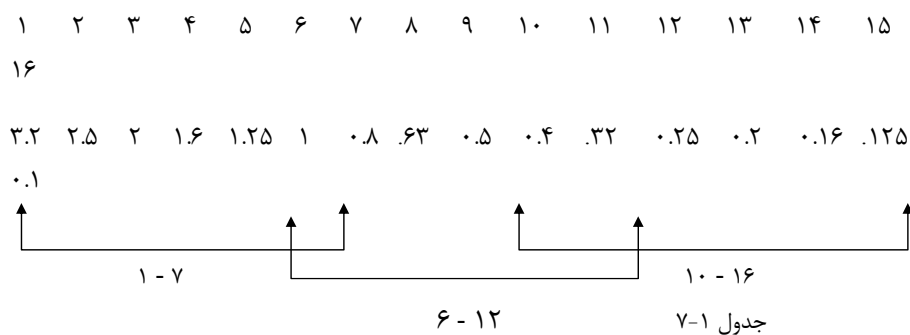
$$t = S_x T / 100 = 2_x 50 / 100 = 1 \text{ mm}$$

در شکل ۲-۷، سه رشته شاخص کیفیت هفت سیمی از نوع DIN ۵۴ ۱۰۹ دیده می شوند، که که در هر رشته دو سیم مشترک وجود دارد. ضخیم ترین سیم به قطر ۳/۲ ( شماره ۱ ) و نازکترین سیم به قطر ۰/۱ میلی متر ( شماره ۱۶ ) می باشد.

اندازه قطر و شماره سیم های هر سری در جدول ۱-۷ نوشته شده که اعداد ردیف اول، شماره سیم ها و ردیف دوم، قطر سیم ها را به میلی متر نشان می دهد.



شکل ۲-۷



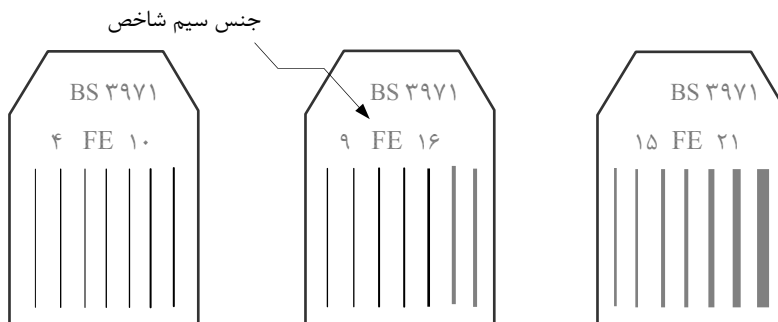
ب - شاخص های سیمی ( استاندارد B.S.I )

( Wire type IQI , B.S.I ۳۹۷۱/۸۰ )

این نوع شاخص های تقریباً مشابه نوع قبلی هستند و تفاوت عمده آنها در تعداد سیم ها و ترتیب قرار گرفتن آنها می باشد. در شکل ۷-۳ ، شاخص های کیفیت تصویر طبق استاندارد BSI-۳۹۷۱-۸۳ و ISO ۱۰۲۷-۸۳ ملاحظه می گردند . شماره های شاخص و اندازه هر سیم در جدول ۷-۲ آمده است .

۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
۰.۰۶۳	۰.۰۸	۰.۰۱	۰.۱۲۵	۰.۱۶	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۲	۰.۴	۰.۵	۰.۶۳	۰.۸	۱.۰	۱.۲۵	۱.۶	۲.۰		
۲.۵	۳.۲																

جدول ۷-۲



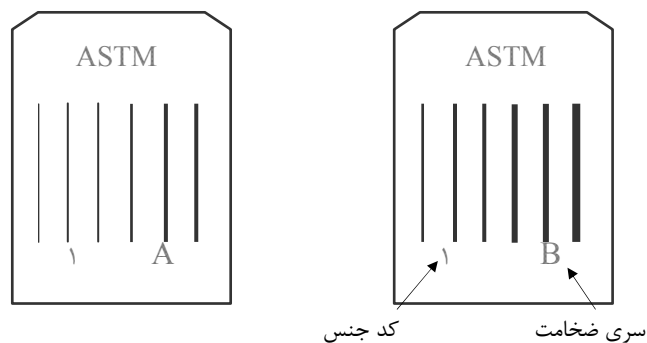
شکل ۷-۳

## ج - شاخص سیمی (استاندارد ASTM)

Wire Type IQI, ASTM-E-۷۴۷/۸۴

شاخص های سیمی این استاندارد نیز با مختصر تفاوتی، مشابه شاخص های سیمی دو استاندارد قبلی می باشد (شکل ۷-۴). این استاندارد، شاخص ها را در چهار سری D,C,B,A تقسیم نموده که هر سری از شش سیم با ضخامت های زیر تشکیل شده است:

سری A از شماره ۱ لغایت ۶، با ضخامت های ۰/۰۸ تا ۰/۲۵ میلی متر  
 سری B از شماره ۱ لغایت ۶، با ضخامت های ۰/۲۵ تا ۰/۸۱ میلی متر  
 سری C از شماره ۱ لغایت ۶، با ضخامت های ۰/۸۱ تا ۲/۵ میلی متر  
 سری D از شماره ۱ لغایت ۶، با ضخامت های ۲/۵ تا ۸ میلی متر



شکل ۷-۴

شاخص های این استاندارد، در هر چهار سری فوق، برای فلزات زیر ساخته می شوند:

Aluminum Bronze  
 Inconel & Titanium  
 Aluminum  
 Magnesium

## د - شاخص صفحه ای ( استاندارد ASTM )

Plaque Type IQI, ASTM, E-۱۴۲ / ۶۸

این نوع شاخص ها بصورت صفحات مستطیلی نازک با سه سوراخ ساخته می شوند که قطر کوچکترین سوراخ ( ۱T ) برابر با ضخامت صفحه و دو سوراخ دیگر به ترتیب ۲ و ۴ برابر ضخامت صفحه ( ۲T , ۴T ) می باشند . روی هر صفحه شماره شاخص با حروف سربی نوشته شده که معرف ضخامت صفحات به هزارم اینچ است .

ضخامت نازکترین صفحه و کوچکترین سوراخ این نوع شاخص ها، معادل ۰/۰۰۵ اینچ است و به دلیل کوچکتر شدن سوراخ، امکان ساخت صفحات نازکتر نمی باشد .

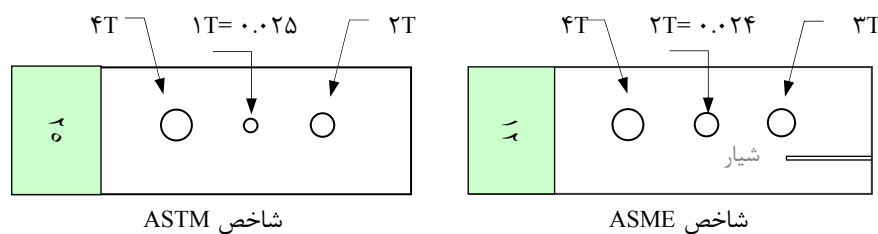
حداکثر ضخامت صفحات ۰/۱۸ اینچ می باشد و برای ضخامت های بیشتر، شاخص به شکل گرد ( سکه ای ) با دو سوراخ ساخته می شود . شاخص های صفحه ای تحت سری A و B برای حداقل شش نوع فلز طراحی می گردند .

## ه - شاخص صفحه ای استاندارد ( ASME )

ASME, Plaque Type IQI

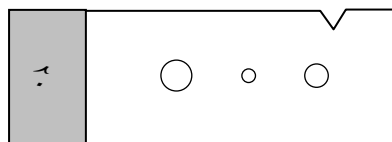
اگرچه شاخص های ASTM مرجعی برای درجه حساسیت استاندارد ASME بشمار می آیند اما این استاندارد، خود نیز شاخص هایی با نام ASME طراحی نموده که اندازه سوراخ ها به ترتیب ۲T, ۳T, ۴T می باشند و یک شیار به طول ۰/۲۵ و عرض ۰/۰۱ اینچ، در جهت طولی صفحه شاخص ایجاد شده است .

اگر چه روش کاربرد هر دو نوع مشابه می باشد اما نوع شاخص ASME ، به دلیل داشتن شیار، از کیفیت بالاتری برخوردار است ( شکل ۵-۷ - الف ) .

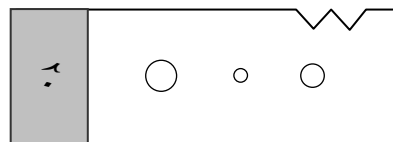


شکل ۵-۷-الف

ضمناً چون شاخص ها برای فلزات مختلف ساخته می شوند، برای تمایز آنها، دندان هائی در هر شاخص ایجاد شده که تعداد آنها معرف جنس شاخص خواهد بود ( شکل ۵-۷-ب ).  
شاخص های فولاد به شکل مستطیل ساده و بدون دندان می باشند ( شکل ۵-۷-الف ).



شکل ب - شاخص Grade ۴



شکل الف - شاخص Grade ۵

شکل ۵-۷-ب

### روش استفاده از شاخص صفحه ای :

معمولاً در استانداردها، درجه حساسیت به نسبت قطر سوراخ روی هر شاخص صفحه ای تعریف می گردد . بطور مثال وقتی به درجه حساسیت ۲T - ۲ اشاره می شود، به این مفهوم است که ضخامت صفحه شاخص باید ۲٪ ضخامت باشد و سوراخی که دو برابر ضخامت است به وضوح در تصویر پرتونگاره دیده شود.

در پرتونگاری های عادی درجه حساسیت ۲T-۲ ( ضخامت صفحه ۲٪ و سوراخ ۲T )، برای پرتونگاری قطعات حساس ۱-۲T ( ضخامت صفحه ۱٪ و سوراخ ۲T ) و برای پرتونگاری ادوات غیر حساس ۲-۴T ( ضخامت صفحه ۲٪ و سوراخ ۴T ) بکار برده می شود .

### مقایسه شاخص ها :

اگرچه شاخص های صفحه ای ASME , ASTM ، به دلیل داشتن چند سوراخ، مرزبندی دقیقتری از وضوح تصویر را نشان می دهند، لیکن در زمان محاسبه درجه حساسیت، فقط یک ضخامت منحصر انتخاب می گردد و برای مفسر تشخیص میانگین درجه حساسیت مشکل خواهد بود اما در نوع شاخص سیمی، در هر تصویر چند سیم از هفت سیم شاخص، همزمان در تصویر دیده می شوند و علاوه بر سیمی که مبنای در صد حساسیت است، سیم ما قبل و ما بعد آن نیز قابل رؤیت خواهند بود و مفسر می تواند میانگین درجه حساسیت را تعیین نماید .

**جنس شاخص ها :**

اساساً مناسبترین معیار سنجش حساسیت، داشتن شاخصی همجنس با قطعات مورد پرتونگاری است. اما در مواردی بدلیل تنوع مواد، چنین امری قابل اجرا نمی باشد. در چنین حالتی بهتر است از شاخصی استفاده نمود که ضریب جذب پرتوهای آن برابر با ضریب جذب قطعات مورد آزمایش باشد. برای این منظور، می توان بکمک جدول ۱-۴ ضریب جذب معادل فولاد را بدست آورد .

**چند نکته :**

- جنس شاخص های استاندارد DIN و BS با حروف اختصاری جنس فلز مانند Fe ، Al از هم متمایز می شوند
- شاخص های استاندارد ASTM به لحاظ جنس در هشت گروه تقسیم شده اند که شاخص هر گروه با دندانه های روی شاخص و کد مشخص می گردند .
- شاخص های نوع صفحه ای استاندارد ASTM برای جنس فولاد، به شکل مستطیل ساده و بدون دندانه می باشند اما برای سایر فلزات با تعداد دندانه های روی هر شاخص جنس آنها مشخص می گردد .
- برای حصول کیفیت مناسب، هیچگاه نباید از شاخصی که ضریب جذب آن از ضریب جذب قطعات اصلی کمتر است استفاده نمود. در چنین حالتی درجه حساسیت بسیار زیادتری بدست می آید و مفسر دچار اشتباه خواهد شد .

**محل قرار گرفتن شاخص :**

اصولاً برای افزایش کیفیت وضوح تصویر و تباین ، شاخص روی ضخامت<sup>۱</sup> و به سمت منبع تابش قرار می گیرد، اما در مواردی مانند پرتونگاری از لوله های با قطر زیاد ( تکنیک دو دیواره یک تصویر )، قرار دادن شاخص سمت فیلم<sup>۲</sup> ( زیر ضخامت ) مناسبتر است، مشروط بر اینکه استاندارد محل قرار گرفتن را تأکید ننموده باشد .

بطور معمول تعداد شاخص های کیفیت و محل قرار گرفتن آنها روی فیلم توسط استاندارد ساخت و یا روش پرتونگاری مشخص می گردد .

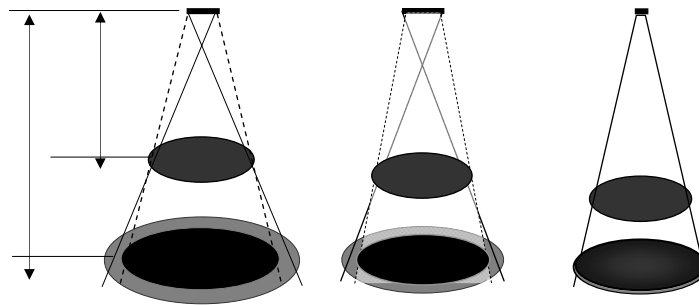
---

۱ - Source Side

۲ - Film Side

#### ۴ - وضوح تصویر پرتونگاره ( Image Definition )

در یک مثال ساده، تصویر پرتونگاره، مانند سایه جسمی است که تحت تابش مستقیم نور قرار گرفته باشد. طبیعی است که جهت تابش نور و پارامترهای هندسی تابش در شکل و ابعاد سایه تأثیر می گذارند. در بحث پرتونگاری نیز وضوح تصویر پرتونگاره به عواملی مانند طیف پرتوها، پارامترهای هندسی تابش، فیلم پرتونگاری و عوامل ظهور بستگی دارد.



شکل ۶-۷

در شکل ۶-۷، تصویر یک جسم در سه حالت مشاهده می شود که در هر سه حالت تصاویر جسم بزرگتر از اندازه واقعی ظاهر شده اند:

در حالت A، تصویر بزرگتر اما بدون سایه دیده می شود.

در حالت B، به علت بزرگی منبع تابش ( مرکز انتشار ) علاوه بر بزرگنمایی، هاله ای از سایه پیرامون تصویر جسم شکل گرفته است.

در حالت C، در حالیکه اندازه منبع تابش کوچکتر شده، اما به علت فاصله کمتر جسم تا منبع تابش، تصویر بزرگتر و سایه بیشتری پیرامون تصویر جسم بوجود آمده است.



## چند نتیجه :

- ( ۱ ) - هر چه فاصله جسم تا تصویر کمتر شود، اندازه تصویر واقعی تر و با سایه کمتری دیده خواهد شد ( شکل ۷-۶، حالت A ) .
- ( ۲ ) - هر چه اندازه منبع بزرگتر گردد ( شکل ۷-۶، حالت B )، تصویر مجازی جسم بزرگتر و اندازه سایه بیشتر خواهد شد .
- ( ۳ ) هر چه فاصله جسم تا منبع کمتر گردد، اندازه تصویر مجازی بزرگتر و اندازه سایه بیشتر می گردد ( شکل ۷-۶، حالت C ) .
- برای تعیین حد بزرگنمایی تصویر یک جسم روی فیلم پرتونگاره، از رابطه ۷-۲ استفاده می شود .

$$S. / S_1 = D. / D_1 \quad \text{رابطه ۷-۲}$$

S. - اندازه جسم ( قطر معادل )

S<sub>1</sub> - اندازه تصویر ( قطر معادل )

D. - فاصله منبع انتشار پرتو تا جسم

D<sub>1</sub> - فاصله منبع انتشار پرتو تا فیلم

## مثال :

یک قطعه به قطر ۱۰ سانتی متر در فاصله ۱۶ سانتی متری از منبع پرتو قرار گرفته است، اگر فاصله فیلم تا منبع تابش ۲۰ سانتی متر باشد، اندازه تصویر محاسبه می گردد .

$$S. / S_1 = D. / D_1$$

$$۱۰ / S_1 = ۱۶ / ۲۰$$

$$S_1 = ۱۲.۵ \text{ cm}$$

## حالت های عدم وضوح ( Unsharpness )

اصولاً عدم وضوح تصویر پرتونگاره در سه عامل عدم وضوح ذاتی، عدم وضوح هندسی و عدم وضوح به علت پراکندگی تعریف می گردد و اگر عامل پراکندگی تحت کنترل قرار گیرد، عدم وضوح تصویر فقط در دو حالت ذاتی و هندسی خلاصه می شود .

$$U_{\text{Total}} = ( U_f + U_g )^{1/2} \quad \text{رابطه ۷-۳}$$

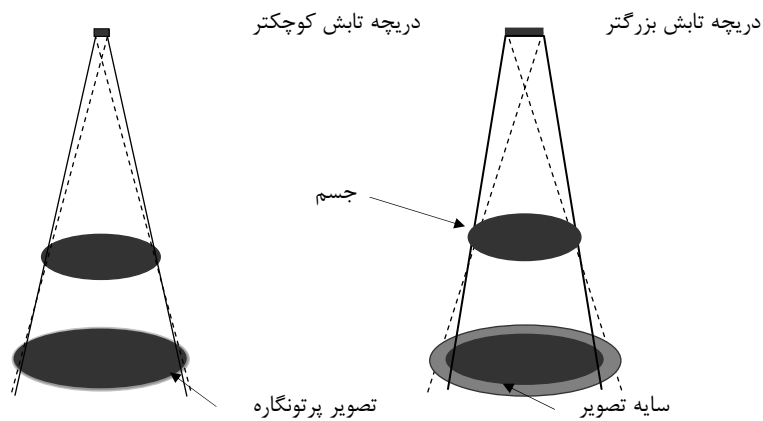
$U_f$  - عدم وضوح ذاتی ( فیلم )

$U_g$  - عدم وضوح هندسی ( پارامترهای هندسی تابش )

در رابطه ۳-۷، عدم وضوح ذاتی ( $U_f$ ) بیشتر به فیلم پرتونگاری، نوع صفحات تشدیدکننده و عوامل ظهور و ثبوت مربوط می شود که در بحث تبیین تصویر دلایل آن شرح داده شد. لذا در ادامه به شرح دلایل عدم وضوح هندسی تصویر ( $U_g$ ) پرداخته می شود که در پنج حالت زیر روی می دهد:

#### الف - اندازه دریچه تابش ( Focal Spot Size )

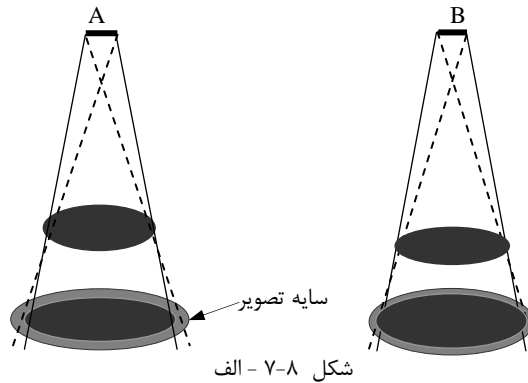
هر چه اندازه دریچه تابش ( اندازه کانون انتشار ) منبع تابش کوچکتر باشد، طیف پرتوها باریکتر و زاویه گسترش کمتر خواهد بود و در نتیجه تصویر پرتونگاره با وضوح بهتر دیده می شود. در شکل ۷-۷ تفاوت دو اندازه کانونی، از دو منبع تابش مشاهده می گردد. با منبع کوچکتر، سایه تصویر کمتر و با منبع بزرگتر، سایه بیشتر شده است.



شکل ۷-۷

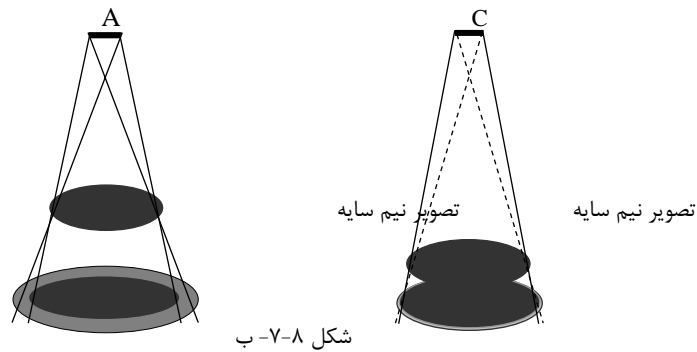
## ب - فاصله منبع تابش تا جسم ( Focal to Object Distance )

در شکل ۸-۷ - الف، درحالیکه سایر فاکتورهای تابش ثابت هستند، تفاوت بزرگنمایی دو تصویر در حالت های A و B مقایسه می شوند. تصویر سایه حالت B، که فاصله جسم تا منبع بیشتر شده، کوچکتر از حالت A دیده می شود.



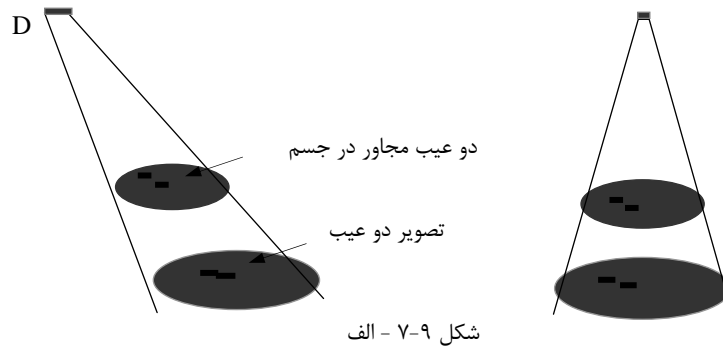
## ج - فاصله جسم تا فیلم ( Focal to Film Distance )

در شکل ۸-۷ - ب، با مقایسه دو تصویر در حالت های A و C، می بینیم در حالت C که فاصله جسم تا تصویر ( فیلم ) کمتر شده، تصویر با وضوح بهتر و نیم سایه کمتری نسبت به حالت A شکل گرفته است.



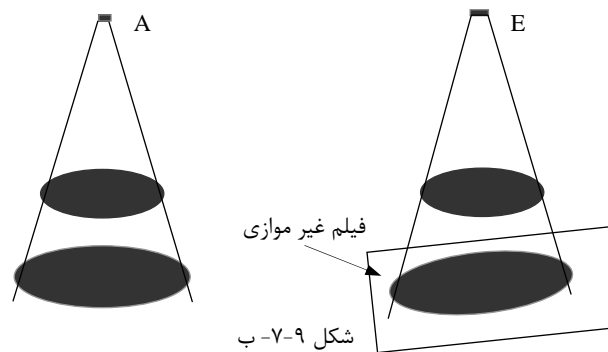
## د - زاویه تابش ( Beam Profile )

در شکل ۹-۷-الف، پرتوها از منبع تابش D تحت زاویه ای شیب دار (اریب) به جسم برخورد نموده اند. در این حالت علاوه بر بزرگنمایی تصویر، موقعیت عیوب نیز در تصویر پرتونگاره غیرواقعی دیده می شوند (منبع تابش D).



## ه - موازی نبودن فیلم با جسم

بطوری که در شکل ۹-۷-ب حالت E، دیده می شود، درحالیکه جهت تابش نسبت به جسم و فیلم مستقیم بوده، اما بدلیل غیرموازی بودن فیلم با جسم، تصویر جسم مجازی با بزرگنمایی غیر واقعی ظاهر شده است. چنین حالتی معمولاً برای نصب فیلم پشت قطعات ناهموار و غیر موازی پیش می آید و چنانچه مفسر از شکل هندسی قطعه مطلع نباشد، تفسیر نیز غیر واقعی خواهد بود.



بطور کلی عدم وضوح هندسی، بزرگنمایی تصویر و وجود سایه پیرامون تصویر مانع تشخیص دقیق عیوب می گردد. برای کاهش عوامل ناخواسته فوق، بایدنکات زیر مورد توجه قرار گیرند.

- ۱ - منبع انتشار پرتو باید تا حد ممکن کوچک انتخاب گردد.
- ۲ - تا حد ممکن فاصله منبع تا جسم بیشتر شود.
- ۳ - فاصله بین فیلم و جسم به حداقل ممکن رسانده شود.
- ۴ - جهت تابش به حالت عمودی انجام گیرد.
- ۵ - فیلم کاملاً موازی به پشت قطعه نصب می گردد.

#### اندازه نیم سایه تصویر ( Penumbral Distance )

با توجه به عواملی که شرح داده شد، امکان حصول به تصویری با وضوح و اندازه واقعی جسم بسیار مشکل و گاه غیرممکن می باشد. بطور مثال، چنانچه کلیه پارامترهای تابش بدقت انتخاب گردند، بنا به دلایلی چون ضخامت قطعه، جهت تابش، غیر موازی بودن فیلم با قطعه و عدم وضوح ذاتی، شکل گیری سایه پیرامون تصویر اجتناب ناپذیر خواهد بود. بنابراین در زمان تفسیر یک فیلم پرتونگاره، همواره باید مجموعه شرایط پرتونگاری مورد بررسی و مطالعه مفسر قرار گیرد.

یک تصویر پرتونگاره بشرطی قابل تفسیر دقیق خواهد بود که اندازه و میزان سایه ای که بصورت هاله پیرامون تصویر شکل می گیرد از حد معینی تجاوز نکند. اندازه عدم وضوح هندسی از رابطه ۴-۷ بدست می آید:

$$U_g = \frac{F_x t}{d}$$

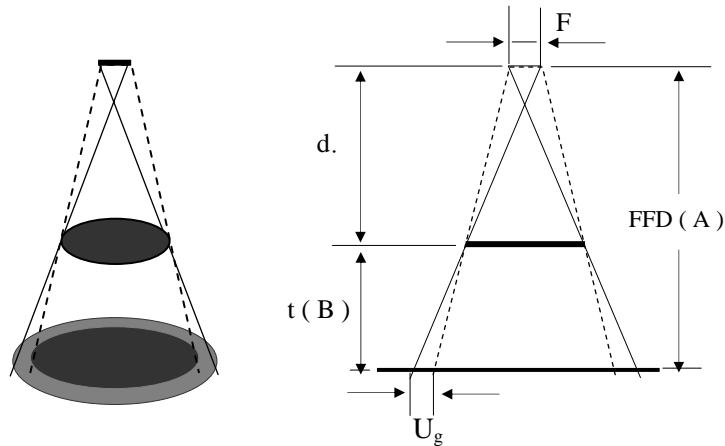
رابطه ۴-۷

$U_g$  - عدم وضوح هندسی ( Unsharpness Geometry )

$F$  - اندازه دریچه تابش

$t$  - فاصله فیلم تا جسم

$d$  - فاصله جسم تا منبع تابش



شکل ۷-۱۰

$$U_g / F = t / d. \quad \Rightarrow \quad U_g = F \times t / d.$$

اگر در رابطه فوق بجای عدم وضوح از واژه نیم سایه (P) و مطابق شکل ۷-۱۰ بجای t از حرف B استفاده گردد، رابطه زیر بدست می آید:

$$P = \frac{B \times F}{A - B}$$

رابطه ۷-۵

P - نیم سایه ( Penumbral distance )

B - فاصله فیلم تا سطح بالای جسم

A - فاصله فیلم تا منبع تابش

مثال ۱:

طول نیم سایه یک تصویر پرتونگاره با مشخصات زیر محاسبه می گردد:  
اندازه دریچه منبع (F= ۴)، فاصله فیلم تا جسم (B = ۲۰) و فاصله فیلم تا منبع (B= ۵۰۰) میلی متر است.  
راه حل:

$$P = B \times F / (A - B) \Rightarrow (۲۰ \times ۴) / (۵۰۰ - ۲۰) = ۰.۱۶۷ \text{ mm}$$

در این مثال، اندازه هرنیم سایه در هر طرف تصویر ۰/۱۶۷ میلی متر شده است .  
حداکثر اندازه مجاز نیم سایه در اغلب استانداردها، ۰/۲۵ میلی متر می باشد .

### مثال ۲ :

اندازه دریچه تابش منبعی ۲ میلی متر، فاصله فیلم تا منبع ۹۱۴ و ضخامت جسم مورد پرتونگاری ۲۵ میلی متر است، در حالیکه فیلم کاملاً به جسم چسبیده است ، اندازه نیم سایه محاسبه می گردد ( در این مثال B معادل ضخامت خواهد بود ) .

$$P = 25.4 \times 2 / (914 - 25.4) = 0.057 \text{ mm}$$

### ۵ - پراکندگی ( Radiation Scattering )

وقتی پرتوهای ایکس و گاما، به قطعه ای تابیده شوند، متناسب با شدت پرتوها ، بخشی از پرتوها جذب قطعه شده و باقیمانده پرتوها که معمولاً طول موج های بزرگتری دارند دچار پدیده های انکسار و پراکندگی می گردند .

چنانچه این نوع پرتوها در برخورد ثانویه به فیلم پرتونگاری برسند موجب کدری و مه آلودگی ( Fogy ) تصویر خواهند شد. پراکندگی پرتوها به چند شکل زیر روی می دهد :

#### الف - پراکندگی اولیه ( Forward Scattering )

این نوع پراکندگی به دلیل تفرق پرتوها در برخورد اولیه با جسم روی می دهد، در صورت طولانی بودن زمان تابش، وجود این نوع پرتوها در فضای اطراف فیلم موجب مه آلودگی و کدری تصویر می شوند .

#### ب - پراکندگی کناری ( Wall Scattering )

معمولاً پرتوهای پراکنده ای که به اطراف قطعه منحرف می شوند در اثر برخورد با دیواره جانبی قطعات، به سمت فیلم برگشت شده و روی فیلم اثر می گذارند. این نوع پراکندگی که به پراکندگی دیواری موسوم است سبب کدری و مه آلودگی تصویر فیلم خواهد شد.

## ج - پراکندگی پشتی ( Back Scattering )

در زمان عبور پرتوها از قطعه و فیلم، چنانچه پرتوهای عبور یافته، با مانعی مانند زمین سخت برخورد کنند، منعکس شده و در برگشت روی فیلم اثر خواهد گذاشت. این نوع پراکندگی که به پراکندگی پشتی موسوم است موجب ایجاد نیم سایه در اطراف تصویر و کدری شدید فیلم خواهد شد. برای پیشگیری از برگشت پرتوهای انعکاسی به پشت فیلم، خصوصاً در انرژی های بالا، باید لایه سربی پشت فیلم ضخیم تر انتخاب گردد و در صورت امکان سطح زمین با ورقه های سربی پوشانده شود.

نکات مهم بخش هفت

عواملی که در تفسیر یک تصویر پرتونگاره اثر می گذارند عبارتند از حساسیت، تباین، شفافیت تصویر و شرایط تفسیر فیلم که در ادامه به عوامل و تأثیر هر کدام بطور خلاصه اشاره می گردد:

## ۱ - حساسیت

حساسیت یک تصویر پرتونگاره به سه عامل زیر بستگی دارد:

الف) کیفیت پرتوها      ب) کیفیت فیلم      ج) فرایند ظهور و ثبوت

## ۲ - تباین یک تصویر

تباین تصویر پرتونگاره تابع عوامل زیر می باشد:

الف) تغییرات ضخامت و شکل هندسی      ب) قدرت جذب پرتوها توسط قطعات و عیوب  
ج) شکل هندسی و موقعیت عیوب      د) پراکندگی پرتوها

## ۳ - شفافیت یک تصویر پرتونگاره:

وضوح و شفافیت تصویر تحت عوامل زیر شکل می گیرد:

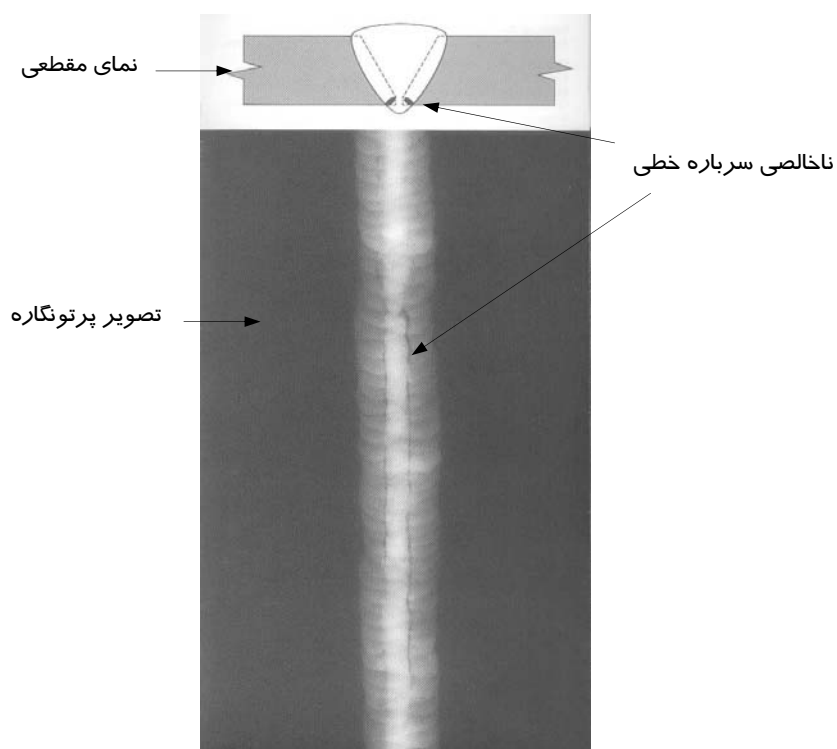
الف) - اندازه دریچه کانون انتشار پرتوها      ب) - فاصله منبع تابش تا قطعه  
ج) - فاصله قطعه تا فیلم      د) - نوع صفحات تشدید کننده  
ه) - انرژی پرتوها



## ۴ - شرایط تفسیر فیلم پرتونگاره :

- الف - شدت نور و نوع نور چراغ فیلم خوانی ( فلورسنت یا معمولی )  
 ب - یکنواختی نور چراغ و پوشاندن منفذها  
 ج - نور اطاق فیلم خوانی  
 د - توانائی دید چشم مفسر

در شکل ۷-۱۱ نمونه ای از یک تصویر پرتونگاره از یک اتصال لب به لب یک طرفه مشاهده می گردد. همانطور که در نمای مقطعی اتصال مشهود است به علت باقیماندن ناخالصی در پاس دوم ( Hot Pass ) تصویر سرباره های خطی به شکل خطوط آهن در فیلم پرتونگاره دیده می شود ( Wagon Truck Slag Line ) .



شکل ۷-۱۱

## تکنیک های پرتونگاری

مقدمه :

با تعریفی که از قبل داشتیم ، هدف از انجام فرآیند پرتونگاری آشکار سازی ناهمگنی ها و عیوب درون قطعات روی یک تصویر پرتونگاره می باشد. اساس و مکانیزم کار نیز مشخص است، پرتوها با ویژگی خاصی از یک منبع تابش به قطعه ای می رسند و پس از عبور از ضخامت قطعه، تاثیرات خود را روی فیلمی که در زیر قطعه قرار دارد می گذارند .

قدرت منبع، فاصله فیلم تا منبع، ضخامت ، نوع فیلم و عوامل ظهور و ثبوت هر کدام به نحوی در پدیدار نمودن تصویر نقش خواهند داشت .

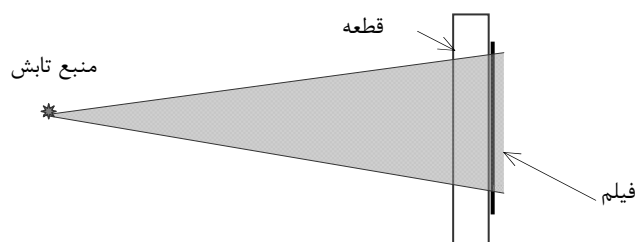
اما آنچه که خارج از این مکانیزم قرار دارد، شکل هندسی قطعات می باشد که به نحوی مؤثر می تواند روش پرتونگاری را متحول سازد. مثلاً برای پرتونگاری از یک قطعه فلزی تخت، با قرار دادن فیلمی در زیر قطعه، فرآیند پرتونگاری طبق آنچه گفته شد قابل اجرا می باشد. در حالیکه برای پرتونگاری لوله و یا سیلندری که سطح داخل آن برای نصب فیلم قابل دسترسی نمی باشد، اجرای کار متفاوت خواهد بود . بنابراین برای اجرای پرتونگاری از قطعات متنوع، باید مطابق شکل هندسی قطعات، قابلیت دسترسی، امکان هدایت پرتوها و کاهش هزینه پرتونگاری، از روش های متفاوتی موسوم به تکنیک های پرتونگاری استفاده نمود .

با تکنیک مناسب، رابطه بین منبع تابش، قطعه و فیلم پرتونگاری در حدی مهیا می شود که با کمترین هزینه، مناسبترین کیفیت تصویر بدست آید .

## انواع تکنیک های پرتونگاری

### ۱ - تکنیک یک دیواره یک تصویر ( Single Wall- Single Image )

در این تکنیک فیلم در پشت قطعه ای نصب شده و تابش پرتوها پس از عبور از ضخامت قطعه به فیلم می رسد. در این حالت چون پرتوها فقط یک دیواره ضخامت را طی می کنند به تکنیک یک دیواره یک تصویر موسوم است ( شکل ۸-۱ ).



شکل ۸-۱

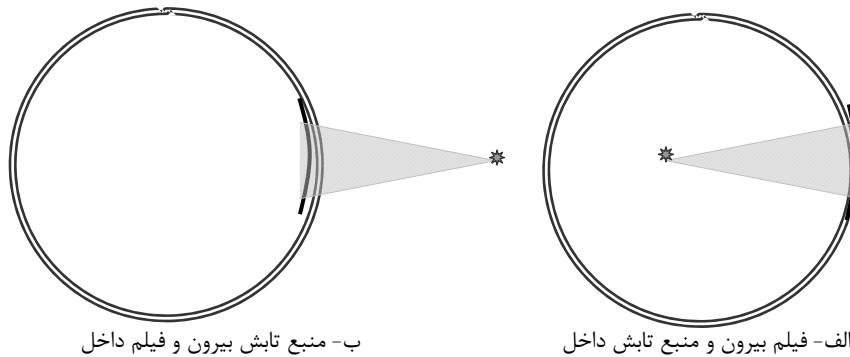
تکنیک یک دیواره یک تصویر به دو طریق تابش یک جانبه و تابش همه جانبه انجام می گیرد.

#### الف - تابش یک جانبه ( Directional Exposure )

این تکنیک علاوه بر پرتونگاری قطعات تخت ( شکل ۸-۱ )، برای پرتونگاری موضعی دیواره مخازن و ادوات استوانه ای ( با قطر زیاد ) که سطح داخل آنها قابل دسترسی باشد، استفاده می گردد. با این تکنیک فیلم در یک سمت موضوع و منبع تابش در سمت دیگر آن قرار گرفته و پرتونگاری انجام می شود ( شکل های ۸-۲-الف و ب ).

#### ب - تابش همه جانبه ( Panoramic )

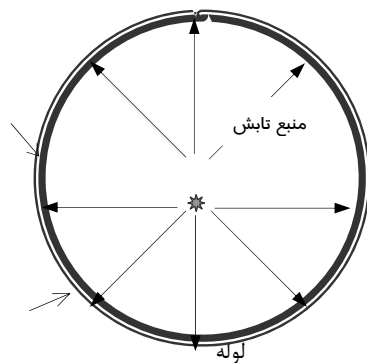
این روش برای پرتونگاری محیطی مخازن ( کوچک )، برجهای استوانه ای، مخازن کروی و لوله هائی که سطح داخل آنها قابل دسترسی باشند بکار می رود. در این روش فیلم پرتونگاره پیرامون محیط مخزن و یا لوله بسته شده و با یک نوبت تابش همه جانبه تمام محیط جوش پرتونگاری می گردد ( شکل ۸-۳ ).



ب- منبع تابش بیرون و فیلم داخل

الف- فیلم بیرون و منبع تابش داخل

شکل ۲-۸، تکنیک تابش همه جانبه



با تکنیک تابش همه جانبه چشمه پرتوزا در مرکز مخزن قرار می گیرد و پرتوها بطور یکسان به دیواره مخزن تابیده می شوند.

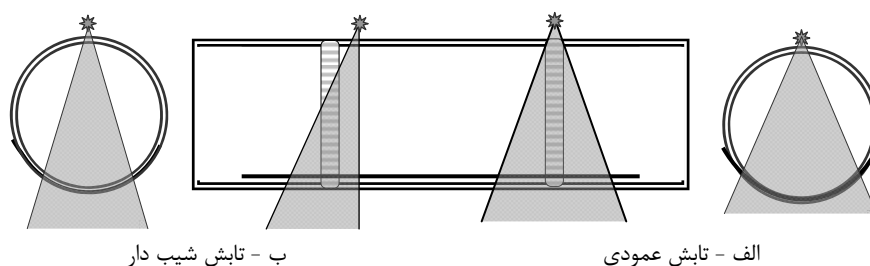
شکل ۳-۸، تکنیک تابش همه جانبه (پانورامیک)

## ۲- تکنیک دو دیواره یک تصویر (Double Wall-Single Image)

بطوری که از عنوان آن مشخص است در این تکنیک، پرتوها از دو ضخامت عبور می کنند اما فقط یک تصویر روی فیلم شکل می گیرد. این تکنیک مخصوص پرتونگاری ادواتی است، که دسترسی به سطح پشت ضخامت برای نصب فیلم مقدور نباشد (شکل ۴-۸).

کاربرد فراگیرتر این تکنیک برای پرتونگاری جوش های خطوط لوله ایست که به دلیل طولانی بودن خط لوله، دسترسی به پشت ضخامت ( داخل لوله ) غیر ممکن باشد. برای اجرای تکنیک دودیواره یک تصویر، منبع تابش در یک سمت لوله طوری قرار می گیرد که ضخامت اولیه ( سمت منبع ) مانند یک فیلتر عمل نماید. در چنین حالتی فقط تصویر ضخامت دوم در فیلم دیده خواهد شد.

در شکل ۴-۸، دو حالت از پرتونگاری دو دیواره یک تصویر مشاهده می شود. در شکل الف، پرتوها بطور عمودی تابیده می شوند. در این حالت، پرتوها به کمانی معادل یک سوم محیط (۱۲۰ درجه) برخورد خواهند نمود. در شکل ب، پرتوها با شیب به لوله تابیده شده و طبیعی است که طول کمان کوتاهتری در مقابل پرتوها قرار می گیرد. در این حالت، اگر چه دیواره اول با ضخامتی یکنواخت پرتوها را عبور می دهند اما ممکن است تصویر بعضی از عیوب با شکل هندسی متفاوتی دیده شوند.

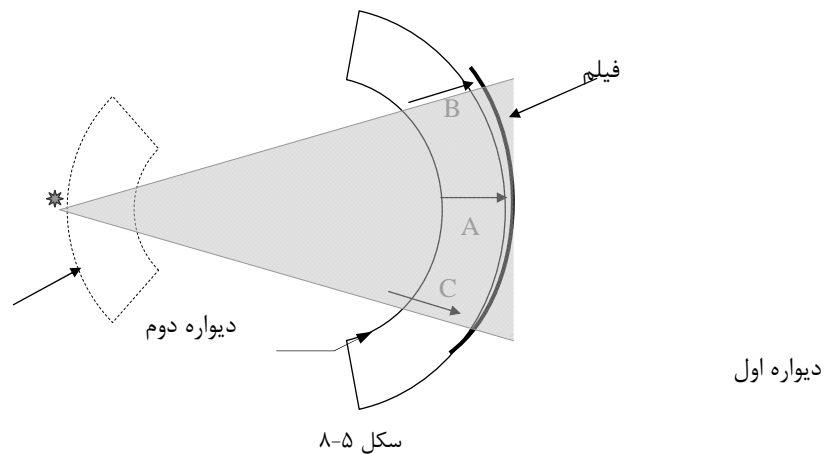


شکل ۴-۸

#### طول فیلم قابل تفسیر ( Diagnostic Film Length ) :

با توجه به اینکه در تکنیک دودیواره یک تصویر، در هر نوبت تابش فقط بخشی از محیط لوله تحت تابش قرار می گیرد، لذا برای پوشش تمام محیط لوله، پرتونگاری در چند نوبت تکرار می گردد که تعداد دفعات پرتو دهی بستگی به قطر، فاصله منبع تا ضخامت اول و طول فیلم قابل تفسیر دارد. در تکنیک دو دیواره یک تصویر، طول فیلم قابل تفسیر با حد تغییرات دانسیته نسبت به ضخامت ( Latitude ) رابطه مستقیم دارد.

بطوری که در شکل ۵-۸، دیده می شود، فاصله طی شده پرتوها در سه ناحیه B, A و C با هم برابر نمی باشند. در بخش میانی، که پرتوها مسیر مستقیمی را طی می کنند درجه سیاهی تصویر پرتونگاره بیشتر از دو ناحیه B و C خواهد بود به همین دلیل دانسیته فیلم قابل تفسیر با دانسیته نسبی در تمام طول فیلم پرتودیده مقایسه می گردد، تفاوت دانسیته حد میانی با دو سمت آن نباید از ۱۰٪ تجاوز نماید . در اغلب استانداردها، برای پرتونگاری با دوربین های گاما حداقل سه تابش ۱۲۰ درجه ای و برای دوربین های ایکس ۴ تابش ۹۰ درجه ای توصیه شده است .



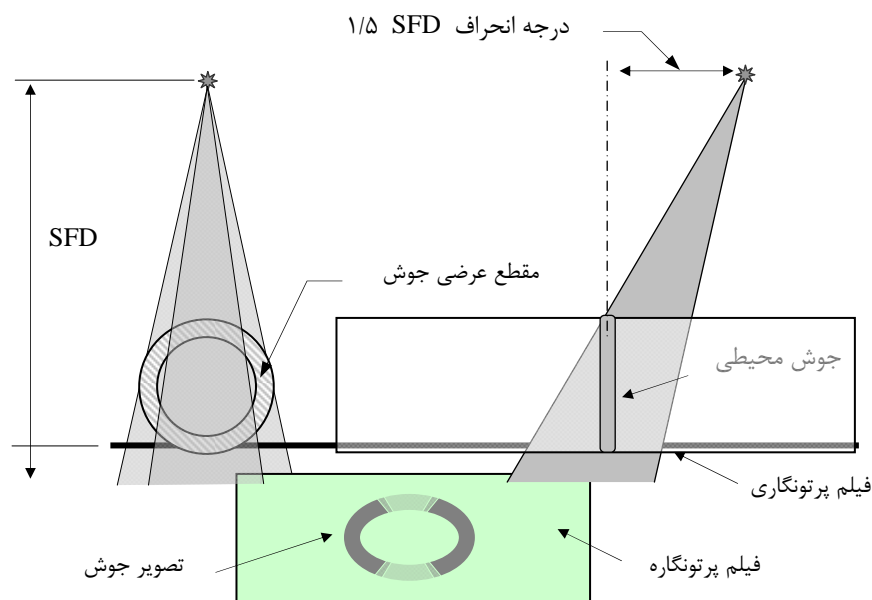
### ۳- تکنیک دو دیواره دو تصویر ( Double Wall Double Image )

این تکنیک که به تکنیک بیضوی ( Eleptical ) نیز موسوم است، مخصوص پرتونگاری قطعات سیلندری و لوله های با قطر کمتر از ۹۰ میلی متر می باشد . در این تکنیک هر دو ضخامت لوله تحت تابش پرتوها قرار می گیرد و تصویر هر دو ضخامت ( دیواره ) نیز در تصویر پرتونگاره ظاهر می شود ( شکل ۶-۸ ) .

در تکنیک دو دیواره دو تصویر، بمنظور پیش گیری از انطباق دو ضخامت، منبع تابش در راستایی غیرمستقیم ( Offset ) نسبت به جوش قرار داده می شود و به همین علت نیز تصویر قطر لوله به شکل بیضی در تصویر پرتونگاره دیده خواهد شد.

اما به دلیل جذب پرتوها توسط مقطع عرضی جوش ( شکل ۶-۸ )، بخش میانی بیضی با دانسیته کمتری نسبت به دو دیواره ظاهر می گردد، لذا تابش های دیگری برای آشکار سازی نقاط کم دانسیته لازم خواهد بود

تعداد دفعات تابش برای وضوح کامل محیط جوش، به قطر خارجی و قطر داخلی لوله بستگی دارد. چنانچه نسبت قطر خارجی به قطر داخلی برابر و یا کمتر از عدد  $1/4$  گردد ( یک ممیز چهار دهم )، دو تابش  $90^\circ$  درجه ای از دو جهت کافی خواهد بود و اگر از این حد بیشتر شود، حد نسبت ها در عدد  $1/7$  ضرب می گردد ( مثال ۱ ).



شکل ۶-۸

## مثال ۱:

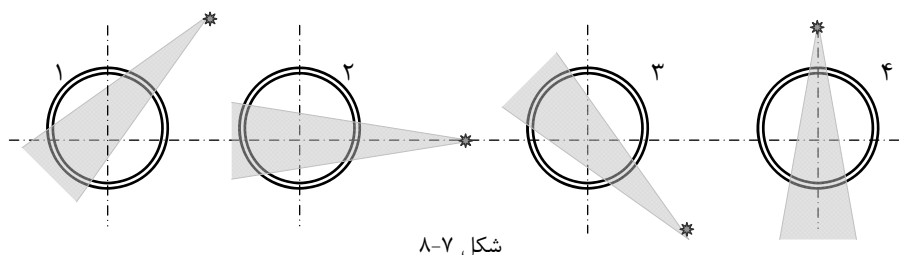
تعداد دفعات پرتونگاری از جوش لوله ای به قطر خارجی ۵۰ و ضخامت ۱۲/۵ میلی متر به صورت زیر محاسبه می شود:

$$d = 50 - (2 \times 12.5) = 25 \text{ mm} \quad \text{قطر داخلی لوله}$$

$$D/d = 50 / 25 = 2 \quad \text{نسبت از } 1/4 \text{ بیشتر است}$$

$$2 \times 1.7 = 3.4 \quad \text{نسبت قطر به ضخامت در عدد } 1/7 \text{ ضرب می شود}$$

در این مثال تعداد دفعات لازم برای پوشش تمام محیط ۳/۴ شده است که بجای عدد اعشاری یک نوبت به سه افزوده شده و به چهار تابش ۴۵ درجه ای می رسد ( شکل ۷-۸ ).



شکل ۷-۸

## ۴ - ماشین کرالر ( Crawler Machine )

این وسیله نوعی ماشین سیار است که می تواند با حمل دوربین های ایکس و گاما ، در درون خطوط لوله حرکت نموده و از جوش های محیطی پرتونگاری بعمل آورد . کنترل عملیات پرتودهی و جابجائی آن در خط لوله بوسیله چشمه پرتوزای سیزیوم ۱۳۷ و از بیرون لوله انجام می گیرد .

## اجزاء اصلی ماشین کرالر :

- ۱ - گاری چرخ دار که چرخ های آن مطابق با قطر لوله قابل تنظیم و تعویض می باشند .
- ۲ - دستگاه مولد اشعه ایکس و یا منبع پرتوزای گاما .
- ۳ - منبع تولید انرژی الکتریکی ( موتور دیزلی، بنزینی و یا باتری ) برای حرکت کرالر و انرژی تابش برای دوربین اشعه ایکس .



- ۴ - تجهیزات الکترونیکی کنترل دستگاه، شامل سیستم فرمان های حرکت ، پرتو دهی ، ایست، ساعت و سنسور حساس در مقابل پرتوها .
- ۵ - دوربین پرتوزای سیزیم ۱۳۷ برای کنترل از راه دور ( Remote control )، زمان های تابش و حرکت کرالر در خط لوله .

#### مکانیزم کار دستگاه :

- ۱ - پرتونگاری با ماشین کرالر، اغلب با تکنیک تابش همه جانبه ( پانورامیک ) انجام می گیرد. بنابراین دوربین پرتونگاری، در مرکز لوله تنظیم و تثبیت می شود .
- ۲ - قبل از انتقال ماشین به درون خط لوله، کلیه پارامترهای تابش توسط سیستم کنترل الکترونیکی تنظیم می گردد .
- ۳ - سیستم سنسور دستگاه نسبت به پرتوها حساس می باشد لذا پس از انتقال کرالر در خط لوله، کلیه فرمان ها شامل حرکت رو به جلو، برگشت به عقب ، توقف و پرتو دهی بوسیله یک دوربین سیزیم و از بیرون لوله داده می شود .
- ۴ - قبل از رسیدن ماشین به هر جوش محیطی، فیلم پیرامون جوش بسته می شود و با فرمان حرکت و قراردادن سیزیم روی جوش، ماشین به حرکت در آمده و در فاصله معینی از جوش ایست می کند.
- ۵ - پس از استقرار کرالر در زیر جوش فرمان تابش داده می شود.
- ۶ - عملیات بطور تکراری برای سایر جوش ها انجام می گیرد .

#### دو نکته :

- با این نوع دستگاه ها، خط لوله ای بطول تا ۵ کیلومتر قابل پرتونگاری می باشد . هر چه منبع تغذیه الکتریکی دستگاه بیشتر و تعداد تابش ها کمتر باشد، توانایی برد طولی ماشین در خط لوله بیشتر خواهد بود .
- معمولا برای پرتونگاری خطوط لوله با سیستم کرالر، برای قطر های کم از دوربین گاما و برای قطر های زیاد از دوربین اشعه ایکس استفاده می شود .

## زمان تابش پرتونگاری

مقدمه :

وقتی پرتوهای ایکس و گاما از قطعه ای عبور کرده و به سطح یک فیلم پرتونگاری برسند، در نتیجه واکنش شیمیائی کریستال های نقره در سطح فیلم، یک تصویر پرتونگاره با دانسیته معینی شکل می گیرد. درجه دانسیته فیلم به عواملی مختلفی نظیر جنس، ضخامت، تکنیک و فاکتورهای هندسی تابش، صفحات تشدیدکننده، نوع فیلم و شرایط ظهور بستگی خواهد داشت. اگر از این مجموعه فقط زمان و شدت تابش متغییر و سایر عوامل با حرف اختصاری K ثابت فرض شوند، ضریب تابش از رابطه زیر بدست می آید :

$$E = K \cdot I \cdot t \quad \text{رابطه ۹-۱}$$

E - ضریب تابش

K - فاکتورهای تابش

I - شدت تابش پرتوها

t - زمان تابش

با فرض ثابت بودن فاکتور K ، حاصلضرب شدت تابش پرتوها در زمان تابش همواره ثابت خواهد بود. مثلاً؛ با شدت تابشی معادل ۳ میلی آمپر و زمان تابش ۴ دقیقه ، ضریب تابش ۱۲ میلی آمپر دقیقه می گردد و اگر بخواهیم زمان تابش نصف شود، شدت تابش دو برابر یعنی ۶ میلی آمپر خواهد شد .

$$E = I_1 \times t_1 = 3 \times 4 = 12 \text{ mA min}$$

$$12 = I_2 \times t_2 \Rightarrow I_2 = 6 \text{ mA min}$$

اما با توجه به اینکه، در یک کار پرتونگاری، تغییر پارامترهایی مانند فاصله فیلم تا منبع تابش ، نوع فیلم پرتونگاری، صفحات تشدیدکننده و عملیات ظهور اجتناب ناپذیراست، فاکتور تابش K نمی تواند ثابت بماند.

بطور مثال با تغییر فاصله فیلم تا منبع تابش، طبق رابطه مربع مستقیم، تغییر قابل ملاحظه ای در زمان تابش بوجود می آید .

رابطه مربع مستقیم فاصله ها  $E_1 / E_2 = (d_1)^2 / (d_2)^2$  به ترتیب ضرایب تابش برای دو فاصله  $d_1, d_2$  می باشند .

### مثال :

با چشمه ای به قدرت ۲۰ کوری و زمان تابش ۳ دقیقه، برای فیلمی که در فاصله ۳۰۰ میلی متری از منبع تابش قرار داشته ، دانسیته ۲ بدست آمده است . چنانچه فاصله فیلم تا منبع به ۴۰۰ میلی متر رسانده شود، زمان تابش جدید محاسبه می گردد .

$$E_1 = I_1 \times T_1 \quad \Rightarrow \quad E_1 = 20 \times 3 = 60 \text{ Ci-min}$$

$$E_2 = I_2 \times T_2 \quad \Rightarrow \quad I_2 = E_2 / 20$$

$$E_2 = E_1 \times d_2^2 / d_1^2$$

$$E_2 = 60 \times 400^2 / 300^2 \quad \Rightarrow \quad E_2 = 106 \text{ Ci min}$$

$$I_2 = E_2 / 20 \quad \Rightarrow \quad 106 / 20 = 5.3 \text{ min}, ( 5 \text{ min} + 18 \text{ sec} )$$

با توجه به مقدمه و مثال فوق می بینیم ، برای محاسبه زمان تابش باید مجموعه عوامل تابش مدنظر قرار گیرند. برای این منظور از روش هائی چون نمودارهای تابش، خط کش محاسبه و رابطه ریاضی ( فرمول ) برای جایگزین فاکتور K استفاده می شود که در ادامه به شرح هر کدام از روش ها پرداخته خواهد شد .

### نمودار تابش ( Exposure chart )

برای رسم نمودار تابش و بدست آوردن یک درجه سیاهی معینی از تصویر پرتونگاره، عوامل زیرمورد بررسی قرار می گیرند :

- ( ۱ ) - نوع منبع پرتوزا و یا مولد پرتو ساز
- ( ۲ ) - فاصله نقطه انتشار پرتو تا فیلم
- ( ۳ ) - جنس قطعه مورد پرتونگاری
- ( ۴ ) - نوع فیلم پرتو نگاری
- ( ۶ ) - لایه های تشدید کننده
- ( ۷ ) - عملیات ظهور و ثبوت

## روش رسم نمودار تابش

برای رسم نمودار تابش، چند قطعه مسطح از جنس فولاد به ضخامت های ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ میلی متر و همچنین تعدادی کاست حاوی فیلم و صفحات سربی کاملاً مشابه و یکسان استفاده می گردد.

### مراحل رسم :

- ۱ - یکی از کاست ها در زیر قطعه ۱۰ میلی متری نصب شده و در فاصله ای معین از منبع تابش قرار می گیرد .
- ۲ - ولتاژ و میلی آمپر دستگاه در حد معینی انتخاب می گردد .  
بطور مثال ؛ ولتاژ ۱۷۰ کیلو الکترون ولت و شدت جریان ۳ میلی آمپر انتخاب شده است .
- ۳ - قطعه و فیلم تحت تابش پرتوها قرار می گیرند ، در این مرحله زمان تابش طوری انتخاب می گردد که دانسیته فیلم پس از ظهور به ۲ درجه سیاهی برسد .  
برای این منظور ممکن است با تغییر زمان تابش و همچنین تکرار پرتونگاری و چندنوبت تعویض فیلم دانسیته مورد نظر بدست آید .
- ۴ - مقادیر ولتاژ، میلی آمپر، فاصله فیلم تا منبع تابش و زمان تابش یادداشت می گردد.
- ۵ - با ثابت نگهداشتن سایر پارامترها، فیلم دیگری زیر قطعه ۱۲ میلی متری نصب می گردد در این مرحله نیز زمان تابش در حدی افزایش می یابد تا فیلمی با دانسیته ۲ بدست آید.  
( زمان تابش یادداشت می شود ) .
- ۶ - با تکرار مرحله ۵ روی ضخامت های ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ میلی متری ، زمان های تابش برای دانسیته ۲ در هر مرحله یادداشت می گردد .
- ۷ - نموداری با دو محور افقی و عمودی رسم می شود. محور افقی بر اساس ضخامت و محور عمودی بر پایه لگاریتم زمان تابش تقسیم بندی می گردند.
- ۸ - لگاریتم زمان های تابش محاسبه شده و از تقاطع هر ضخامت نسبت به لگاریتم زمان تابش، مختصات شش نقطه بدست می آید .



شرایط رسم نمودار

شرایط رسم منحنی های نمودار ۹-۱ به شرح زیر بوده است :

- ( ۱ ) - نوع فیلم مورد استفاده Agfa DV
- ( ۲ ) - فاصله فیلم تا منبع ۷۰ سانتی متر
- ( ۳ ) - صفحات تشدید کننده دو طرف فیلم، نوع لایه نازک سربی به ضخامت ۰/۱ میلی متر
- ( ۴ ) - نوع ظهور، دستی در درجه حرارت ۲۴ درجه سانتی گراد
- ( ۵ ) - دانسیته فیلم ها در تمام مراحل ۲ بوده است .

در زمان استفاده از این نمودار ، چنانچه نوع فیلم، فاصله فیلم تا منبع تابش و دانسیته فیلم پرتونگاره متفاوت با شرایط رسم منحنی ها باشد، از نسبت های تعریف شده در جدول ۹-۱ استفاده می شود که همراه هر نمودار ارائه می گردد .

جدول ۹-۱ ضرایب تبدیل نمودار تابش

ضریب تبدیل نوع فیلم	ضریب تبدیل فاصله	ضریب تبدیل دانسیته
F.F فاکتور اولیه ۳۵	S.F.D ( ۷۰ cm ) فاصله اولیه	Density = ۲ دانسیته اولیه ۲
$D_{\gamma} = T_x \ ۱$	$۷۰ = T_x \ ۱$	$D = ۲ \Rightarrow T_x \ ۱$
$D_{\xi} = T_x \ ۲.۷$	$۳۵ = T_x \ ۰.۲۵$	$D = ۱.۵ \Rightarrow T_x \ ۰.۷$
$D_{\gamma} = T_x \ ۰.۷$	$۸۰ = T_x \ ۰.۸$	$D = ۲.۵ \Rightarrow T_x \ ۱.۳$
$AX = T_x \ ۱$		$D = ۳ \Rightarrow T_x \ ۱.۸$

F.F - فیلم فاکتور ( Film Factor )

D - دانسیته

T - زمان تابش

S.F.D - فاصله فیلم تا منبع ( Source to Film Distance )

**مثال:** با استفاده از نمودار ۹-۱، برای پرتونگاری قطعه ای به ضخامت ۱۲ میلی متر با انرژی ۱۷۰ کیلوالکترون ولت و میلی آمپر ۳، زمان تابش ۲ دقیقه خواهد شد.

اگر بخواهیم دانسیته فیلم جدیدی با درجه سیاهی ۱/۵ بدست آید، طبق جدول ۹-۱، زمان تابش اولیه در ۰/۷ ضرب می گردد و زمان تابش جدید بدست می آید.

$$3 \text{ min} \times 0.7 = 2.1 \text{ min} (2 \text{ min} + 6 \text{ sec.})$$

در همین مثال اگر بجای فیلم DV (با فاکتور ۳۵) از فیلم MX با فاکتور ۱۱۵ استفاده شود طبق جدول ۹-۱، زمان تابش اولیه در ۳/۲ ضرب می شود.

$$T_2 = T_1 \times 3.2$$

$$T_2 = 3 \times 3.2 = 9.6 \text{ min.}$$

### نکات مهم:

- محدوده ولتاژهای رسم منحنی ها، طوری انتخاب گردد که با شرایط واقعی پرتونگاری همخوانی داشته باشد.
- نمودار تابش پرتوهای گاما، برای هر چشمه با نیم عمر و پرتوزائی ویژه بطور منحصر و جداگانه رسم می گردد.
- برای رسم نمودار، فاصله فیلم تا منبع تابش ثابت نگهداشته می شود. اما در زمان استفاده از نمودار، در صورت تغییر فاصله، نسبت تغییر فاصله قابل محاسبه خواهد بود.
- مواد مختلف دارای توانائی جذب متفاوتی هستند، بنابراین هر نمودار برای جنس مشخصی رسم می شود و در زمان کار روی مواد دیگر، از ضریب معادل جذب استفاده می گردد برای این منظور در تراز انرژی کمتر از ۱۰۰ کیلوالکترون ولت از معادل آلومینیوم و برای انرژی بیش از آن از معادل فولاد استفاده می شود (جدول ۴-۱، بخش ۴).
- ضخامت و جنس صفحات تشدید کننده باید مطابق شرایط پرتونگاری انتخاب گردد و اصولاً چون صفحات تشدید کننده فلورسنتی تابع تغییرات نمودار نمی باشند، لذا برای رسم نمودار، نباید از صفحات تشدید کننده فلورسنتی استفاده نمود.
- در زمان رسم منحنی، درجه سیاهی معینی مبنای دانسیته قرار می گیرد لذا در زمان استفاده از نمودار، از طریق مقایسه دانسیته ها می توان دانسیته جدید را بدست آورد.

- برای رسم نمودار، فقط از یک نوع فیلم با سرعت متوسط بهره گرفته می شود و در زمان پرتونگاری با هر نوع فیلم دیگر، به نسبت سرعت و فاکتور فیلم ( مورد استفاده )، زمان تابش جدید تعیین می گردد .
- مهمترین عاملی که در زمان رسم نمودار و در زمان استفاده از نمودار، می تواند ضریب خطا را افزایش دهد ، شرایط ظهور فیلم و درجه حرارت محلول های ظاهرکننده می باشند . لذا در زمان استفاده از نمودار، باید از شرایطی مشابه با زمان رسم نمودار استفاده گردد، به همین دلیل نوع محلول و شرایط ظهور در حاشیه هر نمودار نوشته می شود .
- شدت نور دستگاه فیلم خوانی و دستگاه اندازه گیری دانسیته برای کلیه فیلم ها در شرایط یکسان تنظیم گردند .

## نمودارهای گاما

- نمودارهای تابش گاما نیز مانند نمودارهای پرتوهای ایکس رسم می گردند اما دو تفاوت عمده زیر برای رسم آنها وجود دارد
- ۱ - منبع تابش گاما شدت ثابتی ندارد و در هر نوبت تابش باید شدت آن تعیین گردد.
  - ۲ - بر خلاف مولدهای ایکس که میلی آمپر ثابت نگهداشته می شد، پرتوهای گاما چنین شرایط ندارند و برای ضریب تابش، همواره از حاصلضرب زمان تابش در کوری استفاده می شود (  $E = C_i \times T$  ) .

## خط کش های محاسبه

خط کش های محاسبه زمان تابش، در انواع مدل ها ساخته می شوند. با این نوع خط کش ها، بدون استفاده از رابطه و جدول، طبق روشی که در بروشور خط کش نوشته شده زمان تابش تعیین می گردد . خط کش های محاسبه مخصوص پرتونگاری با پرتوهای گاما طراحی می گردند و با داشتن اطلاعاتی مانند فاکتور فیلم، قدرت چشمه، فاصله فیلم تا چشمه و ضخامت، زمان تابش برای دانسیته معینی قابل محاسبه خواهد بود .



رابطه ریاضی زمان تابش

علی رغم اینکه استفاده از جدول، نمودار و خط کش محاسبه، روش ساده تری برای محاسبه زمان تابش می باشند اما دانستن روابط ریاضی برای شرایط خاصی که نمودار و خط کش محاسبه در دسترس نباشد ضروری خواهد بود که در ادامه به یک روش محاسبه زمان تابش برای پرتوهای گاما اشاره می گردد:

$$T = \frac{Ci-hr \times SFD^2 \times FF \times 60}{Ci \times 40^2 \times 20} *$$

رابطه ۹-۲

T - زمان تابش ( دقیقه )

Ci-hr - کوری ساعت ( جدول ۹-۲ )

SFD - فاصله فیلم تا منبع تابش به اینچ ( Source to Film Distance )

FF - فاکتور فیلم ( Film Factor )

Ci - قدرت چشمه ( کوری )

\* - بمنظور تبدیل کوری ساعت به کوری دقیقه ، عدد ۶۰ در صورت کسرقرار می گیرد.

رابطه ۹-۲ طبق شرایط زیر تهیه شده است :

- ( ۱ ) - نوع چشمه پرتوزا ، ایریدیوم ۱۹۲ به قدرت یک کوری بوده است .
- ( ۲ ) - فاصله اولیه فیلم تا منبع تابش ۴۰ اینچ بوده که مربع آن در مخرج رابطه فوق قرار می گیرد .
- ( ۳ ) - از صفحات تشدیدکننده سربی به ضخامت ۰/۱ میلی متر استفاده شده است .
- ( ۴ ) - فیلم ها در درجه حرارت ۲۰ درجه سلتی گراد و زمان توقف ۵ دقیقه ظاهر شده اند.
- ( ۵ ) - از فیلمی با فاکتور ۲۰ ( Film Factor )، استفاده شده است که این عدد نیز بطور ثابت در مخرج کسر قرار می گیرد.
- ( ۶ ) - دانسیته نهائی ۲ بدست آمده است .

مثال :

چنانچه قرار باشد لوله ای به قطر ۳۰ اینچ و ضخامت ۱/۲۵ اینچ، با چشمه ایریدیوم ۱۹۲ به قدرت ۱۰ کوری پرتونگاری شود زمان تابش چقدر خواهد بود؟

تکنیک : دو دیواره یک تصویر

فیلم مورد استفاده : Agfa DV

دانسپته مورد نیاز ۲ می باشد

محاسبه از طریق رابطه ۲-۹ :

مقدار کوری/ ساعت برای ضخامت ۱/۲۵ اینچ، طبق جدول ۲-۹ برابر با ۵/۳۳ می باشد که در صورت کسر قرار می گیرد .

فاکتور فیلم Agfa DV طبق جدول ۳-۹ معادل ۳۵ می باشد .

$$FF = 35 \quad SFD = 30 \text{ inch} \quad Ci \text{ hr} = 5.33 \quad Ci = 10 \text{ curie}$$

$$T = \frac{(Ci - hr) \times (SFD)^2 \times FF \times 60}{Ci \times 40 \times 40 \times 20}$$

$$T = \frac{5.33 \times (30)^2 \times 35 \times 60}{10 \times 40 \times 40 \times 20}$$

$$T = 31.41 \text{ min}$$

توضیح :

۱ - ارقام دو جدول ۲-۹ و ۳-۹ مخصوص رابطه فوق تهیه شده است .

۲ - ضرایب تبدیل جدول ۱-۹، مخصوص نمودار ۱-۹ تهیه شده اما در محدوده ولتاژهای مشابه، بطور عموم نیز قابل استفاده می باشد .

۳ - حروف A, E, F در ستون سازنده فیلم ( جدو ۳-۹ ) نشاندهنده حرف اول کشور سازنده می باشند

جدول نسبت ضخامت به کوری / ساعت								
ضخامت به اینچ	.۱۸	۰.۲	.۳۱	.۳۷	.۴۳	۰.۵	.۵۶	.۶۲
	۵	۵	۲	۴	۷		۳	۲
کوری - ساعت	۲	۲.۱	۲.۱	۲.۲	۲.۳	۲.۵	۲.۶	۲.۷
		۵	۸	۵	۳		۶	۵
ضخامت به اینچ	۰.۷	.۷۴	۰.۸	.۸۷	.۹۳	۰.۱	۱.	۱.۱
		۸	۱	۴	۷		۰.۶	۲
کوری - ساعت	۳	۳.۱	۳.۲	۳.۶	۳.۸	۴.۱	۴.	۵
		۵	۵			۵	۳۵	
ضخامت به اینچ	۱.۱	۱.۲	۱.۳	۱.۳	۱.۴	۱.۵	۱.	۱.۶
	۹	۵	۱	۷	۳		۵۵	۲
کوری - ساعت	۵.۱	۵.۳	۵.۵	۵.۷	۶.۶	۷.۳	۸.	۹
	۵	۳		۵		۳	۴	
ضخامت به اینچ	۱.۷	۱.۸	۲.۰	۲.۱	۲.۲	۲.۳	۲.	۲.۶
	۴	۷		۲	۵	۷	۵	۲
کوری در ساعت	۱۰.	۱۲	۱۴	۱۷	۲۰	۲۳	۲۷	۳۲
	۵							

فاکتور فیلم	نوع فیلم	نام سازنده
۱۱۵	Industerex MX	Kodak F
۳۵	Industerex AX	Kodak F
۲۵	Industerex CX	Kodak F
۵۰	AA - ۵	Kodak A
۱۲۰	Microtex MX	Kodak E
۳۰	Industerex A	Kodak E
۳۵	D ۷	Agfa D۷
۹۵	D ۴	Agfa D۴
۲۰۰	D ۲	Agfa D۲
۲۸	Cronex NDT ۷۰	Dupont

## بخش ۱۰

### دستورالعمل و روش پرتونگاری

#### مقدمه :

روش پرتونگاری عبارت است از تهیه و نوشتن شرح جزئیات اجرایی یک فرآیند پرتونگاری، که طی آن یک موضوع طبق جزئیات ذکر شده تحت پرتونگاری قرار گرفته و تصویری متعارف از تغییرات درونی موضوع بدست آید .

در یک روش پرتونگاری، پارامترها و جزئیات اجرایی طوری انتخاب می گردند که تصویر پرتونگاره از حداقل شرایط زیر برخوردار باشد :

- ۱ - دانسیته تصویر پرتونگاره در حد قابل تفسیر بدست آید .
- ۲ - درجه حساسیت فیلم پرتونگاره برای آشکار سازی عیوب با هدف و نیاز استاندارد، مطابقت داشته باشد .
- ۳ - تصویر بدست آمده، عاری از مه آلودگی و کدری باشد .
- ۴ - کمترین حدنیم سایه و عدم وضوح هندسی ( کمتر از ۰/۲۵ میلی متر ) در تصویر پرتونگاره شکل بگیرد .
- ۵ - مشخصات کامل موضوع پرتونگاری روی فیلم پرتونگاره بوضوح قابل تشخیص باشند .

#### اطلاعات اولیه :

برای تهیه دستورالعملی مطابق با هدف و نیاز استاندارد، باید حداقل اطلاعات اولیه شامل نوع و طرح اتصال، جنس، شکل هندسی، قطر و ضخامت در اختیار قرار گیرد. با داشتن اطلاعات اولیه، سایر عوامل پرتونگاری انتخاب شده و یک روش پرتونگاری تهیه و مکتوب می گردد.

## جزئیات دستوالعمل پرتونگاری

با بدست آوردن اطلاعات اولیه ، روش پرتونگاری به نحوی تهیه می گردد تا نکات زیر در دستورالعمل مشخص شده باشند :

### ۱ - نوع منبع تابش

#### الف - مولد اشعه ایکس

شامل مدل و نام تجاری ، مشخصات فنی ، سیستم خنک کننده ، میلی آمپر و حداکثر ولتاژ دوربین اشعه ایکس .

#### ب - چشمه پرتوزا

شامل نوع چشمه ، نوع محفظه ، مدل و نام تجاری چشمه و محفظه ، قدرت چشمه ، نیمه عمر و پرتوزائی ویژه .

### ۲ - شکل هندسی ، ضخامت و جنس

شامل اطلاعات زیر است که رابطه بین جزئیات روش را مشخص می کند :

- جنس قطعات مورد پرتونگاری

- شکل هندسی ( لوله ، مخزن و ... )

- قطر و ضخامت

### ۳ - تکنیک پرتونگاری

انتخاب تکنیک و یا تکنیک های پرتونگاری ، به شکل هندسی و قابلیت دسترسی به پشت ضخامت مربوط می شود که باید در روش مشخص شده باشد

بطور مثال برای پرتونگاری اتصال لوله به لوله از تکنیک دو دیواره یک تصویر و برای پرتونگاری از جوشهای مخزن ذخیره از تکنیک یک دیواره یک تصویر استفاده می شود . اما در صورت استفاده از ماشین کرالر، پرتونگاری از جوشهای لوله به لوله نیز با تکنیک یک دیواره یک تصویر ( پانورامیک ) انجام می گیرد .

#### ۴ - تعداد دفعات تابش

تعداد دفعات تابش به تکنیک پرتونگاری، شکل هندسی موضوع مورد پرتونگاری و طول فیلم قابل تفسیر (Diagonstic film length) در هر تابش بستگی دارد. تعداد و طول همپوشانی فیلم ها، باید در روش نوشته شود.

#### ۵ - نوع فیلم پرتونگاری

نوع فیلم در کیفیت و سرعت پرتونگاری تأثیر می گذارد، هرچه سرعت فیلم بیشتر باشد سرعت عملیات پرتونگاری بیشتر شده و در مقابل از کیفیت تصویر کاسته می شود. لذا انتخاب فیلم به درجه کیفیت پرتونگاری بستگی خواهد داشت. بعلاوه فیلم ها بصورت حلقه ای و صفحه ای با ابعاد متفاوتی ساخته می شوند. نوع فیلم، ابعاد و خصوصاً عرض فیلم در روش نوشته می شود.

#### ۶ - صفحات تشدید کننده

انتخاب جنس و ضخامت صفحات تشدید کننده به سه عامل زیر بستگی دارد:

الف - درجه اهمیت پرتونگاری

انتخاب صفحات تشدید کننده به ارزش کیفی تصویر پرتونگاره بستگی دارد. بطور مثال، برای پرتونگاری از یک موضوع غیر حساس، می توان از صفحات فلورسنتی نیز استفاده نمود.

ب - پراکندگی پرتوها

چنانچه احتمال پراکندگی، خصوصاً پراکندگی از پشت فیلم زیاد باشد، فقط از صفحات سربی با دو ضخامت استفاده می گردد. لذا نوع و ضخامت صفحات باید در روش نوشته شود.

ج - شدت تابش

ضخامت صفحات تشدید کننده به شدت تابش نیز بستگی دارد. بطور مثال چنانچه شدت تابش کمتر از ۱۰۰ کیلو الکترون باشد، از صفحات نازک و در مواردی حتی از فیلم بدون پوشش استفاده می گردد، در حالیکه برای انرژی بیش از ۴۰۰ کیلو الکترون ولت، فقط صفحات سربی قابل استفاده خواهد بود.

علاوه بر جنس و ضخامت، نوع بسته بندی صفحات تشدیدکننده ( یکبار مصرف و یا قابل تعویض ) باید در روش منظور گردد .

### ۷ - درجه حساسیت پرتونگاری

درجه حساسیت پرتونگاری متناسب با حد آشکارسازی عیوب، براساس نیاز و هدف استاندارد پرتونگاری و طبق رابطه زیر انتخاب می شود . در هر روش پرتونگاری، درجه حساسیت تصویر، نوع شاخص تصویر ( سیمی یا صفحه ای ) و محل قرارگرفتن آنها نوشته می شود .

$$S = \frac{t_x \cdot 100}{T}$$

S - درجه حساسیت    t - ضخامت شاخص    T - ضخامت قطعه

### ۸ - دانسیته فیلم پرتونگاره

محدوده دانسیته به استاندارد مرجع و همچنین شکل هندسی اتصال بستگی دارد و در صورت تفاوت ضخامت، برای هر ناحیه از فیلم دانسیته جداگانه ای تعریف می گردد. بطور مثال با توجه به برجستگی ریشه و گرده جوش، درجه سیاهی جوش و دو طرف اتصال یکسان نخواهد بود . لذا حد دانسیته برای هر ناحیه از تصویر بصورت میانگینی و به نسبت تغییرات شیب منحنی ویژه فیلم در روش پرتونگاری منظور می گردد.

### ۹ - عدم وضوح هندسی

روش محاسبه عدم وضوح هندسی بر اساس پارامترهای پرتونگاری و رابطه زیر قابل تعریف می باشد، حداکثر اندازه عدم وضوح هندسی در روش مشخص می گردد .

$$U_g = \frac{B_x \cdot F}{A - B}$$

$U_g$  - اندازه عدم وضوح هندسی

B - فاصله فیلم تا بالای ضخامت

A - فاصله فیلم تا منبع تابش

F - اندازه دریچه تابش

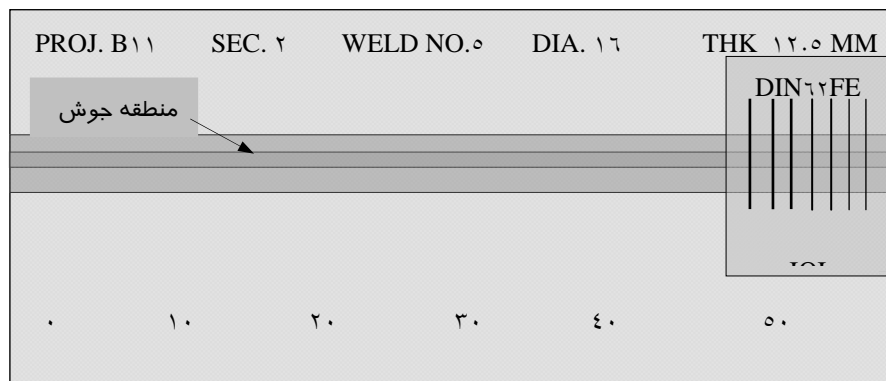


## ۱۰ - مشخصات فیلم پرتونگاره

برای ثبت اطلاعات روی تصویر هر فیلم پرتونگاره، از اعداد و حروف سربی استفاده می شود که بصورت منظم و مفهومی دار همراه با شاخص کیفیت، روی یک کادر مقوایی مستطیل شکل نصب می شوند. برای تعیین موقعیت نقطه پرتونگاری شده، یک نوار موسوم به مترسربی که روی آن اعداد سربی نصب شده، همراه با کادرمقوایی در بین سطح کار و فیلم و یا بین سطح کار و منبع قرار می گیرد. ابعاد حروف و اعداد سربی باید در حدی انتخاب شوند که با وضوح کافی روی تصویر پرتونگاره نمایان شوند. مشخصات کاملی که در زمان پرتونگاری باید روی فیلم های پرتونگاره دیده شود، در روش مشخص می گردد.

در شکل ۱-۱۰، نمونه ای از یک کادر استاندارد با مشخصات فرضی زیر دیده می شود:

نام پروژه (B11)، واحد پرتونگاری شده (Section ۲)، شماره جوش (۵)، قطر (۱۶in)، ضخامت (۱۲.۵ mm)، نوع شاخص (IQI, ۱۰-۱۶)، موقعیت از (۰ to ۵۵cm) و تاریخ پرتونگاری (۱۲/۸/۸۲) بوده است.



شکل ۱-۱۰

## ۱۱ - عملیات ظهور و ثبوت

در یک روش پرتونگاری باید مراحل و نکات فنی عملیات ظهور و ثبوت فیلم به شرح زیر مشخص گردند :

- الف - نوع عملیات، ( دستی یا اتوماتیک )
- ب - نوع محلول های ظهور، حمام توقف، ثبوت و شستشوی نهائی .
- ج - درجه حرارت و زمان توقف فیلم در هر محلول
- د - شرایط تاریکخانه، نوع نور در زمان ظهور و روش گرم و سرد نمودن محلول ها .

## ۱۲ - تهیه گزارش

نمونه ای از نوع گزارش پرتونگاری و گزارش تفسیرنتایج بصورت ضمیمه همراه روش پرتونگاری ارائه می گردد، مندرجات یک گزارش باید در برگیرنده حداقل نکات زیر باشد :

- الف - عنوان پروژه .
- ب - نام شرکت و درجه صلاحیت پرتوکاران .
- ج - جزئیات تکنیک های پرتونگاری .
- د - دانسیته و حساسیت فیلم های پرتونگاره .
- ه - شماره مشخص کننده موقعیت جوش و شماره پرتونگاری .
- و - چنانچه نتایج تفسیر همراه با گزارش پرتونگاری ارائه گردد، نحوه اعلام نتایج و درج عیوب در گزارش باید مشخص شود .

## ۱۳ - تفسیر فیلم های پرتونگاره

برای تفسیر فیلم های پرتونگاره باید نکات زیر در تهیه روش مد نظر قرار گیرند :

- الف - توانائی مفسر ( شامل مدرک و تجربه )
- ب - شرایط روشنائی اطاق تفسیر
- ج - نوع چراغ فیلم خوانی و شدت حداقل و حداکثر نور چراغ
- د - روش اندازه گیری دانسیته
- ه - استاندارد پذیرش عیوب

## ۱۴ - نگهداری فیلم های پرتونگاره

الف - فیلم های خام ( پرتو ندیده ) شرایط و محل نگهداری فیلم های خام و پرتو ندیده و همچنین روش بررسی سالم بودن فیلم در روش نوشته می شود . معمولاً چنانچه یک فیلم سالم و تابش ندیده ( خام )، با شرایط استاندارد در تاریکخانه ظاهر گردد، حداکثر دانسیته آن نباید از ۰/۳ درجه سیاهی تجاوز نماید.

ب - فیلم های تابش دیده نگهداری از فیلم های پرتونگاره بر حسب توافق برای مدت زمان معینی در روش پرتونگاری تعریف می گردد . چنانچه نگهداری فیلم های تابش دیده ( پس از خاتمه پرتونگاری ) برای مدت زمان طولانی مدنظر باشد، مدت زمان توقف فیلم در محلول ثبوت و آب نهائی باید در حدی باشد که کمترین اثر ماده Thiosulfate روی فیلم باقی بماند . هر چه مدت زمان توقف در آب نهائی بیشتر گردد، اثر این ماده کمتر و ثبات تصویر پرتونگاره و طول عمر آن بیشتر خواهد شد .

## ۱۵ - حفاظت در برابر پرتوها

علاوه بر نکاتی که به عنوان روش پرتونگاری مطرح شد، برای اجرای پرتونگاری ضمن معرفی محدوده مسئولیت ها ، باید روش های حفاظت در برابر پرتوها طبق مقررات سازمان انرژی اتمی طوری تهیه گردد که حداقل نکات زیر را شامل گردد :

الف - روش تعیین فاصله ایمنی برای پرتوکاران و افراد عادی که در محدوده عملیات پرتونگاری قرار می گیرند.

ب - روش های محافظت از فاصله تعیین شده شامل : علامت گذاری فواصل، طناب کشی و نصب علائم هشدار دهنده مانند چراغ چشمک زن و هشدار دهنده صوتی .

ج - ابزار و وسایل اضطراری در صورت بروز حادثه شامل : انبرمخصوص برداشتن چشمه پرتوزا ، سینه بند سربی ، پودر سرب ، محفظه یدک و ابزار کمکی دیگر .

د - تجهیزات حفاظت فردی برای پرتوکاران مانند دزیمتر قلمی و فیلم دزیمتری .

## نتیجه گیری :

همانطور که در مقدمه گفته شد، هدف از تهیه یک دستورالعمل پرتونگاری، دستیابی به نکاتی است که با اجرای آنها یک تصویر پرتونگاره، با کیفیت مطلوب و قابل تفسیر در حد استاندارد بدست آید. بنابراین کلیه عوامل و جزئیاتی که در یک دستورالعمل ذکر می شوند باید در عمل قابلیت اجرایی آنها برای دستیابی به یک تصویر پرتونگاره در حد استاندارد باثبات رسیده باشد .

وقتی کارائی یک دستورالعمل در عمل باثبات برسد بصورت یک روش اجرایی مرجع در عملیات پرتونگاری مورد استفاده قرار می گیرد. در صورت تغییر در پارامترهای اساسی روش مثلاً تغییر در تکنیک و یا نوع منبع، باید کارائی آن بطور عملی تأیید گردد .

معمولاً هراساندارد، براساس نیازهای تجربی خود، حداقل جزئیات قابل طرح در یک دستورالعمل و روش پرتونگاری را تأکید می کنند اما بسیاری از پارامترهای استاندارد مطابق شرایط جغرافیائی و امکانات موجود قابل تغییر هستند ولی می توانند با نیازهای استاندارد همسو گردند.

در صفحه بعد نمونه ای از جزئیات یک روش پرتونگاری برای جوش های محیطی لوله های فولادی طبق استاندارد BSI ۲۹۱۰/۸۶ ملاحظه می گردد که حداقل نیازهای قابل طرح در یک روش محسوب می گردد .

نمونه روش پرتونگاری ( طبق استاندارد ۸۶ / ۲۹۱۰ - B.S.I )

- ۱ - Technique
- ۲ - Type of equipment, exposure Container & KV rating
- ۳ - Type of film
- ۴ - Intensifying screen
- ۵ - Cassette ( film ) shilling and beam collimating
- ۶ - Source dimensions or focal size ( in. mm )
- ۷ - Geometric relationship defined by sketch
- ۸ - Length of weld covered on each radiograph and number of radiographs to be taken
- ۹ - Tube voltage , type and strength of source strength
- ۱۰ - Material thickness range
- ۱۱ - Surface condition and profile
- ۱۲ - Type, size and position of IQI
- ۱۳ - IQI sensitivity required
- ۱۴ - Film destiny
- ۱۵ - Processing
- ۱۶ - Limitations of The procedure

Absorption	جذب پرتوها
Absorption Coefficient	ضریب جذب
Absorbed Dose	دز جذبی
Absorbed Dose Rate	تندی دز جذبی
Activity	پرتوزائی
Adequate Shielding	حفاظ کافی برای پیشگیری از انتشار پرتوها در محیط . حداکثر نشت مجاز ۷/۵ میکرو سیورت ( ۰/۷۵ میلی رم ) در ساعت است
Anode	قطب مثبت در مولد اشعه ایکس
Back Scatter	پراکندگی پشتی ( از پشت فیلم )
Beam Angle	مجموعه زاویه گسترش پرتوها
Becquerel ( Bq )	واحد واپاشی هسته در ثانیه ( $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ )
Betatron	دستگاه مولد اشعه ایکس با انرژی بین ۱۰ تا ۳۵ مگا الکترون ولت
Cassette	کاست مخصوص فیلم ( جلد )
Cathode	قطب منفی در مولد اشعه ایکس ( فیلمان )
Characteristic Curve	منحنی ویژه
Clearing Time	زمان شفافیت فیلم در محلول ثبوت
Compton Scatter	پراکندگی کمپتون
Constant Potential Circuit	مدار پتانسیل ثابت
Continuous Spectrum	طیف پیوسته اشعه ایکس با طول موج های متفاوت
Contrast	تباين تصوير پرتونگاره
Contrast Sensitivity	حساسیت تباين تصوير
Curie	کوری واحد قدرت یک چشمه پرتوزا می باشد هر کوری عبارتست از $3.7 \times 10^{10}$ واپاشی در ثانیه .
Dose Equivalent	دز معادل
Dose Equivalent Rate	تندی دز معادل
Decay Curve	منحنی نزول پرتوزائی
Defect Detection Sensitivity	حساسیت آشکارسازی عیوب
Densitometer	دانسیته سنج

Development	عمل ظهور فیلم
Dosimeter	دزسنج ( اندازه گیر دز )
Dose Rate Meter	اندازه گیر حد دز
Duplex-Wire Image Quality Indicator	شاخص کیفیت جفت سیمی
Effective Dose Equivalent	دز معادل مؤثر
Effective Focal Size	اندازه مؤثر دریچه تابش
Electromagnetic Radition	پرتوهای الکترومغناطیسی
Energy Imparted	انرژی داده شده
Exposure	پرتو دهی
Exposure Chart	نمودار زمان تابش
Exposure Rate	تندی پرتو دهی
Film Base	ورقه شفاف فیلم که دو طرف آن شیرایه زده می شود.
Film Contrast	تباين فیلم ( کیفیت فیلم خام )
Film Processing	عملیات ظهور و ثبوت فیلم
Film Speed	سرعت فیلم
Film Unsharpness	عدم وضوح ( به علت نوع فیلم )
Film Viewing Screen	دستگاه فیلم خوانی ( چراغ )
Filter	صافی پیش گیرنده طول موج های بزرگ
Fixing	مرحله ثبوت فیلم
Film Sensitivity	درجه حساسیت آشکار سازی عیوب توسط یک فیلم
Flourescent Screen	صفحات تشدید کننده نمکی ( فلورسنت )
Flourography	تصویر برداری با نمای فلورسنسی
Flourometallic Screen	صفحات تشدید کننده فلورومتالیک ( سربی و نمکی )
Fluoroscopy	پرتونگاری بدون فیلم :
در این روش که معمولاً با اشعه ایکس انجام می شود، در حالیکه قطعه تحت تابش پرتوی ایکس قرار گرفته ، تصویر پرتونگاره ( بدون فیلم ) از روی مونیتور تفسیر می گردد .	
محل استقرار مفسر کاملاً محفوظ است و مشاهده تصویر پرتونگاره از طریق شیشه سیلیکات سرب و به روش انعکاس از آئینه انجام می گیرد .	

Focus Size	اندازه دریچه تابش
Focus To Film Distance	فاصله منبع تابش تا فیلم ( F.F.D )
Fog	مه آلودگی و کدوری سطح فیلم
Gamma Radiography	پرتونگاری با پرتوی گاما
Gamma Rays	پرتوهای گاما
Gamma Ray Source Container	محفظه چشمه و کپسول گاما ( دوربین گاما )
Geiger-Muller Counter	نوعی پرتو سنج با اطاقک یونیزاسیون می باشد .
Gradient	ضریب زاویه ( شیب )
Graininess	عدم شفافیت تصویر ( رگه دار شدن سطح فیلم )
Granularity	مات بودن تصویر ( دانه ای شدن )
Gray ( Gy )	واحد جذب انرژی پرتوها در یک کیلوگرم ماده است . هر گری معادل یک ژول در کیلوگرم و یا ۱۰۰ راد می باشد.
Half Life	نیمه عمر
Half Value Thickness	لایه نیم ساز ( حفاظی که شدت پرتو را نصف می کند )
Hardener	ماده شیمیائی سخت کننده ماده ثبوت
Image Contrast	تباين تصویر
Image Definition	وضوح تصویر ( شفافیت مرز عیوب )
Image Enhancement	فرآیندی برای افزایش کیفیت تصویر
Image Magnification	بزرگنمایی تصویر
Image Quality Indicator	شاخص کیفیت تصویر
Image Quality	کیفیت تصویر
Industrial Radiography	پرتونگاری صنعتی
Inherent Filtration	صافی ذاتی ( فیلتر نمودن پرتوها توسط خود مولد )
Inherent Unsharpness	عدم وضوح تصویر ذاتی ( به علت کیفیت فیلم )
Intensifying Factor	فاکتور تشدید پرتوها
Intensifying Screens	صفحات تشدید کننده پرتوها
Ionization Chamber	اطاقک یون ساز



Kerma	کرما واحد انرژی جنبشی آزاد شده ذرات باردار در یک ماده است.
Latent Image	تصویر پنهانی
Linear Electron Accelerator ( L.I.N.A.C )	مولدی که در آن ؛ الکترون ها با شتاب بسیار زیاد و بصورت فرکانس رادیویی تولید گردد .
Linearity Energy Transfer	انتقال انرژی خطی ( از طریق یونیزاسیون )
Localizing Cone	دریچه مخروطی کنترل و تنظیم خروجی طیف پرتوها
Long Anode Tube ( Rod Anode Tube )	مولد اشعه ایکس با آند میله ای
Luminance	شدت روشنایی. در واحد نور شمع در یک متر مربع حداقل شدت نور ۱۰ شمع در یک مترمربع برای چراخ فیلم خوانی مناسب می باشد.
Masking	ماده محصور کننده ناحیه تحت تابش
Metal Intensifying Screen	صفحات تشدید کننده فلزی ( معمولاً سرب )
Microfocus Radiography	پرتونگاری با دریچه بسیار کوچک : پرتونگاری با مولدهائی که دریچه تابش بسیار کوچکی برای بزرگنمایی تصویر دارند .
Moving Beam Radiography	هدایت پرتوها ( Collimated ) : روشی که قطعات بوسیله هدایت کننده طیف پرتوها تحت تابش قرار می گیرند .
Neutron Radiography	پرتونگاری نوترونی
Non- Screen Film	فیلم بدون پوشش فلورسنتی
Object-To-Film Distance	فاصله قطعه تا فیلم
Over Development	ظهور بیش از حد فیلم به دلایلی مانند : افزایش زمان توقف در ظرف ظاهر ساز و یا درجه حرارت زیاد محلول .
Pair Production	اثر جفت یون سازی
Panoramic Exposure	تابش همه جانبه ( پانورامیک )
Penetrameter	نفوذ سنج پرتوها ( شاخص کیفیت )
Penumbra	نیم سایه حاشیه تصویر ( عدم وضوح )
Photoelectric Absorption	جذب فتوالکتریک
Photographic Emulsion	شیرایه حاوی کریستال های نقره ( روی سطح فیلم )
Photographic Transmission Density	لگاریتم شدت نور عبور کرده از فیلم

Protective Material	مواد قابل استفاده برای حفاظت در برابر پرتوها
Projection Radiography	بزرگنمایی تصویر :
	پرتونگاری به شیوه بزرگنمایی تصویر اولیه با استفاده از منبع تابش بسیار کوچک .
Proton Radiography	ثبت تصویر در نتیجه جذب و پراکندگی پروتون ها
Quality ( Radition )	توانائی نفوذ پرتوها
Rad	واحد دز جذبی معادل ۱۰۰ ارگ در گرم
Radiation Energy	انرژی پرتو
Radioactivity	پرتوزائی
Radioisotop	ایزوتوپ های ناپایدار
Radioisotop Container	محفظه نگهداری رادیو ایزوتوپ
Radiograph	تصویر پرتونگاره
Radiographic Contrast	تباين پرتونگاری ( مقایسه درجه سیاهی عیب و زمینه فیلم )
Radiographic Exposure	تابش پرتو روی فیلم
Radiography	پرتونگاری
Radiology	علم کاربرد پرتوها
Radiometer	وسیله اندازه گیری پرتوها
Rayleigh Scattering	پراکندگی ری لای
Reciprocity Law	قانون مربع معکوس فاصله ها
Rem ( Rontgen Equivalent Man )	تندی دز معادل پرتوگیری :
	تندی دز معادل در یکای قدیم است . یکای جدید تندی دز معادل سیورت می باشد .
Replenisher	ماده تقویت ( جبران کننده )
Resolustion	تفکیک سازی عیوب در تصویر
Rod Anod Tube	مولد اشعه ایکس با آند میله ای
Roentgen	واحد پرتودهی می باشد و عباتست از مقدار پرتوی که :
	بتواند در یک سانتی متر مکعب هوا، یک واحد الکترواستاتیک یون ایجاد نماید .
Scattering	پراکندگی پرتوها
Screens	صفحات تشدید کننده
Source Data Lable	مشخصات فنی چشمه ( برچسب دوربین )

Source Size	اندازه چشمه
Source To Film Distance	فاصله چشمه تا فیلم
Specific Activity	پرتو زائی ویژه چشمه
Step Wedge	شاخص های پله ای
Stop Bath	حمام توقف بعد از مرحله ظهور
Subject Contrast	تباين موضوع ( تباين شكل هندسي قطعه )
Target	هدف ( آند در مولد ایکس )
Television Fluoroscopy	پرتونگاری و تفسیر مستقیم و همزمان با تابش
Tenth – Value Thickness	لایه های محافظ :
	با عنوان یک دهم ضخامت است که شدت پرتوها را تا ۱۰ برابر کاهش می دهد.
Thermoluminescent Dosimetry ( TLD )	دزیمتر حرارتی :
	برای آشکارسازی و اندازه گیری پرتوهای بتا، گاما و نوترون .
Thickness Sensitivity	کمترین ضخامتی که قابل آشکارسازی باشد .
Tube Current	شدت جریان مولد ( میلی آمپر )
Tube Diaphragm	دریچه قابل نصب برای کنترل زاویه و جهت تابش
Tube Shield	جداره اصلی مولد اشعه ایکس که مانع نشت پرتو به اطراف می گردد .
Tube Shutter	دریچه مخصوص باز و بست سری
Tube Window	دریچه خروجی دوربین اشعه ایکس :
	دریچه اصلی خروجی مولد که معمولاً از جنس برلیوم و شفاف می باشد .
Under Development	ظهور ناقص ( ظاهر نمودن ناقص فیلم )
Unsharpness	عدم وضوح هندسی
Useful Density Range	میانگین دانسیته مورد نظر
Van De Graaff Generator	نوعی مولد اشعه ایکس می باشد :
	در این مولدها ، ولتاژ کم از طریق مدارهای الکترونیکی به ولتاژ بسیار زیاد با جریان مستقیم تبدیل می گردد ( ۰/۵ تا ۵ مگا الکترون ولت ) .
X-Radiation	پرتوهای ایکس
X-Ray Paper	کاغذ آغشته به شیرابه برای نوع خاصی از پرتونگاری .

## بخش اول

### معرفی روش

همانطور که از عنوان آزمایش مواد نافذ مشخص است در این روش، مبنای کار، نفوذ ماده ای نافذ با دانه بندی بسیار ریز به درون درزها و ترکها می باشد. چنین موادی قادرند در ریزترین درزها و ترکهای موئی که عرض و یا پهناي دهانه ( Opening ) آنها فقط به چند صدم میلی متر می رسد، رخنه کرده و فضای آنرا اشغال نمایند .

روش آزمایش نفوذی اولین بار در اوایل سال ۱۹۴۰ با عنوان Whiting test در بازرسی خطوط راه آهن بکار گرفته شد. در این روش از ماده نفت سفید بعنوان ماده نافذ و از پودر گچ سفید ( کربنات کلسیم ) بعنوان ظاهر ساز استفاده می گردید.

اگرچه پیشرفت های زیادی در زمینه تکنولوژی تولید مواد نفوذی دیده می شود اما کماکان استفاده از نفت سفید و پودر گچ سفید برای بازرسی قطعات غیر حساس مانند خطوط راه آهن و آشکارسازی ترک های درشتتر از ۰/۰۵ میلی متر ( عرض دهانه ترک ) روش قابل قبولی محسوب می شود .

روش کار بسیار ساده است . پس از ریختن نفت سفید روی مسافتی از خط آهن، مدت زمانی بین ۱۰ تا ۱۵ دقیقه فرصت داده می شود تا ماده نفتی در درزها نفوذ کند. بعد از سپری شدن زمان نفوذ، با پارچه تنظیف مواد نفتی برداشته شده و سطح خشک می گردد.

در این مرحله ماده نفتی فضای درزها و ترکها را اشغال نموده است . با پاشیدن پودر کربنات کلسیم، نفت جذب پودر سفید شده و اثر آن قابل رؤیت خواهد بود.

روش آزمایش با سیال نافذ با اصطلاحات زیر شناخته می شود :

Liquid Penetrant Testing  
Dye Penetrant Testing  
Dye Check

تعاریف مهم :

۱- ماده نافذ ( Penetrant Media )

در روش آزمایش نفوذی، به ماده نافذی گفته می شود که با دانه بندی بسیار ریز قادر به رخنه در منفذها و درزها باشد .

۲- زمان نفوذ ( Dwell Time )

مدت زمان کافی برای رخنه ماده نافذ به درون منفذها و درزها را زمان نفوذ می گویند.

۳- زداییدن ( Removing )

به عملیات برداشتن و پاک نمودن ماده نافذ از سطح کار پس از مرحله نفوذ گفته می شود.

۴- ماده ظاهر ساز ( Developer Media )

به ماده پودری و یا سیال سفید رنگی گفته می شود که خاصیت جذب رطوبت داشته و قادر است ماده نافذ را از لای منفذها خارج و آشکار نماید .

اساس کلی آزمایش :

- ۱- سطح قطعه مورد آزمایش بوسیله ماده نفوذپذیر آغشته می شود .
- ۲- ماده به درون منفذ رفته و فضای آنرا اشغال می کند.
- ۳- پس از برداشتن کامل ماده نافذ از سطح قطعه، در حالیکه بخشی از ماده در درون منفذ مخفی شده ، سطح کار به حالت اولیه دیده خواهد شد .
- ۴- با آغشته نمودن سطح کار با ماده آشکار ساز، ماده نافذ تحت اثر ماده ظاهر ساز از منفذ خارج شده و در سطح نمایان می گردد .
- ۵- در نهایت نقاط اختفای ماده نافذ ( عیوب ) به شکل علائمی در زمینه ظاهر ساز آشکار شده و تفسیر می گردند .

مزیت های روش نفوذی

۱- برای آشکارسازی انواع عیوب سطحی که دهانه آنها به سمت سطح باز بوده و قابل نفوذ پذیری باشند قابل استفاده است .

**توضیح :** اصولاً عیوب مضره مانند ترک های خستگی ( Fatigue Cracks ) و ترک های ناشی از خوردگی ( Stress Corrosion Cracking )، در ابتدا از سطح شروع می شوند.

- ۲ - یرو انواع فلزات فرو مغناطیس و غیرفرومغناطیس و همچنین جامدات غیرفلزی نظیر سرامیک، شیشه و قطعات پلاستیکی کاربرد دارد .
- ۳ - بدلیل نمایان شدن عیب در سطح قطعه مورد آزمایش، تفسیر نتایج آسان است .
- ۴ - در مقایسه با سایر آزمایشهای غیرمخرب، هزینه آزمایش بسیار کمتر می باشد .
- ۵ - شکل هندسی قطعات تأثیری در تفسیر نخواهد داشت .
- توضیح :** در آزمایشهای آلتراسونیک، پرتونگاری و خصوصاً جریان گردابی، شکل هندسی قطعه مورد آزمایش همواره مشکل ساز می باشد .
- ۶ - با انتخاب تکنیک درست، روش نفوذی در هر موقعیت جغرافیائی قابل اجرا است .

#### محدودیت های روش نفوذی :

- ۱ - فقط عیوبی قابل آشکار خواهند بود که منفذی برای رخنه ماده نافذ داشته باشند. به همین دلیل مواد زائدی مانند روغن، گریس و هر نوع آلودگی نیز می توانند مانع آزمایش گردند و قطعات رنگ آمیزی شده قابل آزمایش نخواهند بود .
- ۲ - آزمایش روی قطعاتی مانند چدن و سیمان که خلل و فرج سطحی گسترده ای دارند قابل انجام نمی باشد .
- ۳ - آزمایش سطوح قطعاتی که با عملیات سنگ زنی، ماشین کاری ( با قلم ) ، ساینده های گرم و چکش کاری صاف شده باشند قابل اجرا نمی باشد . چنین عملیاتی موجب مسدود شدن منافذها می گردد .
- ۴ - سطوح سردتر از نقطه انجماد مواد آزمایش و همچنین قطعات گرمتر از ۵۰ درجه سانتی گراد با این روش قابل آزمایش نمی باشند .

#### انواع روش های آزمایش

طبق استاندارد ASTM-E۱۶۵ آزمایش با مواد نافذ به دو کلاس زیر تقسیم می شود :

- الف - مواد نافذ رنگی Visible Liquid Penetrant
- ب - مواد نافذ فلورسنتی Fluorescent Liquid Penetrant

اصطلاح Visible در آزمایش نفوذی به ماده نافذی گفته می شود که در شرایط نور روشن شکل عیب به رنگ ماده نافذ دیده شود. در نوع فلورسنتی رنگ ماده نافذ فقط در تاریکی و بکمک نور ماوراء بنفش قابل رؤیت خواهد بود .

در هر دو روش فوق، مواد نافذ در سه حالت زیر مورد استفاده قرار می گیرند :

۱ - ماده نافذ قابل شستشو با آب Water Washable Penetrant

۲ - ماده نافذ قابل استفاده با امولسیون ( معلق ساز ) Post-Emulsifiable Penetrant

۳ - ماده نافذ با حلال مخصوص Solvent- Removable Penetrant

البته ماده نافذ دیگری از نوع Post-Emulsifiable-Hydrophlic نیز در موارد نادری استفاده می گردد اما کاربرد بسیار محدودی دارد .

### مراحل آزمایش ( مواد نفوذی رنگی )

بمنظور شناخت روش های آزمایش با مواد نفوذی، مراحل آزمایش با مواد نافذ رنگی که بطور عادی در اغلب صنایع متداول است، بعنوان روش پایه شرح داده می شود .

#### شرح مراحل آزمایش :

##### ۱ - تمیزکاری ( Cleaning )

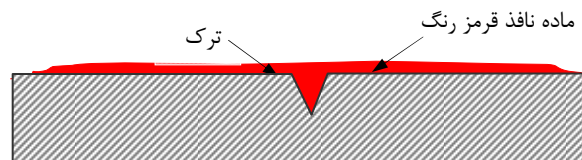
بطوریکه قبلاً اشاره شد، وجود آلودگی در سطح قطعه مورد آزمایش مانع رخنه ماده نافذ به درون ترکها خواهد شد از اینرو قبل از آزمایش، بایستی بکمک مواد حلال و تمیز کننده ، آثار مواد روغنی، زنگ زدگی و هرنوع آلودگی از روی سطح قطعه برداشته شود .

##### ۲ - پاشیدن ماده نافذ ( Applying Penetrant )

پس از تمیز نمودن و خشک شدن سطح کار، ماده نافذ به حالت آغشته نمودن روی سطح پاشیده می شود ( شکل ۱-۱ ) .

##### ۳ - زمان توقف ( Dwell Time )

در این مرحله، مدت زمانی بین ۵ تا ۶۰ دقیقه ( متناسب با درجه حساسیت آزمایش ) فرصت داده می شود، تا ماده نافذ بتواند به درون ترکهای موئی رخنه نماید .



شکل ۱-۱، تصویر مقطعی و بزرگنمایی شده ترک

#### ۴ - پاک نمودن ماده نافذ ( Penetrant Removing )

پس از سپری شدن زمان نفوذ ( Dwell Time )، سطح قطعه تا برطرف شدن آثار ماده نافذ و نمایان شدن سطح کار، تمیز می گردد ( شکل ۱-۲ ) .

در این مرحله نباید هیچگونه اثری از قرمزی روی سطح دیده شود و طبعاً قرمزی درون ترکها نیز ( به علت موئی بودن ) قابل رؤیت نخواهند بود. روش و نوع ماده تمیز کننده به نوع ماده نافذ بستگی دارد که در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد .

**توضیح :** چنانچه ماده نافذ از نوع غیرقابل شستشو با آب باشد، یک مرحله دیگر بمنظور معلق نمودن و یا حل شدن ماده آن بعد از این مرحله ضرورت خواهد داشت .

#### ۵ - خشک شدن سطح ( Drying )

اگر چه خشک نمودن سطح قبل از پاشیدن ماده نفوذی ( مرحله ۲ ) هم می بایست بدقت انجام گیرد، اما خشک نمودن سطح قبل از پاشیدن ماده ظاهر ساز اهمیت بیشتری دارد بطوریکه وجود رطوبت ممکن است سبب رقت ماده نافذ و پراکندگی آن گردد .



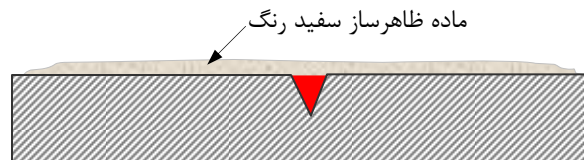
شکل ۱-۲، پس از برداشتن ماده نافذ

#### ۶ - پاشیدن ظاهر ساز ( Applying Developer )

پس از برداشتن ماده نافذ و خشک نمودن سطح کار، ماده ظاهر ساز روی سطح قطعه پاشیده می شود. در این حالت ماده ظاهر ساز مانند خشک کن مرکب، رطوبت درون ترک را بخود جذب نموده و محل اختفای ماده نافذ ( ترک ) نمایان خواهد شد ( شکل ۱-۳ ) .



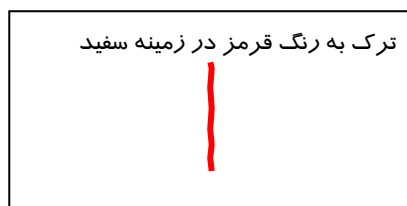
**توضیح :** ماده ظاهر ساز به دو حالت پودری ( Dry Powder Developer ) و یا معلق در سیال ( Wet Developer ) وجود دارند که نحوه کاربرد آنها متفاوت می باشد .



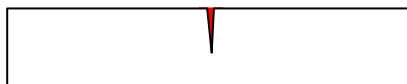
شکل ۱-۳

#### ۷ - تفسیر علائم

پس از مدت زمان کوتاهی بتدریج ماده درون ترک جذب ماده ظاهر ساز شده و تصویر ترک به رنگ قرمز روی قطعه دیده خواهد شد .



شکل ۱-۴- الف، نمای بالای قطعه



شکل ۱-۴- ب، نمای برشی قطعه

در شکل ۱-۴، نمای مقطعی و نمای بالای قطعه آزمایش شده مشاهده می گردد . اصولاً نمای ظاهر شده عیب به شکل واقعی آن نمایان می شود، اما بدلیل گسترش ماده نفوذی، معمولاً اندازه نمایان شده کمی بیشتر از اندازه واقعی خواهد بود .

#### ۸ - پاک سازی نهائی ( Final Cleaning )

پس از رؤیت سطح قطعه و نتیجه گیری از علائم شکل گرفته، بایستی کلیه مواد روی قطعه تا حد مطلوب تمیز گردد . باقیماندن آثار مواد نفوذی نوعی آلودگی مضر و آسیب گذار محسوب می گردد :

### مراحل آزمایش ( با ماده نافذ فلورسنسی )

مراحل آزمایش با مواد نافذ فلورسنسی نیز شامل ۸ مرحله فوق می باشد که در دو مرحله زیر با هم تفاوت دارند :

در مرحله ۲ بجای ماده نافذ قرمز رنگ از ماده نافذی، با خاصیت فلورسنسی به رنگ زرد متمایل به بنفش استفاده می شود .

در مرحله ۷ مشاهده سطح کار بوسیله نور ماوراء بنفش انجام می گیرد و شکل عیب بجای رنگ قرمز به رنگ بنفش دیده خواهد شد .

بطور کلی آزمایش با مواد نفوذی رنگی در روشنائی نور سفیدروز ( Day-Light ) و آزمایش با ماده نافذ فلورسنسی در تاریکی ( Darkness ) انجام می گیرد . امواج ماوراء بنفش در شرایط نور سفید روز ( تابش مستقیم و یا غیرمستقیم نور آفتاب ) قابل رؤیت نخواهند بود .

### روش های غوطه وری (Immersion Techniques)

همانطور که در مزیت های روش نفوذی شرح داده شد آزمایش با مواد نفوذی روی انواع قطعات و در هر موقعیتی قابل اجرا می باشد اما مشکل کثیفی و آلودگی محیط کار در این نوع آزمایش ها اجتناب ناپذیر است . هرچه حجم آزمایش ها و تعداد قطعات بیشتر گردد آلودگی و صرف هزینه های جانبی افزونتر خواهد شد .

با این توضیح، برای انجام چنین آزمایش هائی در حجم زیاد و خصوصاً در کارگاه ها و کارخانه های تولیدی از روشهای غوطه وری استفاده می گردد تا ضمن کنترل آلودگی محیط کار و صرفه جوئی در هزینه ها ، اجرای آزمایش نیز آسانتر گردد .

در روش غوطه وری چند حوضچه مجزا برای هر ماده تهیه می گردد و قطعات پس از طی مدار پیوسته زیر مورد آزمایش قرار می گیرند .

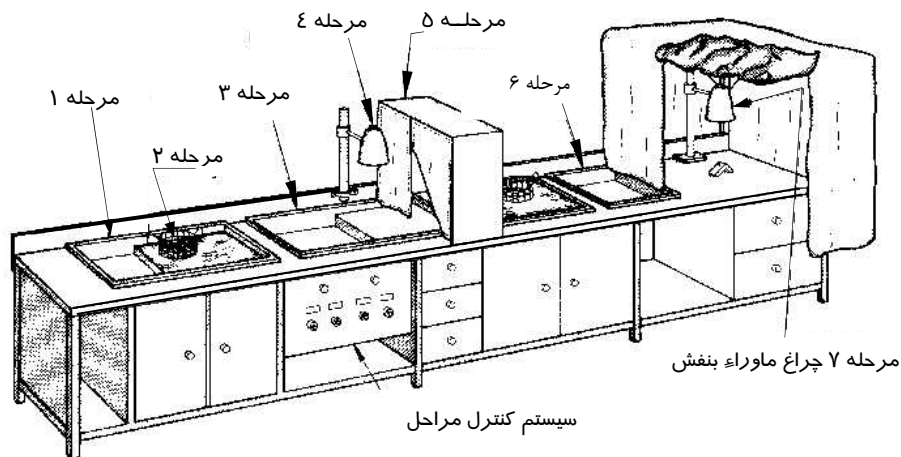
### آماده سازی سطوح قطعات :

بدلیل اهمیت پاکسازی قطعات از مواد زائد و آلودگی های سطحی، قطعات قبل از ورود به مراحل مدار پیوسته، در مکان جداگانه ای تمیز می گردد . تمیز نمودن، پاکسازی و خشک نمودن قطعات طی فرایند های متفاوتی انجام می گیرد که جزئیات آن در بخش دوم شرح داده خواهد شد .

## مدار پیوسته آزمایش ( شکل ۵-۱ )

## ۱- حوضچه ماده نافذ

حوضچه ماده نافذ معمولاً حاوی ماده فلورسنسی قابل شستشوی با آب می باشد اما از سیال نافذ قابل امولسیون و مواد نافذ قرمز رنگ نیز می توان استفاده نمود . هر قطعه پس از غوطه ور شدن در ظرف ماده نافذ و سپری شدن زمان نفوذ ( Dwell Time ) از حوضچه خارج می گردد . معمولاً جابجائی قطعات کوچک با دست و قطعات سنگین بوسیله کرن سقفی و یا دستگاه خودکار ( Robot ) انجام می گیرد .



شکل ۵-۱

## ۲- مرحله بازیافت ( Draining Stage )

قطعات پس از خروج از حوضچه، آغشته به ماده نافذ می گردد، برای بازیافت ماده نافذ اضافی، قطعات در موقعیت مازادگیری قرار می گیرند .

## ۳- مرحله شستشوی قطعات ( Remover Stage )

در این مرحله قطعات با روش غوطه وری و یا بوسیله فشار آب شسته می شوند

## ۴- مرحله بازرسی اولیه ( Ultraviolet Light Inspection )

در این مرحله قطعات در اطاق تاریک به کمک نور ماوراء بنفش بدقت بازرسی می گردند تا از پاک شدن کامل ماده نافذ از روی سطح کار اطمینان حاصل شود .

**۵ - خشک نمودن (Drying Stage)**

پس از بازرسی اولیه و اطمینان از پاک شدن ماده نافذ، قطعات وارد اتاقک خشک کن مخصوصی می شوند. در این مرحله کنترل درجه حرارت بسیار اهمیت دارد. حرارت زیاد ممکن است سبب خشک شدن ماده نافذ و یا تبخیر آن گردد.

**۶ - مرحله ظاهرسازی (Developing Stage)**

در مرحله ظاهرسازی از دو روش غوطه ور در ظرف پودر خشک و یا غوطه وری در سیال آبی (پایه آب) استفاده می گردد اما روش سیال متداول تر است.

**توضیح ۱:** پس از اتمام زمان ظاهرسازی، برای زدودن ماده اضافی ظاهرساز، از جریان باد نیمه گرم و یا جریان تند آب استفاده می گردد.

**توضیح ۲:** در صورت استفاده از ماده ظاهر ساز با پایه نفتی (Oil Base)، عمل غوطه وری مجاز نبوده و فقط از روش اسپری استفاده می گردد.

**۷ - مرحله بازرسی و تفسیر (Viewing Stage)****۷-۱- روش فلورسنسی**

قطعاتی که در ماده فلورسنسی آزمایش شده اند پس از غوطه ور شدن در ماده ظاهرساز مانند شکل ۵-۱ در یک اتاق مخصوص و مجهز به چراغ مولد نور ماوراء بنفش مورد بازرسی و تفسیر قرار می گیرند.

**۷-۲- روش رنگ قرمز**

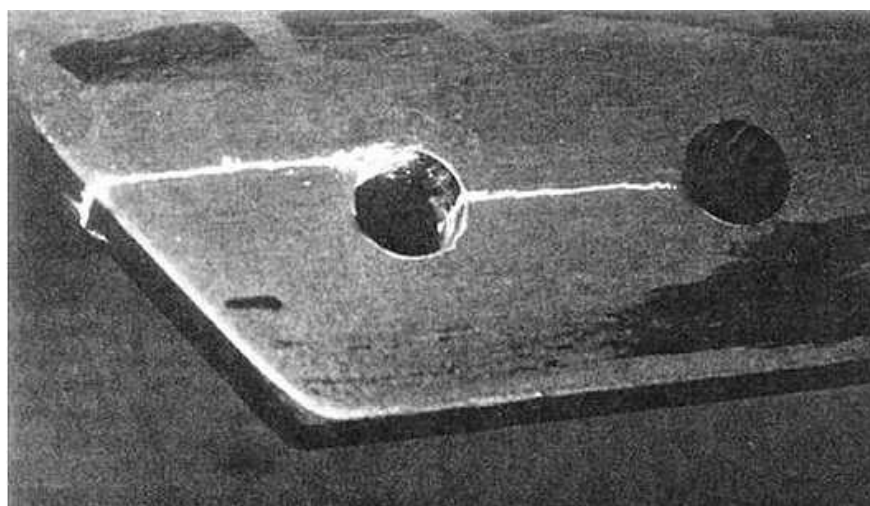
قطعاتی که با ماده نافذ رنگی آزمایش شده اند، در یک اتاقک کاملاً روشن و در نور سفید مورد بازرسی و تفسیر قرار خواهند گرفت.

**تفسیر علائم**

تفسیر علائم ظاهر شده به چند عامل شامل جنس قطعات، نوع عملیات تولید (ریختگی، نورد، چکش خوار و...) و فرآیند آزمایش بستگی دارد اما دانش مفسر و استفاده از الگوهای تصویر عیوب مانند الگوهای استاندارد ASTM E ۴۳۳، می تواند در شناخت و تفسیر عیوب کمک نماید. در شکل ۶-۱ دونمونه از الگوهای این استاندارد مشاهده می گردد.



شکل ۱-۶-الف



شکل ۱-۶-ب

در شکل ۱-۶-الف و ب ، دو نمونه ترک مشاهده می گردد که برای آشکارسازی از ماده نافذ فلورسنسی استفاده شده و ترکها در شرایط نور تاریک و با نور ماوراء بنفش به رنگ بنفش نمایان شده اند .

انتخاب روش آزمایش

انتخاب نوع و جنس مواد نافذ، فرآیند زداییدن مواد نافذ، نوع ماده ظاهر ساز، روش رؤیت عیوب و روش تفسیر تابع عواملی است که در نکات زیر خلاصه می گردند :

- ۱ - درجه حساسیت آزمایش
  - ۲ - حجم آزمایش و تعداد قطعات
  - ۳ - شرایط سطح قطعات مورد آزمایش
  - ۴ - شکل هندسی قطعات
  - ۵ - قابلیت دسترسی به امکاناتی نظیر برق و آب
  - ۶ - نوع عیوب ( مورد جستجو )
- ( مثلاً ترکهای ریز ناشی از خوردگی و یا ترک های طولی پاس ریشه جوش ) .

عوامل تأثیر گذار

اصولاً اجرای هر تکنیک آزمایش نفوذی به عوامل تأثیر گذاری بستگی دارد که اساس و پایه آزمایش را تشکیل می دهند . در این بخش عوامل تأثیر گذار شامل نوع ماده نافذ، روش پاکسازی ، نوع ماده ظاهر ساز و نوع روشنائی شرح داده می شوند.

خواص مورد نیاز برای ماده نافذ :

- ۱ - از خاصیت ویسکوزیته کم و موئینگی زیادی برخوردار باشد .
- ۲ - نسبت به ماده ظاهر ساز خاصیت جذب داشته باشد .
- ۳ - خواص شیمیائی آن در درجه حرارت های متفاوت محیط ثابت بماند .
- ۴ - در درجه حرارت کمتر از ۶۰ درجه تبخیر نشود .
- ۵ - قابل اشتعال و سمی نباشد ( نقطه اشتعال باید کمتر از ۹۵ درجه سانتی گراد باشد ) .
- ۶ - زمان خشک شدن و انجماد طولانی ( بیش از ۳۰ دقیقه ) داشته باشد .

- ۷- در زمان زدایش ماده نافذ باسانی از منفذها خارج نگردد ( رقیق نشود ).
- ۸- در تماس با سطح قطعات مورد آزمایش، مخلوط شدن با ماده ظاهر ساز و مواد تمیز کننده واکنش شیمیایی نشان ندهد .
- ۹- در زمان نگهداری در انبار خواص خود را حفظ کند، تغییر رنگ ندهد و شفاف بماند.

### نوع بسته بندی مواد

بطور کلی مواد نفوذی، ظاهر ساز و تمیز کننده ها به دو حالت قوطی های تحت فشار و قابل اسپری و یا در ظروف یک تا ۲۰ لیتری بصورت فله عرضه می شوند.

در نوع قابل اسپری ، مجموعه قوطی های اسپری شامل ماده نافذ، ظاهر ساز و اسپری تمیز کننده بصورت یک واحد بسته بندی ( Set ) ارائه می گردد. روی هر قوطی مشخصات اولیه همراه با روش استفاده از آنها نوشته شده است . هرست از اسپری های آزمایش نفوذی در قوطی های ۳۵۰ تا ۵۰۰ میلی لیتری بصورت تجارتي با قیمت مناسب و براحتی قابل سفارش و تهیه می باشند.

شکل ۲-۱



در نوع فله، مواد طبق دستورالعمل سازنده با آب و یا مواد حلال در حجم زیاد مخلوط و تهیه می شود. بطور اصولی برای کاهش هزینه در کارهای پر حجم و خصوصاً در روش غوطه وری بهتر است از نوع فله استفاده گردد.

### انواع مواد نفوذی

طبق تعریفی که از انواع مواد در بخش یک داده شد، انواع مواد نافذ برای هر دو روش مواد نفوذی رنگی و فلورسنسی به سه دسته زیر تقسیم می شوند:

- ۱ - ماده نافذ قابل شستشو با آب Water Washable Penetrant
- ۲ - ماده نافذ قابل استفاده با امولسیون (معلق ساز) Post-Emulsifiable Penetrant
- ۳ - ماده نافذ با حلال مخصوص Solvent- Removable Penetrant

### تفاوت های عمده مواد نفوذی

#### الف - مواد نافذ قابل شستشو با آب ( Water Washable Penetrants )

##### **الف-۱ - ماده نافذ فلورسنسی**

درجه حساسیت آنها در مقابل عیوب ریز و عمیق بسیار خوب می باشد. برای عیوب کم عمق و بسیار سطحی مناسب نمی باشد و احتمال شستن عیب وجود دارد. هزینه آزمایش برای کارهای پر حجم و مشابه بسیار کم است اما برای کارهای متنوع و کوچک هزینه تر می باشد.

چون آزمایش در تاریکی انجام می گیرد لذا در اوقات روز به اطاق تاریک نیاز خواهد بود. آلودگی و کثیفی محیط کار با مواد فلورسنسی بسیار کمتر است.

##### **الف-۲ - مواد نفوذی رنگی**

هزینه آزمایش برای کارهای متنوع و کوچک بسیار کم است. در مقایسه با نوع فلورسنسی، مدت زمان آزمایش کوتاهتر خواهد بود. در مقابل عیوب کم عمق بسیار ضعیف عمل می کند. اما درجه حساسیت آن برای عیوب کوچکی که عمق زیادی دارند بسیار خوب است. به اطاق تاریک نیاز ندارد و در هر موقعیتی انجام می پذیرد.



**ب - مواد نافذ قابل امولسیون ( Emulsifiable Penetrants )****ب-۱- مواد نافذ فلورسنتی**

انواع منفذهای ریز و ترک های موئی ( Shallow Cracks ) را که عمق و عرض بسیار کمی دارند، می تواند آشکار نماید .

برای پاک نمودن ماده نافذ به ماده تعلیق ساز نیاز خواهد بود، به همین دلیل هزینه آزمایش افزایش می یابد .

با توجه به محدودیت زمان تعلیق سازی ماده نافذ، تمیز نمودن و شستن نقاطی مانند سوراخ های یکطرفه، دندانه پیچها و سطوح ناهموار بسیار مشکل ساز می باشد.

**ب-۲- مواد نافذ رنگی قابل امولسیون**

درجه حساسیت و آشکارسازی ماده نافذ رنگی امولسیون پذیر، نسبت به ماده فلورسنتی امولسیون پذیر بسیار بالاتر است .

استفاده از این نوع نافذ روی سطوحی با خواص کرومیت<sup>۱</sup> و آندیزه<sup>۲</sup> بدون اشکال می باشد.

**ج - مواد نفوذی با حلال ( Solvent Penetrants )****ج-۱- مواد فلورسنتی با حلال**

ماده نافذ با حلال، مخصوص نقاطی است که مصرف آب محدودیت داشته باشد .

برای آزمایش موضعی قطعات بزرگ و نقاط تعمیر شده بسیار مناسب است .

هزینه آزمایش نسبت به سایر مواد نافذ زیادتر و وقت گیرتر می باشد .

**ج-۲- مواد رنگی با حلال**

درجه حساسیت و آشکارسازی این ماده در مقایسه با سایر مواد بهترین بازدهی را دارد و عیوب بسیار ریز را نشان می دهد .

مناسبتترین ماده برای آزمایش موضعی قطعات با اشکال هندسی متنوع می باشد و برای نقاطی که محدودیت استفاده از آب باشد روش بسیار ایده آلی بشمار می آید .

قابل استفاده برای سطوحی با خواص آندیزه و قلیائی می باشد .

۱ - Chromate surface

۲ - Anodized surface

## برداشتن ماده نافذ ( Penetrant Removing )

علاوه بر تفاوت هائی که در انواع مواد نافذ دیده شد، نوع پاک نمودن ماده نافذ پس از اتمام مرحله نفوذ نیز از اساسی ترین متغیرها آزمایش به شمار می آید که به شرح هر کدام پرداخته می شود .

## الف - ماده نافذ رنگی ( قابل شستشو با آب ) Water Washable Penetrant

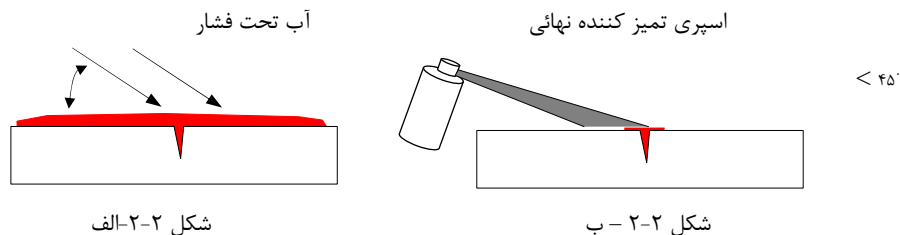
مراحل اجرای آزمایش با مواد نفوذی رنگی شامل ۸ مرحله در بخش یک شرح داده شد. اما مرحله سوم آزمایش که شامل برداشتن و پاک سازی ماده نفوذی می گردد به سه طریق زیر انجام می شود :

۱ - شستشو با آب تحت فشاری حدود PSI ۲۰ و زاویه ای کمتر از ۴۵ درجه بطوریکه آب به درون منفذها رخنه نکند ( شکل ۲-۲ ) .

۲ - استفاده از پارچه تنظیف مرطوب ( خیس شده )، همراه با خشک نمودن سریع .

۳ - تمیز نمودن نهائی بوسیله اسپری تمیزکننده ( Remover ) تحت زاویه ای با شیب کمتر از ۴۵ درجه ( شکل ۲-۲-ب ) و خشک نمودن سریع با پارچه تنظیف . این روش بعد از هر دو مرحله ۱ و ۲ نیز قابل اجرا می باشد.

اسپری نهائی می تواند به اختیار از انواع مواد تمیز کننده استفاده گردد . اصولاً تمیز نمودن با اسپری تینری برای چنین مرحله ای نتیجه بهتری می دهد ( ۲-۲-ب ) . در هر سه مرحله باید دقت نمود که ماده نافذ در درون ترک ها شسته نشود .

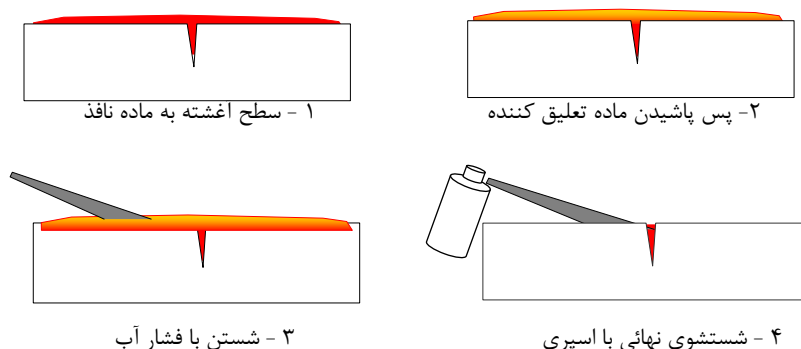


## ب - ماده نفوذی با ماده امولسیون ( Post Emulsifiable Penetrant )

این نوع ماده نافذ نیز مانند نوع اول به رنگ قرمز و در قوطی های اسپری و ظرف های آزاد ارائه می گردد اما به علت دارا بودن ماده شیمیائی هیدروفلیک و یا لیپوفلیک، قابل شستشو با آب نبوده و پس از اتمام زمان نفوذ ( Dwell Time ) برای برداشتن ماده نافذ، باید ماده معلق کننده نیز به ماده نافذ افزوده گردد.

## توضیح :

برداشتن ماده نافذ و مخلوط شده با امولسیون پس از مرحله نفوذ، در دو مرحله قابل اجرا خواهد بود. در مرحله اول بوسیله فشار آب با زاویه ای کمتر از ۴۵ درجه و در مرحله بعد استفاده از حلال ( Remover ) می باشد ( شکل ۲-۳ ). پس از هر مرحله شستشو، خشک نمودن فوری سطح الزامی است .



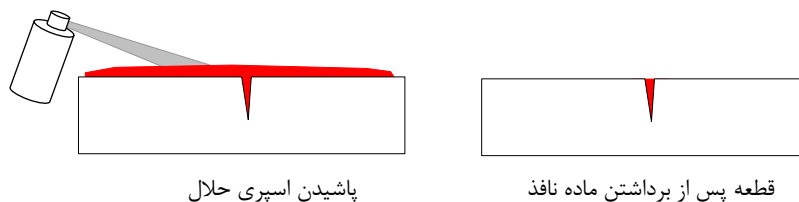
شکل ۲-۳

## نکات مهم :

- ۱ - مدت زمان توقف برای ماده امولسیون تعلیق سازی باید طبق دستورالعمل سازنده ماده نفوذی انجام گیرد. زمان طولانی سبب رقت ماده نافذ در لای ترکها می گردد .
- ۲ - در صورتیکه برای خشک نمودن سطح، از جریان باد گرم استفاده شود درجه حرارت در حدی انتخاب می گردد که مواد نفوذی درون ترک ها تبخیر و یا خشک نشود .

## ج - ماده نافذ با حلال (Solvent Removable Penetrant)

این نوع ماده نافذ حاوی ترکیبات نفتی غیر قابل حل در آب است و مرحله برداشتن آن پس از زمان نفوذ فقط بوسیله ماده حلال (تینر) در دو مرحله زیر انجام می‌گیرد. مرحله یک، با استفاده از اسپری حلال (مخصوص به همان ماده نافذ) مانند شکل ۲-۴ سطح کار تمیز شده و سپس بوسیله پارچه نظیف خشک می‌گردد. مرحله دو، بوسیله پارچه نظیف آغشته به ماده حلال در چندنوبت مکرر، ماده نافذ از سطح کار برداشته می‌شود. پارچه نظیف باید در تماس با ماده حلال رنگ پس ندهد و اثر نخ‌های پارچه روی سطح قطعه باقی نماند.



شکل ۲-۴

## د - مواد نفوذی فلورسنسی (Fluorescent Penetrants)

مواد نافذ فلورسنسی نیز مانند مواد نافذ رنگی در سه نوع قابل شستشوی با آب، قابل امولسیون و قابل پاک شدن با حلال مخصوص عرضه می‌شوند. برای برداشتن ماده نافذ پس از مرحله نفوذ، از روشهای مشابهی که برای سه نوع تعریف گردید استفاده می‌شود. اما آنچه در خصوص تمیز نمودن ماده نافذ فلورسنسی پس از اتمام زمان نفوذ متفاوت است غیرقابل رؤیت بودن ماده نافذ می‌باشد بطوریکه در شرایط نور عادی حالت سطح قبل و بعد از برداشتن بدون رنگ و یکسان دیده خواهد شد. لذا توصیه می‌گردد پس از مرحله برداشت و قبل از پاشیدن ماده ظاهر ساز، برای اطمینان از پاک شدن کامل ماده نافذ، سطح کار در زیر نور ماوراء بنفش بازرسی گردد. توضیح: در روشنائی روز و نور سفید، رنگ ماده نافذ فلورسنسی بیرنگ دیده می‌شود و تشخیص آثار پسماند آن غیر ممکن است.

مواد ظاهر ساز ( Developers )

## خواص لازم :

- ۱ - خاصیت جذب ماده نافذ را داشته باشد ( مانند خشک کن مرکب ) .
- ۲ - دانه بندی ریز و یکنواختی داشته باشد .
- ۳ - مانع پراکندگی ماده نافذ ( نشت ) به اطراف گردد و عیب را شفاف نشان دهد .
- ۴ - زمینه سفید و متضاد با ماده نافذ را حفظ کند.
- ۵ - با کمترین ضخامت ( پوشش )، عمل ظاهر سازی مناسب را انجام دهد .
- ۶ - باسانی مرطوب گردد بطوریکه با کمترین تماس با ماده نافذ اثر آنرا نشان دهد .
- ۷ - سمی و آلوده کننده محیط نباشد .
- ۸ - در زمان استفاده با ماده نافذ فلورسنتی، عامل محو و خفه شدن ماده نافذ نگردد .
- ۹ - باسانی قابل شستن و برطرف شدن باشد .

انواع ماده ظاهر ساز

## الف - ماده ظاهر ساز پودری ( Dry Developer )

این نوع ماده ظاهر ساز بوسیله پودر پاش مخصوص و در موارد نادری با انگشتان دست روی سطح کار پاشیده می شود. استفاده از ماده پودری باید بلافاصله پس از پاک سازی نهایی و قبل از خشک شدن ماده نافذ در درون درز ها انجام گیرد.

## دو نکته :

- اصولاً پودر ظاهر ساز بصورت فله عرضه می شود و از پودر پاش های مخصوصی که متناسب با دانه بندی پودر باشد استفاده می گردد .
- بمنظور پیش گیری از تجمع پودر در نقاطی از سطح قطعه و خصوصاً روی قطعات مرکب، جابجائی، تکان دادن و ضربه های آرام می تواند به یکنواخت شدن پودر کمک نماید.
- پودر ظاهر ساز همواره باید در مکانی خشک نگهداری شود . بدلیل اهمیت خشک بودن پودر ظاهر ساز، پودر رطوبت دیده باید دور ریخته شود .
- تکرار پاشیدن پودر در نقاطی از سطح که پودر کمتری دارد بشرط دقت و یکنواختی، مانعی در نتیجه گیری نخواهد داشت .

**ب - ماده ظاهر ساز سیالی / آبدار ( Aqueous Wet developer )**

این نوع مواد بصورت سیال و معلق در آب می باشند لذا قبل از پاشیدن آن باید سطح کار کاملاً خشک شده باشد. با توجه به خاصیت آبدار بودن، فاصله زمانی بین پاک سازی و ریختن ماده ظاهر ساز می تواند طولانی تر از حالت پودری باشد .

این نوع ظاهر ساز معمولاً به دو صورت قوطی اسپری و فله عرضه می شود. در نوع قوطی اسپری، تکان دادن قوطی قبل از استفاده بطور پیوسته الزامی است . عدم تکان دادن بموقع موجب خروج ظاهر ساز رقیق و سپس مسدود شدن دریچه خروج اسپری بوسیله ظاهر ساز غلیظ خواهد شد .

از نوع فله بیشتر برای روش غوطه وری استفاده می شود. پس از اتمام زمان نفوذ و عملیات زدایی، قطعه مورد آزمایش در حوضچه ای از ماده ظاهر ساز غوطه ور می گردد و سپس با جریان فشار آب شسته شده و خشک می شود .

روش ساخت مخلوط سیال فله باید طبق دستورالعمل سازنده انجام گیرد، اما کنترل معلق و خاصیت ثقلی بودن ذرات باید قبل از مصرف بررسی گردد .

**ج - ماده ظاهر ساز سیالی غیر آبی ( Non- Aqueous Wet Developer )**

این نوع ماده بصورت سیال در قوطی های پرفشار اسپری عرضه می شوند و نوع فله آن توسط آب پاش مخصوص و تحت فشار انجام می گیرد . این نوع ظاهر ساز فقط مخصوص مواد نافذ با حلال می باشند.

در زمان استفاده از این نوع مواد، فضای محیط آغشته به مواد گازی خواهد شد، لذا استفاده از آنها در مکان های بسته و بدون تهویه توصیه نمی شود .

بدلیل خواص حلالیت، این نوع ظاهر ساز برای روش غوطه وری قابل استفاده نخواهد بود و هیچگاه ماده ظاهر ساز غیر آبی بصورت حوضچه تهیه نمی شود .

در شکل ۵-۲ نمودار مدار آزمایش با انواع مواد نافذ فلورسنسی به روش غوطه وری مشاهده می گردد .



شکل ۵-۲ ، مراحل آزمایش با ماده نافذ فلورسنتی

## بخش سوم / آزمایش نفوذی

### بازرسی و تفسیر علائم

در روش آزمایش های نفوذی، بازرسی عینی در سه مرحله زیر انجام می گیرد :

الف - بازرسی اولیه      ب - بازرسی ثانویه      د- بازرسی نهائی

### الف - بازرسی اولیه

همانطور که قبلاً اشاره شد، شرط نفوذ ماده نافذ بدرون درزها و ترک ها، باز بودن دهانه آنها می باشد، لذا وجود ناهمواری، پراکندگی جوش، اثر ضربه ، آلودگی و هرنوع مواد زائد روی سطح می توانند مانعی در فرآیند نفوذ پذیری ماده نافذ گردند. لذا در اولین مرحله بازرسی، شرایط سطح و آماده سازی قطعات برای آزمایش برنامه ریزی می شود .

### روش های آماده سازی

برای برطرف نمودن و تمیزکردن سطوح قطعات از روش های متفاوتی استفاده می شود که با عنوان آماده سازی قطعات شرح داده می شوند .

### انواع روش های آماده سازی :

#### ۱- روش ساینده های مکانیکی ( Mechanical Methods )

- سایش و شستشوی با فشار آب      High Pressure Water
- سایش و شستشوی با فشار بخار      High Pressure Steam

#### ۲- روش آلتراسونیک ( Ultrasonic Cleaning Method )

در این روش قطعات در ظرف مخصوص که محتوی آب و نوعی حلال می باشد قرار گرفته و از طریق ارتعاش کف ظرف و انتقال امواج به قطعات، رسوبات و چسبندگی ها از سطح جدا می گردند . این روش مخصوص تمیز نمودن قطعات کوچک و متعدد می باشد.



**۳ - مواد شیمیائی ( Chemical Method )**

در این روش از مواد قلیائی و اسیدی برای بر طرف نمودن زنگ زدگی، مواد روغنی و آلودگی های سطحی استفاده می گردد .

**۴ - روش مواد حلال ( Solvent Method )**

در این روش بکمک مواد حلال، مواد آلوده و کثیفی روی سطح حل شده و قابل شستشوی با آب می گردند .

**روش های غیر مجاز :**

اعمال روش های زیر بمنظور آماده سازی سطوح، موجب مسدود شدن دهانه منفذهای کوچک، کم عمق و کم عرض می شوند و استفاده از این روش ها توصیه نمی گردد :

- |  |                   |
|--|-------------------|
| ۱ - پاشیدن دانه های کروی ( ذرات گلوله ای ) با فشار | Wet Blasting Shot |
| ۲ - پاشیدن دانه های نامنظم با فشار                 | Dry Blasting Grit |
| ۳ - سنگ زنی  | Grinding          |
| ۴ - برس برقی                                       | Wire Brushing     |
| ۵ - سمباده کشی                                     | Emery Paper       |
| ۶ - تراشیدن و فلز برداری با قلم                    | Scraping          |

**ب - بازرسی ثانویه ( Inspection Before Developing )**

این مرحله از بازرسی پس از شستشوی مواد نافذ انجام می گیرد . هدف از این بازرسی، اطمینان از برطرف شدن کامل ماده نافذ از سطح کار می باشد.

برای بازرسی از پاک شدن ماده نافذ رنگی از نور روشن و برای ماده نافذ فلورسنتی از نور ماوراء بنفش استفاده می شود . در نوع فلورسنتی چنین بازرسی کاملاً ضروری خواهد بود.

**ج - بازرسی نهائی و تفسیر**

هدف از بازرسی نهائی نتیجه گیری از مجموعه آزمایش و تفسیر علائمی است که پس از پاشیدن ماده ظاهرساز روی سطح کار نمایان می گردد . برای بازرسی و تفسیر عیوب نکات زیر مطرح می شوند :

**- نوع عیوب**

اصولاً با روش نفوذی، فقط عیوبی قابل تشخیص هستند که دهانه آنها در سطح کار باز شده باشد بنابراین استفاده از این روش برای ادواتی که تحت فشار هستند غیرممکن است، زیرا فشار داخلی ادوات مانع رخنه ماده نافذ به درون منفذ خواهد شد.

**- شرایط نور و روشنایی****۱ - مواد نافذ فلورسنسی**

اساساً مواد نافذ فلورسنسی حاوی موادی هستند که در مقابل تابش نور سفید واکنشی به رنگ مهتابی دارند به همین دلیل وقتی سطح کار با ماده ظاهر ساز پوشانده شود، اثر ماده فلورسنسی قابل رؤیت نخواهد بود و حتی اگر از نور ماوراء بنفش در فضای نور سفید به قطعه تابیده شود باز هم اثر ماده فلورسنسی نمایان نمی شود.

با این توضیح می بینیم که برای بازرسی قطعاتی که با روش فلورسنسی آزمایش می گردند، مشاهده اثرات آن فقط در تاریکی و در زیر نور ماوراء بنفش امکان پذیر است.

البته منظور از تاریکی، سیاهی مطلق نمی باشد بلکه ایجاد شرایطی است که بطور مطلق اثری از نور سفید ( پرتوهای مستقیم و غیرمستقیم نور آفتاب ) در محیط آزمایش نباشد.

**توضیح:** اصولاً طول موج پرتوهای ماوراء بنفش برای آزمایش مواد نفوذی بین ۳۰۰۰ تا ۴۲۰۰ آنگستروم است. طول موجهای کمتر از آن دارای شدت نفوذ بیشتر روی پوست انسان و در نتیجه موجب آفتاب سوختگی پوست می گردد.

نور ماوراء بنفش با طول موجهای کم روی بافت های چشم نیز اثر مخرب دارد و همواره باید از چراغ های مولد نور ماوراء بنفش با فیلترهای استاندارد که طول موجی بزرگتر از ۳۵۰۰ آنگستروم تولید کنند استفاده نمود.

در یک جمع بندی، قابل رؤیت بودن علائم ظاهر شده به چهار عامل زیر بستگی دارد:

۱ - مقدار ماده نفوذ کرده در منفذها

۲ - غلظت و کیفیت ماده فلورسنسی

۳ - شدت نور ماوراء بنفش

۴ - درجه سیاهی محیط آزمایش

## ۲ - مواد نافذ رنگی

بازرسی قطعاتی که با مواد نفوذی رنگی آزمایش می شوند، از نور سفید و حداکثر روشنایی استفاده می شود. در صورت آزمایش در شب، حداقل نور برای بازرسی باید  $500 \text{ Lux}$  باشد.

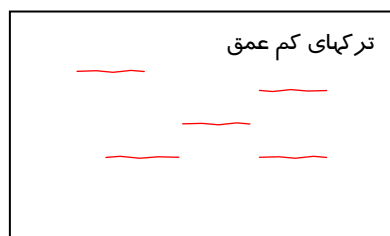
### توانائی دید مفسر

توانائی دید مفسر باید در حدی باشد که حروف استاندارد آزمایش دیدرا از فاصله ۳۰ سانتی متری بوضوح ببیند و تفاوت رنگها را در حد استاندارد از هم تمیز دهد.

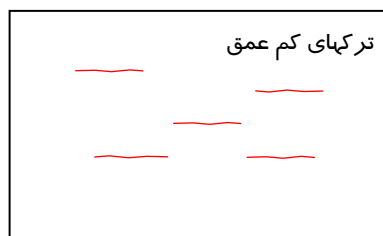
### تفسیر علائم

بدون در نظر گرفتن نقش مواد و با فرض انتخاب روش درست، علائمی که در سطح قطعه کار ظاهر می شوند دارای ویژگی های زیر می باشند:

۱ - خطوطی که بلافاصله و در مدت زمان کوتاهی در سطح نمایان گردند.  
چنین خطوطی نشان دهنده شیارها و ترکهای بسیار کم عمقی هستند که فضائی برای حفظ ماده نافذ نداشته و بطور سریع جذب ماده ظاهر ساز می گردند.  
ترک های ناشی از خوردگی تنشی ( Stress Corrosion Cracking )، قبل از گسترش کم عرض و کم عمق می باشند. البته این نوع ترکها در مرحله ابتدائی فقط با روش ذرات مغناطیسی قابل آشکارسازی هستند.



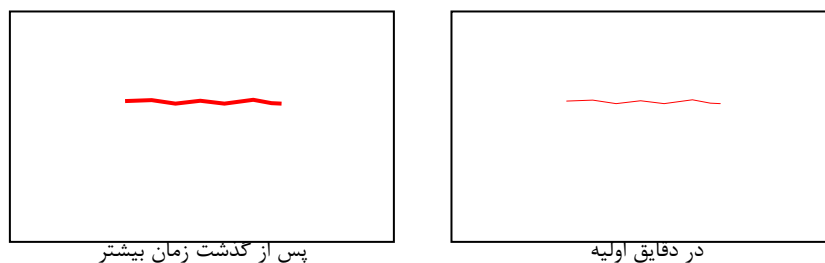
شکل ۱-۳ - الف در ثانیه های اولیه



شکل ۱-۳ - ب، پس از چند دقیقه

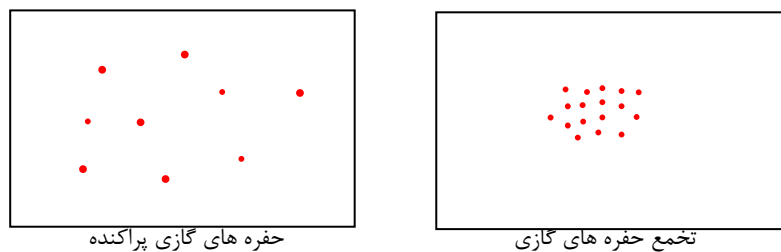
بطوریکه در شکل ۱-۳ مشاهده می شود بعلاوه جذب تمام ماده نفوذی در ثانیه های اولیه، تغییراتی در غلظت آنها در دقایق بعدی نیز روی نداده است.

۲ - خطوطی که بتدریج و با تأخیر در سطح کار ظاهر می شوند .  
چنین خطوطی نشان دهنده ترک های عمیقی هستند که ماده نافذ به درون آنها رسوب کرده است و تحت اثر ماده ظاهر ساز، به آرامی در سطح کار نمایان می شوند.  
هرچه مدت زمان بیشتری سپری گردد ماده نافذ بیشتری به سطح کشیده شده و شکل عیب پررنگتر و عریضتر دیده خواهد شد .



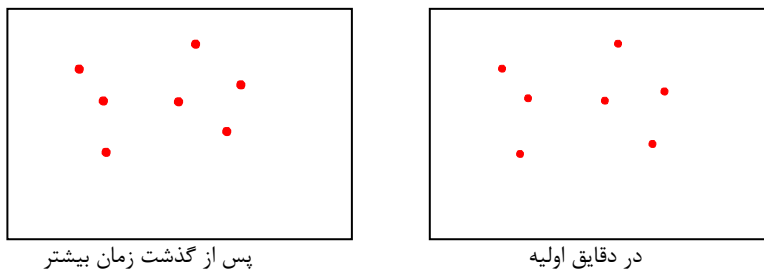
شکل ۳-۲

۳ - دانه های ریزی که بلافاصله در سطح کار نمایان می شوند .  
چنین عیوبی مربوط به حفره های گازی ریز پراکنده و یا حفره های گازی خوشه ای سطحی و کم عمق هستند که بطور سریع جذب ماده ظاهر ساز می گردند .



شکل ۳-۳

۴ - دانه های ریزی که بتدریج و با تأخیر در سطح نمایان می گردند .  
چنین علائمی در نتیجه خروج ماده نافذ از حفره های گازی لوله ای شکل ( Pin Holes ) و یا حفره های توخالی ( Cavities ) در قطعات ریختگی بوجود می آیند که عمق زیادی دارند و به تدریج به سمت سطح کشیده می شوند ( شکل ۳-۴ ) .



شکل ۳-۴

### تخمین عمق عیوب

طبق تعریفی که از آزمایش مواد نفوذی بیان شده، با این روش عمق عیوب قابل اندازه گیری نمی باشد. اما می توان از طریق مقایسه درجه غلظت علائم و انجام مراحل زیر عمق عیب را تخمین زد .

- ۱ - پس از نمایان شدن عیب و گذشت زمان ظهور، سطح کار بطور کامل تمیز می گردد بطوریکه اثری از ماده ظاهر ساز و نافذ روی سطح دیده نشود .
- ۲ - بدون استفاده از ماده نافذ، سطح کار مجدداً با ماده ظاهر ساز آغشته گردد . در این حالت چنانچه عیب دارای عمق باشد ماده نافذ پسماند به سمت سطح کار جذب ماده ظاهر ساز خواهد شد.
- ۳ - با تکرار این مرحله و داشتن تجربه قبلی از مکانیزم عیوب عمق دار در قطعاتی مشابه، عمق عیب قابل تخمین خواهد بود.

مدت زمان نفوذ مواد نافذ در انواع فلزات در جدول ۳-۱ دیده می شوند .

#### **نکته مهم :**

چنانچه پس از پاشیدن ماده ظاهر ساز، سطح کار مملو از آثار ماده نافذ گردد، بلافاصله سطح کار تمیز شده و سپس فقط ماده ظاهر ساز پاشیده شود .  
پس از این عمل ( تکرار ظاهر سازی )، اگر مجدداً پراکندگی زیاد ماده نافذ دیده شد، دو حالت زیر روی داده است .

الف - قطعه دارای تخلخل و حفره های گازی ریز می باشد. چنین قطعاتی با روش نفوذی قابل آزمایش نمی باشند .

ب - وجود عوامل سطحی مانع پاک شدن کامل ماده نافذ شده و باید مجدداً سطح کار طبق مراحلی که قبلاً شرح داده شد تمیز شده و آزمایش تکرار گردد .

### ساخت نمونه نشانگر

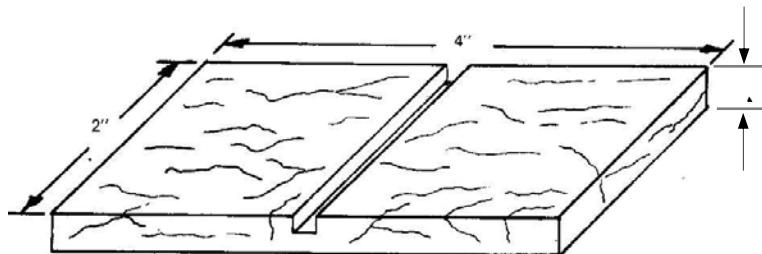
اصولاً برای اطمینان از توانائی مواد نفوذی و ظاهر ساز در نشان دادن عیوب، باید مرجعی به عنوان نمونه نشانگر ( Indicator Test Block ) در اختیار قرار گیرد که به چند طریقه می توان نمونه ای ترک دار با روش حرارتی تهیه نمود که به دو طریقه آن اشاره می شود :

الف - قطعه ای تخت از جنس Oil Quenched Tool Steel تا دمای ۸۱۳ درجه سانتی گراد حرارت داده و بلافاصله در آب سرد غوطه ور می گردد .

ب - قطعه ای تخت از جنس Aluminum ۲۰۲۴ تا دمای ۵۱۰ درجه سانتی گراد حرارت داده شده و سپس در آب سرد انداخته می شود .

پس از این عمل ترک های متعددی در هر دو قطعه دیده خواهد شد .

در شکل ۳-۵ ، یک نمونه نشانگر با ترکهای حرارتی متعدد مشاهده می گردد که شیاری برای نشان دادن سطحی بودن ترکها در آن ایجاد شده است .



شکل ۳-۵ ، ابعاد نمونه نشانگر

Material	Form	Type of Discontinuity <sup>۱</sup>	Fluorescent Water Washable Penetrant	Fluorescent Emulsifiable Penetrant min	Fluorescent Emulsifiable Penetrant min
Steel	Casting	Porosity	۳۰ min	۱۰	۵
		Cold Shut	۳۰	۱۰	۷
	Extrusion Forging Welds	Laps	NR <sup>۲</sup>	۱۰	۷
		L.o.F <sup>۳</sup>	NR <sup>۲</sup>	۱۰	۷
		Porosity	۶۰	۱۰	۷
		Crack	۶۰	۲۰	۷
		Fatigue Crack Under cut	۳۰	۲۰	۷
		NR	۳۰	۱۰	
			۲۰	۱۰	۵
Carbide Speed Tools		L.o.F	۳۰ min	۵	۳
		Porosity	۳۰	۵	۳
		Crack	۳۰	۲۰	۵
Magnesium	Casting	Porosity	۱۵ min	۵	۳
		Cold Shut	۱۵	۵	۳
	Extrusion Forging Welds	Laps	NR	۱۰	۷
		L.o.F	NR	۱۰	۷
		Porosity	۳۰	۱۰	۵
		Crack	۳۰	۱۰	۵
		Fatigue Crack	۳۰	۱۰	۵
		NR	۳۰	۷	
Aluminum	Casting	Porosity	۵-۱۰ min	۵	۳
		Cold Shut	۵-۱۵	۵	۳
	Extrusion Forging Welds	Laps	NR	۱۰	۷
		L.o.F	NR	۱۰	۷
		Porosity	۳۰	۵	۳
		Crack	۳۰	۵	۳
		Fatigue Crack	۳۰	۵	۳
				NR	۱۰
			۳۰	۳	

جدول زمان نفوذ Dwell Time  
برای چند نوع محصول

توضیح:  
 ۱ - این نوع عیوب بشرط باز شدن ( Open ) در سطح کار قابل تشخیص هستند.  
 ۲ - L.o.F ( ذوب ناقص )  
 ۳ - حروف اختصاری ( NR ) ، Not Recommended )  
 توصیه نمی شود .

Aerosol Spraying	پاشیدن سیال بوسیله قوطی اسپری تحت فشار
Air-Accelerator Spray	پاشیدن سیال بکمک فشار هوای کمپرسور ( شتاب دهنده )
Air-Agitated Wash	شستشوی در سیالی که با فشار هوا بهم خورده است .
Air Water Spray Gun	وسیله پاشیدن سیال با فشار هوا
Background	زمینه تباین سطح کار
Background Coloration	رنگ پسماند ماده نافذ
Background Fluorescent	رنگ پسماند ماده نافذ فلورسنتی
Black Light	نور تاریک ( نور ماوراء بنفش )
Black Light Filter	فیلتر مانع عبور نور سفید چراغ در زمینه ماوراء بنفش
Bleed-out	عملکرد ماده نافذ برای خروج از منفذ و نمایان نمودن عیب
Blotting	عمل عیان نمودن ماده نافذ توسط ماده ظاهر ساز
Brush Application	مالیدن ماده نافذ با برس
Carrier Fluid	سیالی که مانند یک حامل عمل می کند.
Carry Over of Penetrant	برداشتن ماده نافذ مازاد
Color Contrast Penetrant	ماده نافذ رنگی ( معمولاً قرمز )
Combined Color Contrast and Fluorescent Penetrant	ماده نافذ ترکیبی :
	ماده نافذ ترکیبی که با هر دو نور روشن و نور ماوراء بنفش قابل تفسیر باشد .
Comparator Test Block	نمونه مقایسه :
	نمونه ای ترک دار برای مقایسه خواص مواد نافذ ( استاندارد BS ۳۶۸۳ )
Compressed Air Drying	خشک نمودن با فشار هوا
Contrast Film	لایه رنگی تباین
Cooling Station	مرحله خنک نمودن قطعات
Corrosion Inhibitor	ماده بازدارنده خوردگی
Degreasing Fluids	ماده تمیز کننده چربی و گریس
Degreasing Plant	دستگاه چربی زدائی .
Developer	ماده ظاهر ساز



Detergent Remover	ماده تمیز کننده ماده نافذ ( برطرف کننده )
Developer Station	مرحله ظاهر سازی
Developer Time	زمان لازم برای مرحله ظهور
Dry Developer	ماده ظاهر ساز پودر خشک
Drying Station	مرحله خشک نمودن قطعات
Dye Penetrant	ماده نافذ رنگی
Developer Soluble	ماده حلال ظاهر ساز
Developer Wet	ماده سیالی ظاهر ساز
Dip Rinse	مازادگیری ماده نافذ پس از غوطه وری
Discontinuity	ناپیوستگی
Drag-out	تلف شدن ماده نافذ به علت چسبندگی قطعات
Drain Time	زمان آبکشی ( شستشوی )
Drying Oven	اطاق خشک
Dwell Time	زمان نفوذ قابل تعلیق
Electrostatic Spraying	استفاده از ماده نافذ و ظاهر ساز به روش الکترواستاتیک
Emulsifiable Penetrant	ماده نافذ با ماده تعلیق ساز
Emulsification Time	زمان تعلیق سازی ماده نافذ
Emulsifier	ماده امولسیون ( آمیزنده )
Emulsifier Lipophilic	آمیزنده لیپوفیلیکی
Evaluation	ارزیابی و بررسی
False Indication	علائم نادرست ( غلط )
Family	مجموعه مواد لازم برای آزمایش نفوذی
Flash Point	نقطه اشتعال
Fluorescent Penetrant	ماده نافذ فلورسنتی
Foot-Candle	واحد شدت روشنایی ( شدت نور یک شمع در فاصله یک فوتی )
Hydrophilic Emulsifier	ماده آمیزنده هیدروفیلیکی
Hydrophilic Remover	ماده تمیز کننده هیدروفیلیکی

Immersion Rinse	غوطه ور نمودن قطعات برای مازاد گیری
Immersion Time	زمان غوطه وری
Interpretation	تفسیر علائم
Non-aqueous Liquid Developer	سیال ظاهر ساز غیر آبی ( پایه نفتی )
Oil and Chalk Process	فرآیند روش نفوذی با نفت و گچ
Over Emulsification	تعلیق سازی بیش از حد لازم
Over Washing	شستشوی بیش از حد لازم
Penetrant	ماده نافذ
Penetrant Comparator	نمونه قیاس مواد نافذ
Penetrant Dual Purpose	ماده نافذ دو منظوره
Penetrant Flaw Detection	روش آشکار سازی عیب با مواد نفوذی
Penetrant Fluorescent	ماده نافذ فلورسنتی
Penetrant Post Emulsifiable	تعلیق سازی موضعی :
	ماده نافذی که بطور موضعی با مواد آمیزنده تعلیق می گردد .
Penetrant Solvent Removable	برداشتن ماده نافذ با حلال
Penetrant Station	مرحله کار با ماده نافذ
Penetrant Visible	ماده نافذ رنگی ( قابل رؤیت )
Penetrant Water Washable	ماده نافذ قابل شستشوی با آب
Penetrant Time	زمان نفوذ
Pooling	آغشته شدن سطح کار با امولسیون و یا ماده ظاهر ساز مازاد
Post Cleaning	تمیز نمودن موضعی
Post Emulsification	تعلیق سازی موضعی
Precleaning	تمیز نمودن قبل از آزمایش
Relevant Indications	علائم نامربوط ( ناخواسته )
Replenisher	ماده تقویت کننده برای مواد ضعیف شده ( جبران کننده )
Rinse	مازاد گیری
Solvent Remover	حلال تمیز کننده

---

Spray Nozzle	نازل پاشیدن سیال
Temperature Envelope	درجه حرارت در زمان استفاده از ماده نافذ
Thixotropic Penetrant	ماده نافذ با خاصیت روانی محدود
Ultrasonic Cleaning	تمیز نمودن قطعات با روش آلتراسونیک
Ultraviolet Radiation	پرتوهای ماوراء بنفش
Ultraviolet Meter	دستگاه اندازه گیری نور ماوراء بنفش
Vapour Degreasing	تبخیر نمودن مواد روغنی و چرب
Vehicle	ماده ای مکمل تعلیق سازی و پاشیدن سیال
Visible Light	نور قابل رؤیت
Wash	شستشوی ماده نافذ
Water Tolerance	تولرانس مقدار آب
Water Washable Penetrant Process	فرآیند آزمایش با روش شستشوی با آب
Wetting Agents	ماده روان سازی ماده نافذ

---

---

تعریف واژه های آزمایش ذرات مغناطیسی  
مرتبط با آزمونهای غیرمخرب

---

---

**Terms & Definitions**

**Magnetic Particles Testing**

صفحات ۵۱۵ تا ۵۲۰

Aerosol Spraying	پاشیدن سیال بوسیله قوطی اسپری تحت فشار
Air-Accelerator Powder Spray	پاشیدن پودر بکمک فشار هوا
Alternative Current	جریان متناوب
Alternative Current Magnetization	ایجاد میدان مغناطیسی با جریان متناوب
Ampere Meter	دستگاه آمپرسنج
Ampere Turns	آمپر دور ( در روش آزمایش سیم پیچ )
Aperture Type Coil	سیم پیچ مغناطیس زدا :
	یک کویل حامل جریان متناوب است که برای مغناطیس زدائی قطعات بکار می رود.
Arc Strikes	اثر جرقه ( مانند اثر جرقه الکتروود روی سطح کار در جوشکاری )
Background	زمینه تباین سطح کار
Background Paint	رنگ زمینه ( رنگ زیرکار )
Berthold Penetrantmeter	شاخص کیفیت برتولد
Black Light	نور ماوراء بنفش
Black Light Filter	فیلتر مانع عبور نور سفید چراغ در زمینه ماوراء بنفش
Burning	سوختن نقطه ای ( به علت تماس و یا عبور جریان از یک قطعه )
Carrier Fluid	سیالی که مانند یک حامل عمل می کند.
Central Conductor	هادی محوری
Centrifugal Tube Settlement Flask	ظرف مدرج سنجش در صد ذرات یک ماده سیال
Circular Magnetization	مغناطیس نمودن حلقوی
Circumferential Magnetization	مغناطیس نمودن محیطی
Clip-On Ammeter	آمپرسنج با شاخک های باز و بست شونده
Coagulation	همجوشی و اتصال ذرات فرومغناطیس در سیال
Coercive Force	نیروی پسماندزدائی
Coil Technique	تکنیک سیم پیچ ( کویلی )
Color Magnetic Ink	سیال ذرات مغناطیسی رنگی
Compass Test	آزمایش میدان با قطب نما ( قطبی بودن )
Conditional Agent	ماده مکمل آمیزنده

---

Concentrates	تغلیظ سیال حاوی ذرات مغناطیسی
Contact Head	نقطه تماس الکتروود
Contact Pads	لایه های مسی ( Shim ) :
Contrast	برای جلوگیری از سوختن سطح کار بین الکتروود و قطعه قرار می گیرد . تباين زمينه ( تفاوت رنگ زمينه با رنگ ذرات آهن )
Continuous Technique	میدان پیوسته :
Core	تکنیکی که در آن می توان ذرات را بطور پیوسته روی سطح کار پاشید. مغزی درون سیم پیچ
Curie Point	نقطه بحرانی
Current Flow Technique	تکنیک هادی جریان ( تکنیک محوری )
Demagnetization	مغناطیس زدائی
Demagnetization Coil	سیم پیچ مغناطیس زدا
Detecting Medium	ماده آشکارساز
Diffuse Indications	علائم پراکنده
Direct Current	جریان مستقیم
Dry Powder	پودر ذرات خشک آهن
Dry Powder Technique	تکنیک آزمایش با پودر خشک
Dry-out Time	زمان خشک شدن ( جذب رطوبت با خشک کن )
Effective Magnetic Permeability	قابلیت نفوذ مغناطیسی مؤثر
Electrode	میله حاوی جریان در تکنیک الکتروودی ( Prode )
Electromagnet	آهنربای الکتریکی
Examination Method	روش آزمایش ذرات مغناطیسی
Extenders	اجزاء افزاینده خواص مغناطیسی در قطعات
False Indication	علائمی که به علت نشئت میدان دیده می شوند اما عیب نیستند
Ferromagnetic	موادی که قابلیت نفوذ پذیری مغناطیسی زیادی دارند .
Ferromagnetic Particles	ذرات و اجزاء فرومغناطیسی
Fill Factor	فاکتور فاصله بین قطعه و سیم پیچ در تکنیک کویلی

---

Flexible Cable Technique	تکنیک استفاده از سیم پیچ قابل انعطاف
Fluorescent Magnetic Ink	سیال ذرات مغناطیسی فلورسنتی
Fluorescent Magnetic Particles Inspection	آزمایش ذرات مغناطیسی فلورسنتی
Fluorescent Powder	پودر آهن فلورسنتی
Flux Density	چگالی خطوط میدان ( چگالی شار )
Flux Indicator	شاخص نشان دهنده خطوط میدان ( عیوب مصنوعی )
Flux-Leakage Field	میدان نشت مغناطیسی
Flux Lines	خطوط میدان
Flux Meter	وسیله اندازه گیری خطوط میدان
Flux Concentration	غلظت خطوط میدان در قطعه مورد آزمایش
Full Wave Rectified Current	یکسو شدن تمام موج در جریان متناوب
Functional Test	صلاحیت آزمایش :
	آزمایشی که توانائی سیستم آزمایش و خواص ذرات مغناطیس را باثبات برساند
Furring	انباشته شدن ذرات به دلیل میدان مغناطیسی مازاد
Gauss	گوس واحد اندازه گیری تعداد خطوط میدان در هر سانتی متر مربع
Gauss Meter	وسیله اندازه گیری چگالی خطوط میدان
Half Wave Rectified Current	یکسو شدن نیم موج جریان متناوب
Hall Effect	اثر هال :
	اختلاف پتانسیلی است که از قرار گرفتن یک هادی، در جهت عمود بر جهت میدان مغناطیسی بوجود می آید و جریان الکتریکی گسترش می یابد .
Hysteresis	حلقه پسماند مغناطیسی
Immersion Procedure	روش غوطه وری
Indications	علائم روی سطح کار پس از آزمایش
Indirect Magnetization	مغناطیس نمودن غیر مستقیم ( القائی )
Induced Current Flow Techniques	تکنیک القائی در نتیجه عبور جریان
Induced Field	میدان القائی
Induction ( Magnetic )	القاء مغناطیسی

Inherent Fluorescence	خاصیت ذاتی فلورسنتی
Keeper	رابط مدار آهنربائی : بمنظور ضعیف نشدن آهنربای دائمی در امتداد دو قطب آن قرار می گیرد .
Laminated Pole Pieces	رابط میدان : لایه های قابل تنظیم برای قرار گرفتن قطب های آهنربا روی سطوح ناهموار
Lifting Power	آزمایش توانائی بلند نمودن وزنه با آهنربا
Light Intensity	شدت نور
Lines Of Force	طیف خطوط آهنربائی ( قابل رؤیت با ذرات درشت آهن )
Local Magnetization	مغناطیس نمودن موضعی
Longitudinal Magnetization	آشکار نمودن عیوب طولی با میدان های حلقوی
Magnetic Circuit	مدار پیوسته بین دو قطب آهنربا
Magnetic Leakage Field	نشت میدان مغناطیسی در مجاورت آهنربا
Magnetic Field Distribution	انتشار نیروی میدان در یک میدان مغناطیسی
Magnetic Field Indicator	شاخص خطوط میدان
Magnetic Field Leakage	نشت خطوط میدان به علت وجود ناپیوستگی در قطعات
Magnetic Field Strength	شدت میدان مغناطیسی در یک نقطه مشخص
Magnetic Field Strength Meter	وسیله اندازه گیری میدان های مغناطیسی
Magnetic Flaw Detection Ink	سیال حاوی ذرات مغناطیسی برای عیب یابی
Magnetic Flow Technique	تکنیک جریان آهنربائی : تکنیکی که قطعه مورد آزمایش در مجاورت مدار خطوط میدان قرار می گیرد .
Magnetic Flow Coil Test Piece	نمونه استاندارد : قطعه استانداردی است برای آزمایش جریان میدان و سیم پیچ ها بکار می رود .
Magnetic Flux	مجموعه خطوط میدان در یک مدار مغناطیسی
Magnetic Flux Density	چگالی خطوط میدان مغناطیسی در واحد سطح
Magnetic Hysteresis	حلقه پسماند مغناطیسی
Magnetic Indication	علائم مغناطیسی ( تجمع ذرات آهن )
Magnetic Ink	سیال حاوی ذرات مغناطیسی



Magnetic Leakage Field	نشست خطوط میدان به علت وجود ناپیوستگی در قطعات
Magnetic Particles	ذرات مغناطیسی
Magnetic Permeability	قابلیت نفوذپذیری مغناطیسی
Magnetic Poles	قطب های آهنربا
Magnetic Powder	پودر ذرات آهن
Magnetic Saturation	اشباع مغناطیسی
Magnetic Writing	علامت زائد :
	نوعی علامت نامربوط است که گاهی در نتیجه تماس سطح یک ذره فرومغناطیس با ماده فرومغناطیس دیگری شکل می گیرد .
Magnetizing Current	جریان مغناطیس سازی :
	جریان متناوب یا مستقیمی که موجب القاء مغناطیسی می گردد .
Magnetizing Force	نیروی میدان مغناطیسی
Magnetometer	وسیله اندازه گیری شدت میدان مغناطیسی
Multidirectional Magnetization	مغناطیس سازی چند قطبی :
	ایجاد میدان مغناطیسی با چند جهت ( مانند یوک های چهار قطبی )
Non-Relevant Indication	علائمی که به عللی بجز وجود عیب شکل می گیرند .
Near Surface Discontinuity	عیوب نزدیک به سطح ( زیر سطحی )
Oersted	واحد قدرت میدان مغناطیسی ( آمپر بر متر )
Parallel Conductors	چند هادی موازی :
	در این روش چند هادی جریان در جهت موازی طوری روی سطح قطعه مورد آزمایش قرار می گیرند که جهت جریان ها همسو باشد . در این حالت میدان مغناطیسی قوی و یکنواختی در سطح قطعه و بین هادی ها بوجود می آید .
Particles Content	مقدار ذرات معلق در سیال
Peak Current	نقطه عطف دامنه :
	حداکثر دامنه جریان الکتریکی در زمان مغناطیس سازی است که برای سنجش میدان مغناطیس بکار می رود .
Permanent Magnet	آهنربای دائمی ( ذاتی )

Polymer Technique	تکنیک پولیمری :
	تکنیکی است که از نوعی ماده پولیمری برای معلق سازی سیال استفاده می شود .
Portable Flux Indicator	شاخص کیفیت خطوط میدان
Powder Blower	دستگاه پاشیدن پودر خشک ذرات مغناطیسی
Prods	الکترودها ( در روش آزمایش الکترودی )
Residual Magnetic Field	میدان مغناطیسی پسماند
Residual Technique	تکنیک پسماند زدائی
Retentively	پایداری مغناطیسی
Saturation Magnetic	اشباع مغناطیسی
Skin Effect	اثر سطح ( برای جریان متناوب )
Solenoid	سیم پیچ استوانه ای
Subsurface Discontinuity	عیوب زیر سطحی
Surge Magnetization	مغناطیس سازی متغییر :
	ابتدا با شدت جریان بسیار زیاد ( کمتر از یک ثانیه ) و ادامه آن با جریان های متوسط .
Suspension	تعلیق سازی ذرات آهن
Test Ring	حلقه آزمایش ( با عیوب مصنوعی )
True Continuous Technique	تکنیک پیوسته :
	روشی است که قبل از پاشیدن ذرات، میدان مغناطیسی برقرار می گردد و برقراری میدان تا پایان آزمایش بدون وقفه ادامه می یابد .
Vehicle	سیال ترکیبی که باعث چسبندگی و یکدست شدن سیال می شود .
Visible Light	نور قابل رؤیت ( ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانگستروم )
Water Break Test	آزمایش کیفیت برای سیال مکمل ( حالت دهنده آب )
Water Washable	قابل شستشوی با آب
Wet Technique	تکنیک آزمایش با ذرات آهن تر ( سیال )
Wet Slurry Technique	تکنیک دوغاب سیال ذرات آهن
Yoke	دستگاه آهنربای یوغ شکل
Yoke Magnetization	مغناطیس نمودن با تکنیک یوک

## بخش اول

### تاریخچه :

در حدود ۳۵۰ سال قبل از تاریخ میلادی دانشمند یونانی سقراط نوعی از سنگ های معدنی را کشف نمود که ترکیبات آهنی را بخود جذب می نمود . این نوع سنگها اولین بار در دیاری موسوم به مگنزییا ( Magnesia ) در آسیای صغیر کشف شد و از همان زمان عنوان مگنت ( Magnetite ) به مواد آهنربائی داده شد .

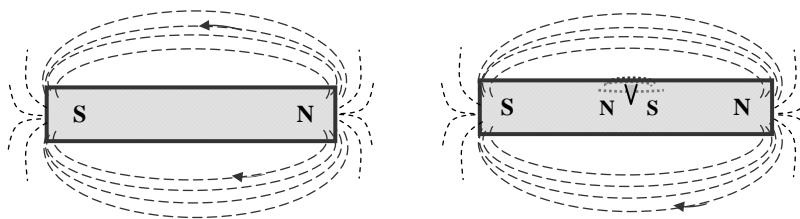
اما تاریخچه ورود آهنربا در آزمایش های غیرمخرب به سال ۱۹۲۸ بر می گردد که پرفسور دی فورست ( de Forest ) اولین آزمایش ذرات مغناطیسی را برای آشکارسازی ترک های سطحی به انجام رساند و در سال ۱۹۳۰ اولین آهنربای الکتریکی توسط F.B..Doane برای آزمایش ذرات مغناطیسی ساخته شد .

### شرح مقدمه روش

چنانچه در بین دو قطب یک آهنربای میله ای شکل ذرات پودر ریز آهن پاشیده شود، طیف منظمی از آرایش ذرات پیرامون دو قطب تشکیل خواهد شد ( شکل ۱-۱ - الف) . در چنین حالتی، هرذره از پودر آهن با خاصیت دو قطبی شدن، در مسیر خطوط میدانی که بین دو قطب برقرار شده آرایش می یابد. اما اگر در بین دو قطب آهنربا، شکاری ایجاد گردد، ذرات درون آهنربا در دو سمت شیار مانند یک آهنربای جدید عمل کرده و خطوط جدیدی در اطراف خود بوجود می آورند و ذرات آهن نیز تجمع دیگری در اطراف شیار خواهند داشت .

پایه و اساس آزمایش ذرات مغناطیس نیز بر همین خاصیت استوار شده است . در این روش، از طریق مشاهده تغییرات دانسیته و تجمع ذرات ریز آهن که به علت نشت خطوط میدان در قطعات مورد آزمایش بوجود می آید، ناپیوستگی ها شناسائی می گردند .

هر قطعه فرومغناطیس که در یک میدان آهنربائی قرار گیرد، ساختار فیزیکی آن نیز مانند آهنربا عمل نموده و ناپیوستگی های درون آن در خطوط میدان و در نتیجه در شکل گیری ذرات آهن اثر می گذارند.

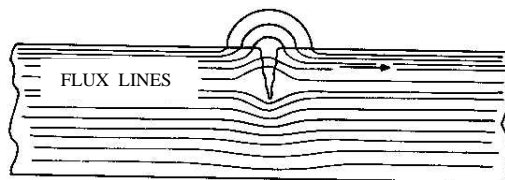


شکل ۱-۱-الف

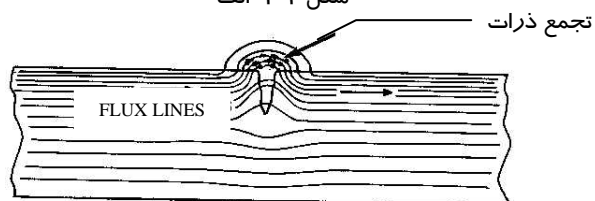
شکل ۱-۱-ب

بطور مثال اگر روی قطعه فولادی ( فرومغناطیس )، که در میدان آهنربائی قرار گرفته شیار ایجاد گردد، وجود شیار موجب نشت خطوط میدان شده و ذرات آهن در اثر نیروی پیچش در اطراف شیار تجمع خواهند نمود ( شکل ۱-۲ ) .

شکل ۱-۲-ب



شکل ۱-۲-الف



در شکل ۱-۲-الف تأثیر ناپیوستگی در خطوط میدان و در شکل ۱-۲-ب تجمع ذرات در محل شیار مشاهده می گردد.

### اساس کلی آزمایش

اساس کلی روش آزمایش ذرات مغناطیسی، با انواع تکنیک ها، ابزار و مواد در چند مرحله زیر خلاصه می شود :

- ۱ - ایجاد میدان مغناطیسی در قطعه مورد آزمایش
- در این مرحله جنس قطعه، خاصیت نفوذ پذیری و چگالی خطوط میدان مغناطیسی، نوع میدان مغناطیسی و تکنیک آزمایش مطرح هستند.
- ۲ - پاشیدن ذرات بسیار ریز آهن روی سطح کار
- در این مرحله رنگ پودر آهن و یا ذرات آهن معلق در سیال، دانه بندی ذرات و زمینه تباین سطح کار مد نظر می باشند .
- ۳ - مشاهده طیف ذرات و تشخیص عیوب
- در مرحله نهائی نوع نور ( نور روشن یا ماوراء بنفش ) ، شرایط سطح کار، نوع عیوب و استاندارد پذیرش عیوب قابل بررسی می باشند .

### خاصیت مغناطیسی پذیری

کلیه مواد به لحاظ مغناطیسی پذیری و قابلیت هدایت خطوط میدان مغناطیسی به سه گروه اصلی زیر تقسیم می شوند :

#### **پارامغناطیس ها ( Paramagnetics )**

موادی هستند که خاصیت مغناطیسی پذیری و قابلیت نفوذ مغناطیسی در آنها کمتر از یک واحد است. ذرات یک ماده پارامغناطیس همواره موقعیت خود را در جهت عمود بر خطوط میدان قرار می دهند .

#### **دیامغناطیس ها ( Diamagnetics )**

به موادی گفته می شود که ضریب نفوذ مغناطیسی آنها کمی بیش از خلاء می باشد و همواره مستقل از شدت میدان مغناطیسی عمل می کنند. اما در تعریف تئوری، خاصیت ذاتی دیامغناطیسی در همه عناصر وجود دارد که در بعضی مواد مانند مواد فرومغناطیس بسیار ضعیف می باشد .

**فرومغناطیس ها ( Ferromagnetics )**

به موادی گفته می شود که با قرار گرفتن در یک میدان مغناطیسی، خاصیت آهنربائی پیدا می کنند. سه عنصر آهن، نیکل، کبالت و آلیاژهای آنها از چنین خاصیتی برخوردارند.

با توجه به تعاریف کلی فوق، می بینیم که فقط فرومغناطیس ها هستند که می توانند در زمینه آزمایش ذرات مغناطیسی مطرح گردند. اما فرومغناطیس ها نیز به جهت عملکرد به دو دسته نرم مغناطیس ها و سخت مغناطیس ها تقسیم می گردند:

**نرم مغناطیس ها ( Soft Magnets )**

به مواد فرومغناطیسی گفته می شود که قابلیت نفوذپذیری زیادی دارند و با قرار گرفتن در هر میدان مغناطیسی، به نسبت شدت میدان خاصیت آهنربائی پیدا می کنند، اما قادر به حفظ خاصیت آهنربائی نیستند.

**سخت مغناطیس ها ( Hard Magnets )**

به آندسته از فرومغناطیس ها گفته می شود که فقط در میدان های قوی، خاصیت آهنربائی پیدا می کنند و برخلاف نرم مغناطیس ها، قادرند خاصیت آهنربائی را در خود نگاه دارند.

**مثال :**

اگر دو قطعه از دو جنس نرم و سخت مغناطیس در یک میدان مغناطیسی مشابه قرار گیرند و پودر آهن روی آنها پاشیده شود، پس از خارج نمودن دو قطعه از میدان مغناطیسی، تفاوت های زیر مشاهده خواهد شد.

۱ - قطعه نرم مغناطیس در میدان مغناطیسی، پودر آهن بیشتری به خود جذب نموده اما پس از دور شدن از میدان، پودرهای آهن از قطعه جدا می گردند.

۲ - قطعه سخت مغناطیس پودر آهن کمتری به خود جذب می نماید و پس از دور شدن از میدان همچنان قادر به جذب ذرات آهن می باشد.

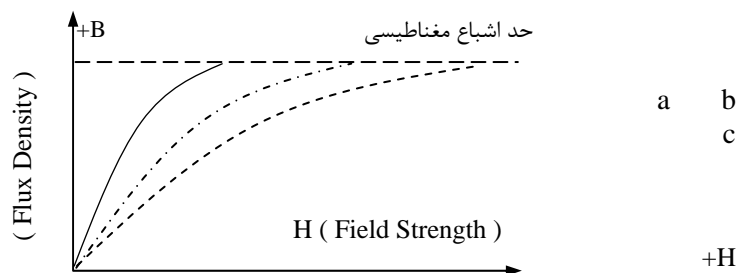
اصولاً نرم مغناطیس ها نسبت به سخت مغناطیس ها، خاصیت نفوذ پذیری مغناطیسی بالاتری دارند اما قابلیت نگهداری خاصیت آهنربائی آنها کمتر است.

**تعریف :** مقیاس جذب خاصیت مغناطیسی مواد را با درجه نفوذ پذیری ( Permeability ) بیان می کنند. در اصل نفوذ پذیری مقیاسی برای اندازه گیری عبور خطوط میدان مغناطیسی از درون یک جسم می باشد که به خاصیت جسم و شدت نیروی میدان بستگی دارد.

### چگالی خطوط میدان

هرگاه قطعه ای فرومغناطیس در یک میدان مغناطیسی قرار گیرد، خطوط نیروی مغناطیسی در عمق معینی از جسم شکل می گیرند. درجه چگالی خطوط میدان با نیروی مغناطیسی و خاصیت مغناطیس پذیری جسم متناسب است .

به تعداد خطوطی که در سطح مقطع معینی از جسم عبور می کنند، چگالی خطوط میدان یا چگالی شار مغناطیسی ( Flux Density ) گفته می شود . با افزایش تعداد خطوط قابل عبور در قطعه ، قابلیت نفوذ پذیری قطعه بیشتر خواهد شد.



شکل ۱-۳

در شکل ۱-۳، تغییرات منحنی مغناطیس پذیری برای سه نوع فولاد مختلف که تا حد اشباع آهنربا شده اند مشاهده می گردد :

خط ممند a مربوط به فولادی با ضریب مغناطیس پذیری زیاد می باشد.

خط b مربوط به فولادی با ضریب مغناطیس پذیری متوسط است.

خط c منحنی فولادی با ضریب مغناطیس پذیری ضعیف می باشد.

ضریب نفوذ پذیری با حرف یونانی  $\mu$  شناخته می شود .

$$\mu = \frac{B}{H} \Rightarrow \frac{\text{Flux Density}}{\text{Field Strength}} \Rightarrow \frac{(\text{Magnetisation})}{(\text{Magnetising Force})}$$

B - چگالی خطوط میدان در واحد گاس و یا تسلا ( Gauss و Tesla ) .

H - نیروی مغناطیسی در واحد ارستد ( Oersted ) .

کلیه موادی که ضریب نفوذپذیری بیشتر از ۱۰۰ دارند قابل مغناطیس شدن هستند .

قابلیت نفوذ پذیری هوا معادل یک و فولاد ها بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ می باشد .

## روش های ایجاد میدان مغناطیسی

### آهنربای دائمی ( Permanent Magnet )

آهنربای دائمی معمولاً به شکل آهنربای نعل اسبی ( Horseshoe ) با ساق های متحرک و قابل باز و بست طراحی می گردند. برای آزمایش ذرات مغناطیسی استفاده می شود. آهنربای دائمی از آلیاژهای مواد سخت مغناطیس ( Hard Magnet ) تهیه می گردند و خاصیت آهنربائی را بطور ذاتی در خود نگاه می دارند .

مواد آلیاژی نظیر Alnico , Ticonel و Alcomax شاخص ترین انواع آهنربای دائمی هستند که معمولاً محتوی در صد زیادی آهن، کبالت، نیکل و در صد کمتری آلومینیوم، تیتان و تنگستن می باشند . این نوع آهنرباها برای آزمایش قطعات کوچک، عیوب سطحی و موضعی قطعات بزرگتر و برای نقاطی که امکانات برق نباشد بکار می روند .

### نکات مهم :

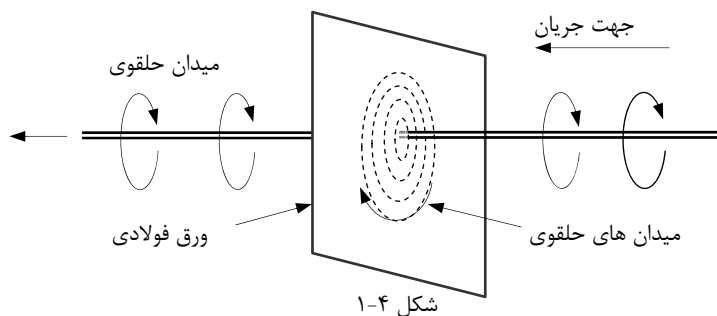
- ۱- آهنرباهای دائمی با قدرتی محدود و در اندازه ای کوچک و قابل حمل ساخته می شوند. حمل آهنربای سنگین و جدا نمودن آن از قطعات مورد آزمایش از جمله محدودیت های ساخت آهنربای بزرگتر می باشد .
- ۲- به علت دائمی بودن خاصیت مغناطیسی، در زمان آزمایش فقط از ذرات معلق در سیال استفاده می شود زیرا جدا نمودن ذرات پودری از دو قطب آهنربا بسیار مشکل است .

## آهنربای الکتریکی

زمانی که از یک سیم هادی، جریان الکتریسیته عبور نماید، بدلیل القاء مغناطیس، میدان های مغناطیسی حلقوی در اطراف سیم تولید می گردد که جهت خطوط میدان از قانون انگشتان دست راست ( قانون لنز ) پیروی می کند ( شکل ۱-۴ ) .

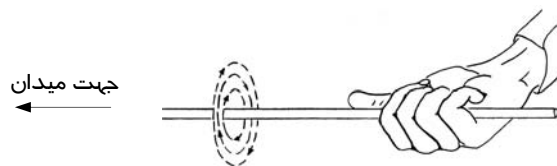
چنین میدانهای پیرامون هرنوع هادی جریان الکتریکی تشکیل می گردد اما چنانچه جریان از یک قطعه فرومغناطیس عبور نماید، علاوه بر اطراف سیم، در خود قطعه نیز میدان های حلقوی تشکیل می شود.





در شکل ۱-۴، تشکیل میدان های مغناطیسی حلقوی پیرامون سیم هادی جریان الکتریسیته که از یک ورق فولادی ( فرومغناطیسی ) عبور کرده، مشاهده می گردد. در سطح ورق فولادی نیز خطوط دایره ای بوجود آمده اند .

شعاع خطوط میدان به عمود بودن سیم هادی و شدت جریان بستگی دارد .

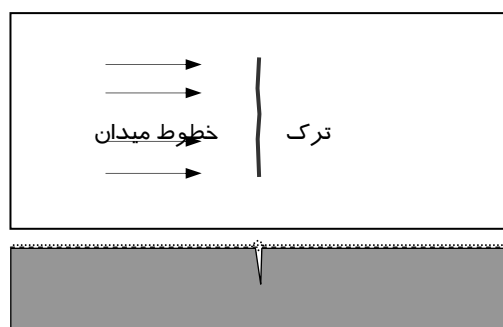


در شکل ۱-۵، روش تعیین جهت میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان الکتریکی مشاهده می گردد. سیم هادی طوری در دست راست قرار گرفته که انگشت بزرگ در جهت جریان و سایر انگشتان جهت میدان را نشان می دهند .

## ذرات مغناطیسی ( Magnetic Particles )

همانطور که در مقدمه ذکر شد، چنانچه پودر ذرات آهن در سطح یک قطعه آهنربا و یا سطح قطعه ای که در میدان آهنربائی قرار گرفته پاشیده شود، ذرات بصورت یک طیف منظم در سطح قطعه آرایش می یابند. در چنین شرایطی اگر عیبی در سطح قطعه وجود داشته باشد، موجب نشت خطوط میدان شده و از طریق مشاهده تجمع ذرات در محل نشت، عیب آشکار می گردد ( شکل ۱-۶ ).

با این توضیح می بینیم که وجود ذرات آهن به صورت یک عامل اساسی و غیرقابل اجتناب در فرآیند آزمایش مطرح می باشد و چنین آزمایش هائی بدون استفاده از ذرات آهن قابل اجرا نخواهند بود. البته در روش دیگری موسوم به آزمایش میدان مغناطیسی، بدون استفاده از ذرات مغناطیسی و از طریق محاسبه مقدار نشتی خطوط میدان، ناپیوستگی سطحی قطعات بررسی می گردند که خارج از بحث آزمایش ذرات مغناطیسی می باشد.



شکل ۱-۶

در شکل ۱-۶، نمای برش مقطعی و نمای بالای یک قطعه تحت آزمایش ذرات مغناطیسی مشاهده می گردد. بطوریکه در شکل مشخص است به علت تجمع توده ای از ذرات آهن در اطراف ترک، شکل طولی آن در سطح قطعه نمایان شده است.

**نکته:** در روش آزمایش ذرات نفوذی خصوصاً در نوع سیالی، به علت ریز بودن ذرات، فقط تجمع آنها قابل رؤیت است و طیف ذرات دیده نخواهد شد.

## انواع ذرات مغناطیسی

ذرات مغناطیسی به دو حالت ذرات خشک و ذرات معلق در سیال ( روش ذرات تر ) ساخته می شوند که هرکدام از تنوع رنگ، نوع و اندازه برخوردارند. اصولاً برای رؤیت عیوب در روش آزمایش ذرات مغناطیسی، رنگ ذرات طوری انتخاب می گردد که متضاد با رنگ و زمینه سطح قطعه باشد.

### الف - پودر خشک ( Dry Powder )

ذرات و اجزاء ریزآهنی که بطور خشک برای آزمایش ذرات مغناطیسی بکار می روند از خانواده آهن نرم ( Soft Iron ) و به حالت پودری در رنگهای زرد، قرمز، سیاه، خاکستری و در موارد نادری به رنگ فلورسنتی تولید می گردند . این نوع پودرها بوسیله پودر پاشهای مخصوصی روی قطعاتی که در میدان مغناطیسی قرار می گیرند پاشیده می شود. خواص عمومی ذرات که شامل اندازه دانه بندی، قابلیت مغناطیس پذیری، روانی ریزش، رنگ ذرات و مغناطیس زدائی آنها می باشد، در کیفیت آزمایش و درجه حساسیت آشکار سازی عیوب نقش اساسی دارند .

پودر ذرات مغناطیسی در قوطی های سربسته و یا بصورت فله با نام های تجارتي متفاوتی عرضه می گردند که خواص کیفی آنها با روشهای آزمایشگاهی قابل ارزیابی می باشد .

#### خواص لازم :

- ۱ - قابلیت نفوذپذیری مغناطیسی بالائی داشته باشند بطوریکه در میدان های ضعیف نیز تابع خطوط میدان قرار گیرند .
- ۲ - کمترین قابلیت نگاه داری خاصیت مغناطیسی را داشته باشند . چنانچه ذرات خاصیت مغناطیسی را حفظ کنند، پس از خاتمه آزمایش، ذرات ریز پسماند مشکلات جانبی را برای کاربرد قطعات بوجود می آورند.
- ۴ - از کمترین حد چسبندگی برخوردار باشند . چسبندگی ذرات موجب تجمع ناخواسته ذرات خواهد شد. ناخالصی، گرد و خاک و رطوبت عامل چسبندگی ذرات خواهند شد.
- ۵ - تا حد ممکن دانه ها ریز باشند. دانه های درشت برای آشکار سازی عیوب کم عمق مناسب نیستند . اما ذرات ریزتر از ۵۰ میکرون نیز برای آزمایش مناسب نمی باشند.

مزیت های ذرات پودری خشک

- ۱- برای آشکارسازی عیوب سطحی باز ( Open ) با جریان متناوب و عیوب زیرسطحی با جریان مستقیم مناسب می باشند .
- ۲- در درجه حرارت هائی که مواد سیالی منجمد و یا تبخیر می شوند فقط از ذرات خشک استفاده می گردد اما طبق استاندارد ASTM E ۷۰۹ ، استفاده از ذرات پودری خشک نیز حداکثر تا دمای ۳۱۵ درجه سانتی گراد مجاز می باشد.
- ۳- آلودگی محیط کار با این نوع ذرات کمتر است .
- ۴- بدلیل درستی ذرات پودر خشک در مقایسه با روش تر، برای سطوح زیر و ناهموار مناسبتر هستند) اندازه ذرات خشک معمولاً بین ۲۵۰ تا ۶۰۰ میکرون می باشد ( .

محدودیت های ذرات خشک

- ۱- درجه حساسیت آشکارسازی این نوع ذرات برای عیوب خیلی ریز، کم عمق و کم عرض بسیار ضعیف است .
- ۲- روی سطوح عمودی و قوس دار کارائی خوبی ندارند .
- ۳- برای آزمایش قطعات بزرگ و پر حجم سرعت آزمایش بسیار کم است .
- ۴- فقط با آهنربای الکتریکی قابل استفاده می باشند .

**نکات مهم :**

پاشیدن پودر ذرات خشک در فرایند آشکارسازی عیوب بسیار اهمیت دارد . غوطه ور نمودن قطعه و یا آغشته نمودن سطح با پودر ذرات خشک روش درستی نمی باشد .  
اما پاشیدن ذرات پودری بکمک جریان هوای خشک روش مناسبی است بشرط آنکه پودرها با فشار متعادل و بطور یکنواخت روی سطح پاشیده شوند .

**ب - ذرات معلق درسیال ( روش تر Wet Particles )**

در این روش ذرات بسیار ریز پودر آهن در سیالی با ویژگی خاص معلق می شوند که انواع مختلف آن در قوطی های تحت فشار ( اسپری ) و یا فله در دو نوع رنگی ( سیاه ) و فلورسنتی عرضه می گردند .

در نوع فله، پودر ذرات آهن بصورت جداگانه در اختیار قرار می گیرد و تعلیق سازی آنها طبق دستورالعمل سازنده در کارگاه انجام خواهد شد.

انواع ذرات معلق در سیال :

#### الف - سیال نفتی ( Oil suspendible liquid )

نفت سفید با ضریب چسبندگی کم ( Kerosene Petroleum Hydrocarbon ) یکی از مناسبترین مواد تعلیق کننده می باشد که برای هر دو روش آزمایش ذرات مغناطیسی فلورسنسی و رنگی ( سیاه ) قابل استفاده است . این ماده بطور مستقیم می تواند خاصیت تعلیق سازی ذرات را بدون ماده کمکی انجام دهد و به دلیل خاصیت نفتی، مشکل خوردگی برای سطوح حساس کمتر خواهد بود.

#### خواص لازم ( ذرات معلق در سیال نفتی ) :

- ۱ - ضریب چسبندگی کمی ( Low Viscosity ) داشته باشد .
- ۲ - حداکثر قابلیت نفوذپذیری مغناطیسی و کمترین حد قابلیت نگاه داری خاصیت مغناطیسی را داشته باشند .
- ۳ - حداقل درجه اشتعال را داشته باشد. برای محیط های بسته کمتر از ۶۰ درجه و برای محیط های آزاد از حداکثر ۹۳ درجه بیشتر نگردد .
- ۴ - ذرات بطور ذاتی خاصیت فلورسنسی نداشته باشند. چنین خاصیتی برای روش فلورسنسی تأثیر نامطلوبی در آشکارسازی و تفسیر عیوب می گذارد .
- ۵ - در مقابل سطح کار واکنش نداشته باشد و پسماندهای آن عامل خوردگی نگردد .

#### مزیت های سیال نفتی

- ۱ - ذرات ریز بدون نیاز به ماده مکمل در سیال نفتی معلق و شناور می شوند . اندازه ذرات آهن در این روش بین ۸ تا ۱۵ میکرون است .
- ۲ - ذرات معلق در نفت باسانی پاشیده می شوند .
- ۳ - احتمال خوردگی نسبت به نوع آبی ( ذرات معلق در آب ) بسیار کمتر خواهد بود .

**محدودیت ها**

- ۱ - کاربرد سیال نفتی در محیط های بسته مشکلتر است .
  - ۲ - قابلیت اشتعال آن در محیط کار خطر آفرین می باشد .
  - ۳ - در مقایسه با آب ، بدبوتر و استشمام آن مضر است .
  - ۴ - خاصیت حلال بودن مواد نفتی برای سطوح عایق دار مناسب نمی باشد .
- توضیح :** چون آزمایش ذرات مغناطیسی از روی رنگ و عایق ( حدود ۴۰ میکرون ) نیز قابل انجام است لذا کاربرد مواد نفتی برای بعضی از سطوح عایق دار مضر خواهد بود .

**ب - سیال آبی با مکمل ( Water with Conditioner Agent )**

در این روش نیز ذرات ریز فرومغناطیس به حالت معلق در سیالی که پایه اصلی آن را آب تشکیل داده غوطه ور می گردد. اما آب توانائی کافی برای معلق نمودن ذرات را ندارد و تمام سطح، خصوصاً سطوح چرب را پوشش نمی دهد.

از اینرو ماده ای مکمل برای تقویت معلق سازی، ریزش و پوشش دهی سطوح به محلول آب افزوده می شود . ماده مکمل که معمولاً خاصیت قلیائی دارد، موجب روانی بیشتر و در نتیجه ریزش و پوشش سطح را بهبود می بخشد .

**خواص مورد نیاز :**

- ۱ - باسانی روی سطح پاشیده شود بطوریکه تمام سطح کار را خیس نماید .
- ۲ - یکنواخت پاشیده شوند و ذرات تجمع ناخواسته نداشته باشند .
- ۳ - در زمان پاشیدن تولیدکف و حباب نکند .
- ۴ - اثر خوردنگی سطح نداشته باشد. اساساً استفاده از مواد آبدار برای سطوح حساس به خوردنگی توصیه نمی شود، مگر آنکه پس از آزمایش سطح کاملاً خشک گردد .
- ۵ - از چسبندگی ( Viscosity ) کمی برخوردار باشد .
- ۶ - درجه قلیائی آن محدود باشد ( pH آن از ۱۰/۵ بیشتر نگردد ) .

**وضوح و تباین**

همانطور که گفته شد انواع ذرات آهن پودری و معلق در سیال در دو نوع رنگی و فلورسنتی عرضه می شوند که برای قابل رؤیت نمودن محل تجمع ذرات در سطح قطعات از روش های زیر استفاده می گردد :

در روش ذرات خشک از پودر آهن با رنگی متضاد با رنگ سطح کار استفاده می گردد .  
 در نوع سیال رنگی، قبل از ایجاد میدان، سطح کار با رنگ سفید ( زمینه ) پوشانده می شود.  
 در نوع فلورسنسی، ذرات آغشته به ماده فلورسنسی هستند و تجمع چنین ذراتی در زیر نور ماوراء بنفش به رنگ بنفش قابل رؤیت خواهد بود .

### ویژگی مواد فلورسنسی

ذرات فرومغناطیس فلورسنسی که برای آزمایش ذرات مغناطیسی بکار می روند رنگ زرد متمایل به سبز دارند که ذرات آهن در یک کارآزمایشگاهی و توسط سازنده به ماده فلورسنسی آغشته می گردد. اندازه دانه های ذرات فلورسنسی حدود ۱۰ میکرون می باشد که با داشتن خاصیت رنگ بنفش، فقط در تاریکی ( Shadow ) و با نور چراغ ماوراء بنفش قابل رؤیت خواهند بود .

### برتری روش فلورسنت :

- ۱ - برای آزمایش قطعاتی با شکل هندسی مرکب و غیر مسطح مانند اتصالات پیچ و مهره ، فنرها و نظایر آن از روش فلورسنسی استفاده می گردد .
- توضیح :** در صورت استفاده از ذرات معلق در سیال رنگی، برداشتن ماده رنگی زمینه از لای درزها و تمیز نمودن قطعات مرکب پرهزینه و مشکل خواهد بود .
- ۲ - توانائی آشکارسازی عیوب بسیار ریز و کم عمق را دارد .
- ۳ - سرعت آزمایش با مواد فلورسنسی در مقایسه با روش های دیگر بسیار بالاتر است .
- ۴ - چون ماده فلورسنت بی رنگ است، هزینه تمیز نمودن محیط کار و قطعات در مقایسه با سیال حاوی ذرات رنگی بسیار کمتر است .
- ۵ - در روش غوطه وری و آزمایش قطعات متنوع در آزمایشگاه ، فقط مواد سیال فلورسنسی مناسب می باشند. قطعات پس از غوطه ور شدن در سیال فلورسنسی، بدون عملیات دیگری در اطاق تاریک که مجهز به نور ماوراء بنفش است بازرسی می گردند .

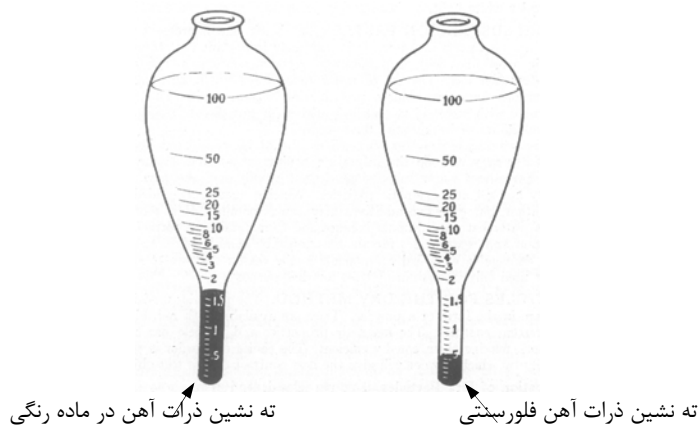
**یادآوری :** آزمایش با مواد فلورسنسی در نور روز و روشنائی غیرممکن است لذا در زمان آزمایش باید از نور و مکان تاریک و از نور ماوراء بنفش استفاده شود .

آزمایش کیفیت سیال

اصولاً ذرات آهن بدلیل سنگینی تمایل به ته نشینی دارند و از این خاصیت برای تعیین درجه غلظت ذرات معلق در سیال استفاده می گردد. برای این منظور، نمونه ای از سیال مورد استفاده را در ظرف رسوبگیر مدرجی ریخته و مقدار رسوب اندازه گیری می شود.

**مراحل آزمایش :**

- ۱ - ظرف رسوب گیر شیشه ای مخصوصی<sup>۱</sup> مطابق شکل ۷-۱ با ظرفیت ۱۰۰ میلی لیتر و مدرج آماده گردد.
- ۲ - سیال حاوی ذرات، قبل از ریختن در ظرف رسوبگیر، بخوبی هم زده شود و پس از تعلیق کامل ذرات، بخشی از آن مشابه روش استفاده ( فشار پاشیدن سیال ) در زمان آزمایش در ظرف مدرج ریخته شود .
- ۳ - پس از گذشت ۳۰ دقیقه مقدار رسوب از روی درجه خوانده شود . مقدار رسوب برای آزمایش ذرات مغناطیسی باید شرایط زیر را دارا باشد :  
 الف - ماده رنگی ( غیرفلورسنسی ) حداقل ۱/۵ در صد و حداکثر ۲/۵ در صد مجاز است .  
 ب - مواد فلورسنسی حداقل ۰/۱ در صد و حداکثر ۰/۴ در صد مجاز می باشد .



شکل ۷-۱

۱ - Pear Shaped Centrifuge



## بخش دوم

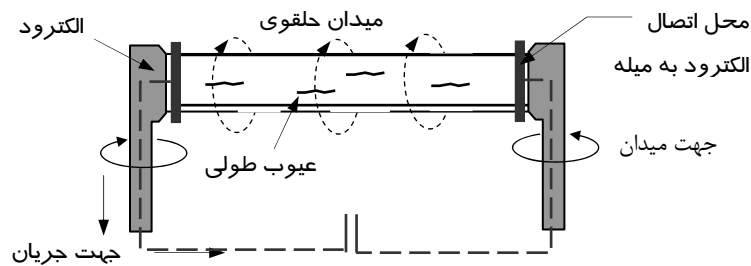
### تکنیک ها و روشهای آزمایش

بطوریکه قبلاً اشاره شد، وقتی قطعه ای در یک میدان مغناطیسی قرار گیرد، تحت اثر شدت و نیروی میدان، قطعه نیز خاصیت آهنربائی پیدا می کند و خطوطی مشابه با خطوط میدان در قطعه جریان می یابد. چنانچه در قطعه ناپیوستگی وجود داشته باشد، موجب نشت خطوط میدان شده و با تجمع موضعی ذرات آهن، ناپیوستگی آشکار می گردد. آنچه در این بخش شرح داده می شود، انواع تکنیک هائی است که چنین خاصیتی را در قطعات بوجود می آورند.

### انواع تکنیک ها

#### ۱ - تکنیک محوری ( Bar Magnetism )

این روش مخصوص آزمایش قطعات یک تکه و توپر می باشد که با قرار گرفتن در مسیر جریان الکتریکی، هادی جریان شده و میدان های حلقوی پیرامون آن شکل می گیرند.



شکل ۲-۱

بطوریکه در شکل ۱-۲ دیده می شود، یک قطعه میله ای در مسیر عبور جریان و بین دو الکتروود دستگاہ بسته شده است . جریان الکتریکی از یک الکتروود وارد قطعه شده و پس از عبور از درون قطعه به الکتروود گیرنده می رسد . در نتیجه عبور جریان از درون قطعه، میدان های مغناطیس حلقوی در اطراف قطعه بوجود می آیند.

پس از برقراری جریان و پاشیدن ذرات آهن روی قطعه، عیوب ( طولی ) که خطوط میدان را قطع نمایند آشکار می گردند .

در این روش شدت جریان در حدی انتخاب می گردد که موجب گرمای شدید در محل اتصال الکتروودها نگردد و اتصال نیز بطور کامل انجام گرفته باشد.

بطور تجربی شدت جریان متناوب برای سطح مقطعی به قطر ۱۰ میلی متر معادل ۲۰۰ آمپر و با جریان مستقیم معادل ۲۸۰ آمپر مناسب می باشد. البته شکل هندسی سطح مقطع قطعه و یکنواختی آن در مقدار شدت جریان تأثیر می گذارد.

#### نکته مهم :

اصولاً نشت خطوط میدان زمانی رخ می دهد که یک ناپیوستگی در جهتی عمودی خطوط میدان را قطع نمایند . بنابراین عیوبی که هم راستا با خطوط میدان باشند تأثیری در نشت خطوط میدان ندارند. حداکثر زاویه عیوب قابل آشکارسازی نسبت به خطوط میدان مغناطیسی ۶۰ درجه می باشد.

#### ۲ - تکنیک محورهای ( Threader Bar Technique )

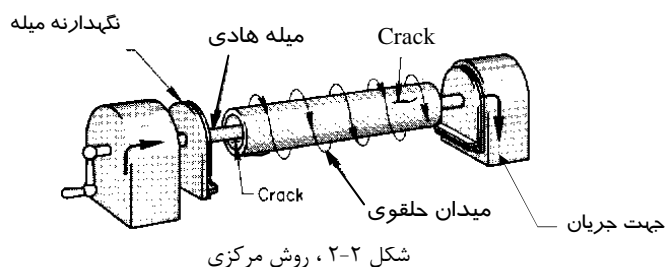
در این روش از یک میله بعنوان هادی جریان الکتریکی استفاده می شود که قطعات تو خالی با قرار گرفتن روی این میله مورد آزمایش قرار می گیرند . در زمان آزمایش، با عبور جریان الکتریکی از میله، میدان های حلقوی پیرامون میله و قطعات بوجود می آیند .

این تکنیک در کارخانه های تولیدی و برای آزمایش قطعات متنوع روش بسیار مناسبی بشمار می آید. اغلب آزمایش ها در شرایط نور ماوراء بنفش و با روش غوطه وری در ماده فلورسنت انجام می گیرد. با این تکنیک عیوب سطوح داخلی و بیرونی قطعات که خطوط میدان را قطع کنند، همزمان قابل آشکارسازی خواهند بود .

انتخاب شدت جریان برای قطعاتی که با این روش آزمایش می گردند به دو عامل مرکزی و غیرمرکزی بودن قطعات بستگی دارد .

## الف - روش محور مرکزی ( Central Conductor )

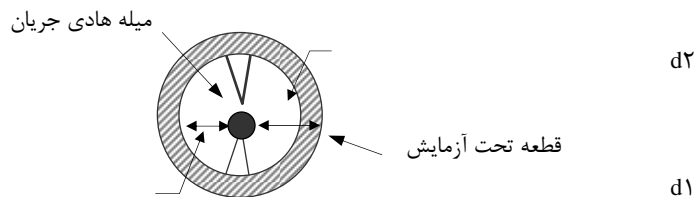
در شکل ۲-۲، یک دستگاه آزمایش ذرات مغناطیسی تکنیک محور مرکزی مشاهده می گردد در این تکنیک، میله ای که از اجزاء اصلی دستگاه محسوب می باشد، از درون قطعات عبور نموده و جریان برق هم زمان از درون میله و درون قطعات عبور می نماید . چنانچه میله هادی طوری طراحی شده باشد که از مرکز قطعات مورد آزمایش عبور نماید، شدت جریان متناوب برای هر ۱۰ میلی متر فاصله بین سطح خارجی میله و سطح داخلی قطعه حداقل ۲۰۰ آمپر خواهد بود ( شکل ۲-۲ ) .



در این روش نگهدارنده مخصوصی مانند گیره داخلی ( Internal Clamps ) قطعات را به حالت مرکزی ثابت نگاه می دارد بطوریکه قطعات با شعاع معینی از میله هادی فاصله دارند و شدت جریان متناسب با  $d_1$  و  $d_2$  انتخاب می گردد ( شکل ۲-۳ ) .

$$d_1 = 10 \text{ mm}, d_2 < 50 \text{ mm} \Rightarrow \text{AC} - 200 \text{ Amps.} \quad \text{DC} - 280 \text{ Amps.}$$

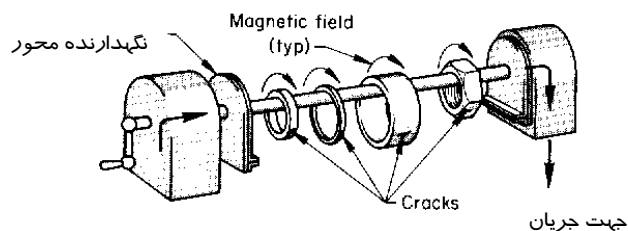
$$d_1 = 40 \text{ mm}, d_2 < 50 \text{ mm} \Rightarrow \text{AC} - 1000 \text{ Amps} \quad \text{DC} - 1100 \text{ Amps.}$$



شکل ۲-۳

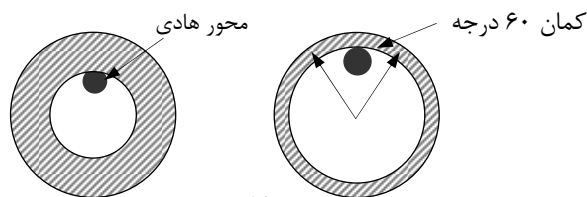
## ب- روش غیرمرکزی ( Non Central Conductor )

در این روش قطعات بدون نگهدارنده میانی روی سطح بالای میله هادی ( خارج از مرکز ) سوار می شوند، لذا هیچگاه میدان مغناطیسی یکنواختی به قطعات نمی رسد ( شکل ۲-۴ ) .



شکل ۲-۴

در شکل ۲-۴، قطعات خارج از مرکز روی میله هادی تکیه داده اند در چنین حالتی چنانچه قطعات حرکت دورانی داشته باشند، آشکارسازی عیوب در تمام نقاط بخوبی انجام می گیرد. در این روش نیز شدت جریان بر اساس فاصله بین سطح خارجی میله و سطح داخلی قطعات در چند مرحله بطور جداگانه محاسبه می شود. شدت جریان با انواع جریان ها در روش محور هادی غیرمرکزی برای هر کمان ۶۰ درجه بشرح زیر می باشد: ( شکل ۲-۵ ) .

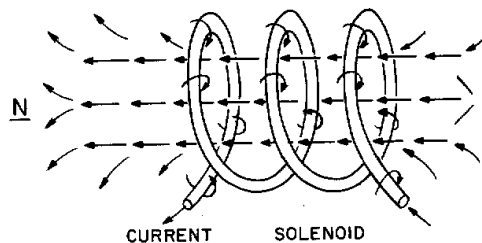


شکل ۲-۵

- با جریان متناوب یکسو شده کامل ( FW-REC. AC ) حداقل ۲۰۰ آمپر .
- با جریان متناوب نیم سو شده ( HW - REC. AC ) حداقل ۱۴۰ آمپر .
- با جریان متناوب ( AC ) حداقل ۲۰۰ آمپر .

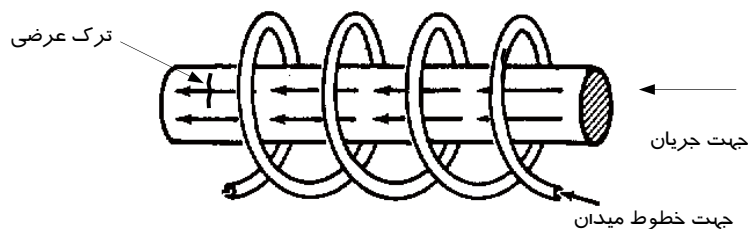
## ۳ - تکنیک سیم پیچ ( Coil Method )

**القاء مغناطیسی :** چنانچه از سیم پیچی جریان الکتریکی عبور نماید، درون سیم پیچ میدان مغناطیسی القائی شکل می گیرد که خطوط میدان در فضای میانی سیم پیچ همجهت با جریان الکتریکی دروی سیم پیچ خواهد بود. بطوریکه در شکل ۶-۲ دیده می شود علاوه بر خطوط میدان مرکزی، میدان های حلقوی نیز پیرامون سیم بوجود آمده اند.



شکل ۶-۲

در چنین حالتی اگر قطعه ای از جنس فرومغناطیس درون سیم پیچ قرار گیرد، خطوط میدان طولی در قطعه بوجود می آیند که ناپیوستگی های عرضی را قطع می نماید. از این روش برای آزمایش و آشکار سازی عیوب محیطی و عرضی ( Transverse ) در انواع قطعاتی خصوصاً قطعات استوانه ای استفاده می گردد .



شکل ۷-۲

روش آزمایش

در این روش یک کابل با ضخامت و طول معین (مانند کابل جوشکاری) به دور قطعه مورد آزمایش پیچیده می شود و جریانی متناسب با تعداد دور، قطر و طول سیم پیچ از درون آن می گذرد. با پاشیدن پودر آهن روی قطعه، عیوب عرضی قطعه نمایان خواهند شد.

دستگاه مولد جریان برای سیم پیچ دارای سیستم تنظیم شدت جریان و نوع جریان (متناوب یکسو شده و مستقیم) می باشد.

در شکل ۸-۲ یک نمونه از دستگاه آزمایش با تکنیک کویل مشاهده می گردد. این نوع دستگاه به دلیل داشتن ترانسفرهای بزرگ قادر به ایجاد شدت جریانی تا ۲۰۰۰ آمپر است اما به دلیل سنگینی معمولاً روی گاری چرخدار تعبیه و حمل می گردد.

سیم پیچ ها در دو حالت ثابت (Fixed Coil) و یا قابل انعطاف (Flexible Coil) ساخته و استفاده می گردند که در هر دو حالت نسبت طول سیم پیچ به قطر آن در محاسبه شدت جریان تأثیر می گذارد.

حداکثر طول قابل آزمایش با سیم پیچ می تواند ۴۵ سانتی متر باشد.



شکل ۸-۲

## محاسبه شدت جریان

اگر چه فاصله بین سطح خارجی قطعه مورد آزمایش تا سطح داخل کویل ( Fill Factor ) نقش مؤثری در شدت جریان دارد اما رابطه ۲-۱، با تفاوت مختصری جوابگوی شدت جریان مناسب برای تکنیک کویل می باشد .

$$AN = X.D \quad \text{رابطه ۲-۱}$$

L

AN - آمپر دور ( شدت جریان در تعداد دورها )

X - ضریب ثابت جریان

ضریب ثابت برای جریان متناوب ۲۲۰۰۰، جریان مستقیم ۳۲۰۰۰ و یکسو شده ۱۱۰۰۰ .

D - قطر ( سانتی متر یا اینچ ) :

برای سیم پیچ ثابت قطر کویل و برای سیم پیچ قابل انعطاف قطر قطعه مورد آزمایش در محاسبه منظور می شود.

L - طول کویل ( سانتی متر یا اینچ ) :

**توضیح :** برای قطعاتی که نسبت طول به قطر آنها (L/D)، کمتر از ۱۵ باشد، طول قطعه در رابطه قرار می گیرد و برای قطعاتی که نسبت L/D آنها بیشتر از ۱۵ گردد، محدوده مؤثر کویل ( Effective Length ) در رابطه منظور می گردد .

**مثال :** میله ای به طول ۳۸ و قطر ۲/۵ اینچ با تکنیک کویل ثابت ( Fixed Coil ) مورد آزمایش قرار گرفته است . قطر سیم پیچ ۶ اینچ و تعداد دورهای آن ۵ می باشد شدت جریان متناوب مورد نیاز برای آزمایش را محاسبه می کنیم

$$AN = X . D$$

L

$$N = 5 \quad X = 22000 \quad D = 6 \text{ in ( Fixed Coil )} \quad L = 38 \text{ in} \quad A = ?$$

$$AN = 22000 \times 6 \quad AN = 3474 \quad \Rightarrow \quad N = 695 \text{ Amps}$$

۳۸

توضیح : در بعضی استانداردها، روشهای متفاوتی را توصیه می کنند که تقریباً از رابطه فوق پیروی می شود اما بجای ضریب ثابت جریان، عدد معینی را در رابطه قرار می دهند . مثلاً در استاندارد ASME SEC.V دو رابطه ۲-۲ و ۲-۳ توصیه شده است :

الف - برای حالتی که  $L/D > 4$  :

$$\text{رابطه ۲-۲} \quad AN = 35000$$

$$L/D + 2$$

ب - برای حالتی که  $L/D < 4$  :

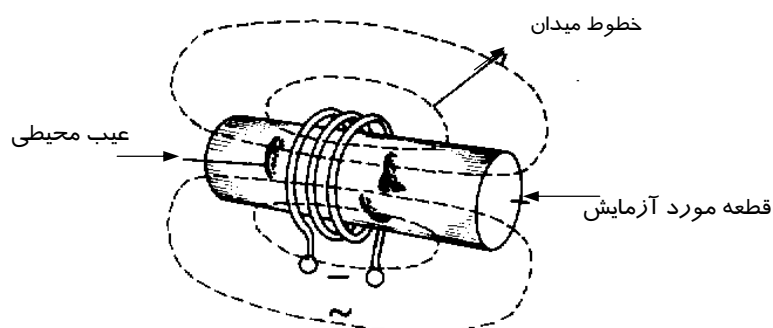
$$\text{رابطه ۲-۳} \quad AN = 4500$$

$$L/D$$

در شکل های ۲-۹ و ۲-۱۰، دو نوع آهنربای کویلی با قطر ثابت دیده می شوند که برای قطعاتی با ابعاد معین کاربرد دارند. کار با این نوع کویل ها به مراتب آسانتر و دقت آزمایش بالاتر است و معمولاً در کارخانه ها و در بازرسی های قطعات مشابه از این نوع کویل ها استفاده می گردد.



شکل ۲-۹



شکل ۲-۱۰

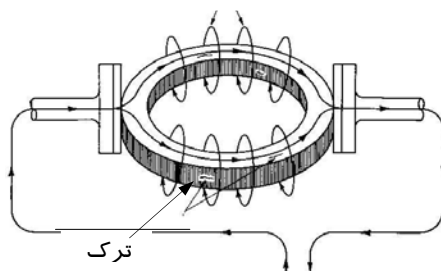
در شکل ۲-۱۰، یک قطعه با روش کویل ثابت مورد آزمایش قرار گرفته است و عیوب محیطی در جهت عمود بر خطوط میدان آشکار شده اند.



## ۴ - تکنیک حلقوی ( Magnetic Ring )

این تکنیک مخصوص آزمایش قطعات حلقه ای شکل در کارخانه های تولیدی و مشابه سازی می باشد در این روش جریان الکتریکی از یک الکتروود وارد حلقه شده و از الکتروود ثانویه خارج می گردد . در نتیجه عبور جریان الکتریکی از بدنه حلقه، خطوط دایره ای شکلی پیرامون بدنه محیطی تشکیل می گردند و عیوب متقاطع با چنین میدان های حلقوی آشکار خواهند شد ( شکل ۲-۱۱ ) .

میدان های حلقوی

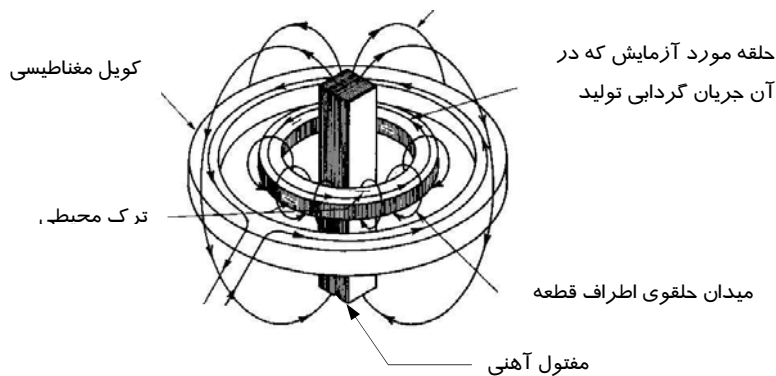


شکل ۲-۱۱

## ۵ - میدان القایی ( Induce Fluxing )

در این تکنیک قطعات بدون تماس مستقیم با جریان الکتریکی و از طریق القاء مغناطیسی خاصیت آهنربائی پیدا می کنند و خطوط میدان در آنها تشکیل می گردد ( شکل ۲-۱۲ ) .

میدان مغناطیسی اولیه

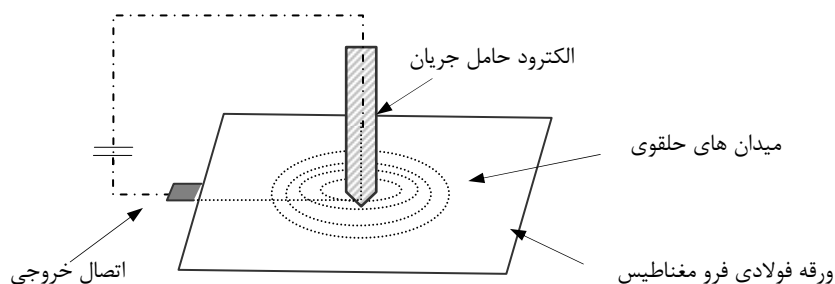


شکل ۲-۱۲

در روش القائی، یک مفتول آهنی از درون سیم پیچی (بویین) که حامل جریان الکتریکی است عبور می نماید. در نتیجه عبور مفتول از میان سیم پیچ، میدانی مغناطیسی اولیه بین دو سر مفتول بوجود می آید که باعث تولید جریان گردابی در قطعه خواهد شد، در نتیجه قطعه القاء مغناطیسی شده و خطوط حلقوی ثانویه ای پیرامون آن تولید می گردند. در این روش فقط عیوب محیطی قابل آشکارسازی می باشند.

### ۶ - روش الکترودی (Prod Method)

چنانچه از یک هادی فرومغناطیس جریان الکتریسیته عبور نماید در اطراف هادی میدان های حلقوی بوجود می آیند. از چنین خاصیتی برای تولید میدان های حلقوی و آزمایش ذرات مغناطیسی با روش الکترودی استفاده می گردد.



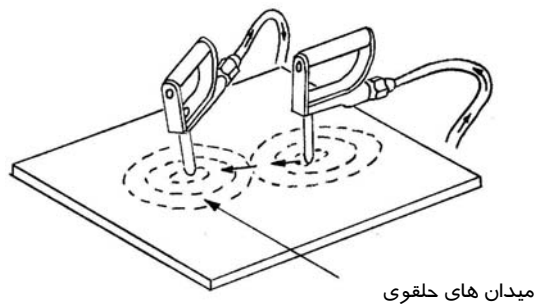
شکل ۱۳-۲

بطوریکه در شکل ۱۳-۲ دیده می شود، یک هادی جریان برق روی قطعه ای از جنس فرومغناطیس قرار گرفته و در اطراف خود میدان های مغناطیسی حلقوی بوجود آورده است. برقراری مدار برای عبور جریان از طریق اتصال خروجی انجام می گیرد.

### روش آزمایش :

در این تکنیک از دو الکتروود جداگانه بصورت فرستنده و گیرنده جریان استفاده می گردد و شرط برقراری جریان، اتصال کامل الکتروودها بر روی سطح کار می باشد (شکل ۱۴-۲).

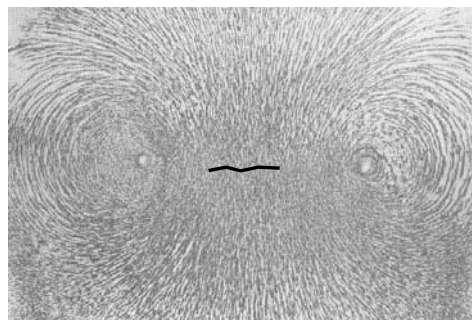
هر الکتروود بوسیله کابل ضخیمی (مانند کابل جوشکاری) بطور مجزا در محل اتصال جریان مستقیم و یا متناوب به دستگاه مولد جریان وصل می‌گردد. پس از انتخاب شدت و نوع جریان، الکتروودها مانند شکل ۱۴-۲ روی قطعه مورد آزمایش قرار می‌گیرند. در این حالت باید اتصال کاملی بین الکتروودها و قطعه برقرار شده باشد.



شکل ۱۴-۲

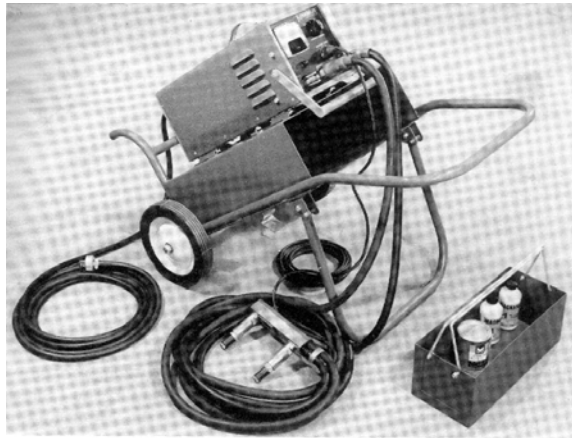
جریان از الکتروود ورودی در قطعه وارد شده و الکترون‌ها جریان را به سمت الکتروود گیرنده (خروجی) هدایت می‌کنند. بنابراین هر الکتروود مانند یک سیم هادی جریان برق عمل می‌کند و میدان‌های حلقوی مجزائی پیرامون خود تشکیل می‌دهد.

در این تکنیک، عیوبی قابل آشکار خواهند بود که در فاصله بین دو الکتروود خطوط حلقوی بین میدان‌ها را بطور عمودی قطع نمایند. در چنین حالتی با پاشیدن ذرات آهن، عیب آشکار می‌گردد (شکل ۱۵-۲).



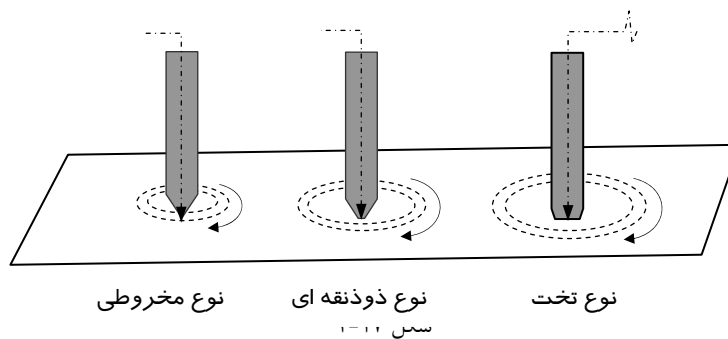
شکل ۱۵-۲

دستگاه مولد جریان برای تکنیک الکترودی مانند دستگاه تکنیک کویلی از حجم و وزن نسبتاً زیادی برخوردار است و با گاری ( Mobile ) حمل می گردد ( شکل ۱۶-۲ ) . این تکنیک قویترین میدان های مغناطیسی را برای آزمایش ذرات مغناطیسی بوجود می آورد و عیوب سطحی و زیر سطحی ( Subsurface ) را تا عمق ۸ میلی متر آشکار می سازد .



شکل ۱۶-۲

جنس الکتروود و سطح مقطع تماس آن از مهمترین عوامل در عمق نفوذ مغناطیسی در قطعات می باشد . الکتروودها اغلب از جنس مس، آلومینیوم، فولاد، سرب خشک و در اشکال هندسی متفاوتی ساخته می شوند ( شکل ۱۷-۲ ) .



نوع مخروطی

نوع ذوزنقه ای  
سس ۱-۱۱

نوع تخت

**نکات مهم :**

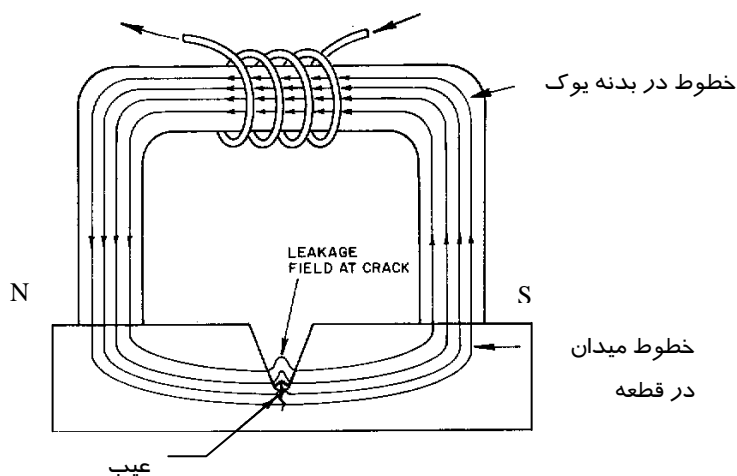
- ۱ - در این تکنیک سطح کار باید کاملاً عاری از هرگونه عایق جریان الکتریکی نظیر رنگ، و مواد چرب باشد. بنابراین در این روش از ماده رنگی سفید استفاده نمی شود مگر آنکه نقطه اتصال بدون رنگ باشد. بعلاوه زنگ زدگی سطح قطعات باید با سمباده برطرف گردد.
- ۲ - در زمان اتصال الکتروود روی سطح کار، هرگونه لرزش، لغزش و تکان خوردن الکتروود موجب جرقه ( Sparking ) و بروز ترکهای ستاره ای می گردد. اتصال الکتروودها باید با دقت کافی و همزمان انجام گیرد.
- ۳ - طولانی شدن زمان اتصال ممکن است موجب گرم شدن و یا سوختن نقطه تماس گردد لذا حتی الامکان اتصال در کوتاهترین زمان انجام گیرد.
- ۴ - استفاده از این روش در اماکن آلوده به گاز مانند واحدهای نفت و گاز بسیار خطرناک خواهد بود.
- ۵ - با توجه به احتمال جرقه، از این تکنیک برای آزمایش قطعات ظریف و حساس استفاده نمی گردد. البته می توان با قرار دادن صفحات نازک مسی ( Shim ) از بروز اثر جرقه روی قطعات پیشگیری نمود اما در هر حال سطح قطعه کدر خواهد شد.
- ۶ - با این تکنیک عیوبی قابل آشکار خواهند بود که خطوط میدان های حلقوی پیرامون دو الکتروود را قطع نمایند ( شکل ۱۵-۲ ).
- ۷ - انتخاب شدت جریان به جنس قطعه مورد آزمایش، نوع جریان و فاصله بین الکتروودها بستگی دارد. معمولاً برای هر ۲۵ میلی متر فاصله بین دو الکتروود و آزمایش روی فولادهای کربنی ساده و کم آلیاژی حدود ۱۰۰ آمپر کافی می باشد. حداقل فاصله بین الکتروودها نباید از ۸۰ میلی متر کمتر گردد.
- ۸ - فاصله بین دو الکتروود به ضخامت و جنس قطعه کار، شدت جریان و جنس الکتروود دارد و باید در حدی باشد که خطوط میدان مؤثر از هر الکتروود ناپیوستگی را قطع نمایند. بطور تجربی فاصله بین دو الکتروود برای نرم مغناطیس ها حداکثر ۲۰ سانتی متر می باشد.
- ۱۰ - هر چه نوک الکتروود تیزتر باشد احتمال جرقه بیشتر و هر چه نوک الکتروود تخت تر باشد گرمای بیشتری هدر خواهد رفت.
- ۱۱ - برای اتصال مناسب باید نوک الکتروودها عاری از اکسید و آلودگی باشد.

## ۷ - تکنیک دو قطبی ( Yoke Technique )

همانطور که در بخش یک شرح داده شد، یکی از روش های آزمایش ذرات مغناطیسی استفاده از آهنربای دائمی نعلی شکل بود که با قرار گرفتن روی قطعات، خطوط میدان بین دو قطب آن شکل می گرفت. بطور کلی ایجاد میدان مغناطیسی با آهنربای دو قطبی از نوع آهنربای دائمی و یا الکتریکی را تکنیک یوک ( Yoke ) می گویند و برای سهولت تکرار این تکنیک نام یوک را برای آزمایش میدان های دو قطبی بکار خواهیم برد.

تکنیک یوک و ایجاد میدان های دو قطبی با جریان الکتریکی از متداول ترین روش آزمایش ذرات مغناطیسی می باشد که از طریق القاء مغناطیسی توسط یک سیم پیچ در وسیله ای شبیه به یوغ بوجود می آید.

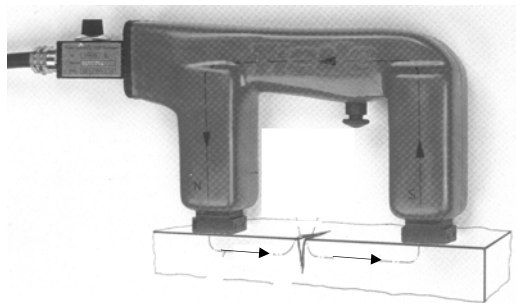
چنانچه میله ای از درون یک سیم پیچ عبور نماید، میدان هائی با خطوط طولی در میله تشکیل می شوند و اگر دو سر میله مانند یوغ خم گردد، خطوط میدان با همان ماهیت در دو ساق یوغ تولید خواهند شد.



شکل ۲-۱۸

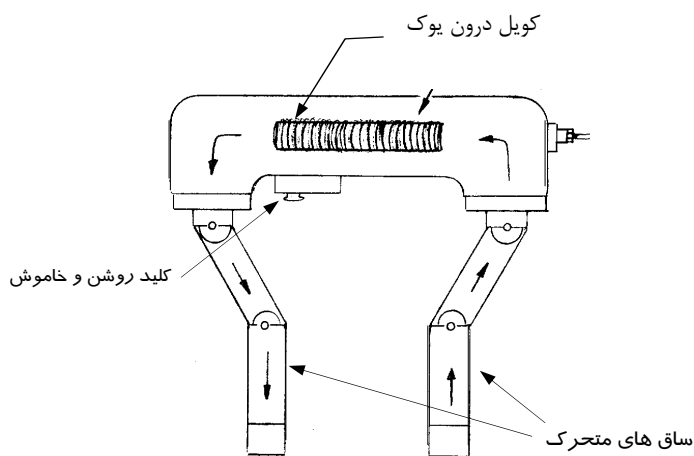
در شکل ۲-۱۸ شماتیک یک دستگاه یوک دیده می شود که در نتیجه القاء مغناطیسی توسط سیم پیچ، خطوط میدان طولی در دوساق دستگاه بوجود آمده و با همان ماهیت و خاصیت دو قطبی وارد قطعه شده اند.

در دستگاه های تکنیک یوک، سیم پیچ در بدنه یوک جاسازی شده و برقراری جریان بوسیله کلید خاموش و روشن دستگاه انجام می گیرد. پس از فشار کلید جریان الکتریکی وارد سیم پیچ شده و خطوط میدان مغناطیسی در دو ساق دستگاه تولید می شود که جهت خطوط از سمت N (شمال) به سمت S (جنوب) خواهد بود.



شکل ۲-۱۹

در شکل ۲-۱۹ یک دستگاه آهنربای یوک با ساق های ثابت دیده می شود که سیم پیچ و مدار الکتریکی آن کاملاً ایزوله شده و به آسانی قابل استفاده با دست می باشد.



شکل ۲-۲۰

در شکل ۲۰-۲ یک دستگاه یوک با ساق‌های قابل باز و بست مشاهده می‌گردد که دو ساق آن مطابق با سطح تماس قابل انعطاف بوده و برای آزمایش قطعات غیرتخت و مرکب کاربرد گسترده‌ای دارد.

### برتری‌های تکنیک یوک

در این تکنیک جریان الکتریکی فقط در مدار سیم پیچ فعال خواهد بود و آنچه در سطح قطعه عمل می‌کند میدان مغناطیسی القاء شده‌ای است که بجز آهنربا نمودن سطح قطعه مورد آزمایش، اثر دیگری در قطعه ندارد بنابراین با این تکنیک هیچگونه احتمالی برای جرقه و تولید گرما وجود نخواهد داشت.

### نوع جریان

دستگاه‌های تکنیک یوک با هر دو جریان متناوب و مستقیم ساخته می‌شوند بنابراین هر دستگاه یوک جریان متناوب از دو قسمت ترانسفرمر و آهنربای الکتریکی و دستگاه جریان مستقیم از دو قسمت ترانس با یکسو کننده و آهنربای الکتریکی تشکیل شده است.

دستگاه یوک با جریان مستقیم میدان قویتری می‌سازد و قادر به آشکارسازی عیوبی تا عمق ۶ میلی‌متر می‌باشد.

### آزمایش قدرت میدان

یکی از فاکتورهای مهم در کاربرد دستگاه یوک، قدرت میدان مغناطیسی برای آشکار نمودن عیوب است که با روش بلند کردن وزنه (ورق فولادی) آزمایش می‌شوند.

طبق استاندارد ASTM E ۷۰۹، یک دستگاه یوک با جریان متناوب باید وزنه ۴/۵ کیلوئی و با جریان مستقیم وزنه ۱۸ کیلوئی را بلند نماید.



## بخش سوم

### روش های آزمایش

همانطور که در معرفی کلیات روش ذرات مغناطیسی (بخش یک) شرح داده شد، فرآیند آزمایش در سه مرحله ایجاد میدان مغناطیسی، پاشیدن ذرات آهن و تفسیر علائم خلاصه گردید اما عوامل و جزئیات مؤثر در اجرای هرآزمایش ذرات مغناطیسی را می توان به سه گروه زیر تقسیم نمود:

#### الف - ویژگی قطعات:

- مغناطیس پذیری و شکل هندسی قطعات مورد آزمایش.
- درجه حساسیت عیب یابی (عیوب سطحی و زیرسطحی) و نوع عیوب احتمالی.
- حساسیت سطوح قطعات، اثر جرقه و یا خراش برای سرویس دهی قطعات.
- قابلیت دسترسی و امکان برقراری میدان
- تأثیر پسماندهای مغناطیسی برای کاربرد قطعات پس از آزمایش و زمان سرویس.

#### ب - تکنیک های آزمایش:

- نوع دستگاه، تکنیک آزمایش و روش ایجاد میدان مغناطیسی.
- نوع جریان شامل متناوب، مستقیم، یکسو شده و همچنین جهت خطوط میدان مغناطیسی.
- نوع ذرات آهن (پودر خشک رنگی، پودر سیال رنگی و یا پودر سیال فلورسنتی)
- نوع رنگ زمینه (تباين ذرات با سطح کار، رنگی یا فلورسنتی)

#### ج - پسماندها

- روش های برطرف نمودن پسماندهای مغناطیسی و تکنیک های مغناطیس زدائی.
- روش برطرف نمودن آثار بجا مانده از مواد در سطح قطعات آزمایش شده.

بمنظور روشنتر شدن نقش عوامل فوق، جزئیات یک نمونه از روش آزمایش ذرات مغناطیسی با مقدمات زیر شرح داده می شود.

#### مقدمات آزمایش :

- ۱ - یک اتصال جوش از جنس فولاد کربنی ساده مورد آزمایش قرار می گیرد .
  - ۲ - دستگاه آزمایش از نوع یوک با جریان متناوب می باشد .
  - ۳ - نوع ذرات آهن بصورت قوطی اسپری ذرات سیاه رنگ معلق در سیال است .
  - ۴ - رنگ زمینه از نوع قوطی اسپری سفید می باشد.
- تکان دادن قوطی اسپری ذرات سیاه و قوطی اسپری رنگ سفید قبل از آزمایش کاملاً ضروری می باشد .

#### مراحل آزمایش :

- ۱- تمیز نمودن  
بدلیل اثر نامطلوب رطوبت و مواد روغنی روی ماده سفید رنگ زمینه، سطح روی جوش باید کاملاً تمیز و خشک گردد .
- ۲ - رنگ زمینه  
پس از خشک نمودن سطح، با استفاده از اسپری رنگ سفید، سطح کار بطور یکنواخت و با کمترین ضخامت سفید می گردد .
- ۳ - خشک نمودن  
مدت زمان خشک شدن رنگ به جنس رنگ و رطوبت محیط کار بستگی دارد .
- ۴ - ایجاد میدان  
پس از قرار دادن دو قطب دستگاه یوک روی سطح کار و فشار کلید، جریان در سیستم کوئل دستگاه وارد شده و میدان مغناطیسی در قطعه ایجاد می گردد. معمولاً مدت زمان فشار روی کلید و برقراری جریان بین ۳ تا ۵ ثانیه می باشد .
- ۵ - پاشیدن ذرات آهن  
پس از اولین لحظات برقراری میدان، ذرات سیاه رنگ ( اسپری ) روی سطح جوش پاشیده می شود. این عمل با آغشته شدن سطح همراه خواهد بود .

## ۶ - تفسیر نتایج

چنانچه عیبی در سطح قطعه وجود داشته باشد، به رنگ سیاه در زمینه سفید، در سطح کار نمایان خواهد شد. پس از بازرسی نهائی نتایج تفسیر می گردند .

## ۷ - تمیز نمودن نهائی

پس از اتمام آزمایش باید سطح کار به حالت اولیه در آید .

**توضیح:** اگرچه رنگ سفید زمینه از نوع رنگ پلاستیکی و قابل شستشوی با آب می باشد اما برطرف نمودن آن باآسانی انجام نمی گیرد . لذا استفاده از روش فلورسنسی برای قطعاتی که تمیز نمودن الزامی باشد روش مناسبتری بشمار می آید .

## ۸ - مغناطیس زدائی

چنانچه مغناطیس زدائی در روش آزمایش پیش بینی شده باشد، بایدطبق روشی که شرح داده خواهد شد پسماند مغناطیسی قطعه مورد آزمایش برطرف گردد .

مراحل آزمایش با سیال فلورسنسی

روش آزمایش با ذرات معلق در سیال فلورسنسی بلحاظ ایجاد میدان و پاشیدن ذرات مشابه با روش رنگی می باشد و تفاوت عمده آن در نوع زمینه تباین سطح کار و روشنائی محیط آزمایش است . اصولاً مواد فلورسنسی در نور روشن قابل رؤیت نیستند به همین دلیل آزمایش با سیال فلورسنسی در محیط تاریک و در زیر نور ماوراء بنفش انجام می گیرد و لزومی به رنگ زمینه نخواهد بود. ذرات آهن فلورسنسی نیز به دو شکل قوطی های اسپری و فله عرضه می گردند. تکان دادن قوط های اسپری قبل از پاشیدن بسیار اهمیت دارد .

عوامل تأثیرگذار

بطور کلی روش های آزمایش ذرات مغناطیسی از یک قانده مشخصی که شامل ایجاد میدان، پاشیدن ذرات و تفسیر نتایج پیروی می کنند که بسته به نوع تکنیک و ذرات آهن، روش اجرائی آنها متفاوت خواهد بود، اما چند متغیر اساسی به عنوان عوامل تأثیرگذار وجود دارند که به شرح آنها می پردازیم .

### نوع جریان الکتریکی

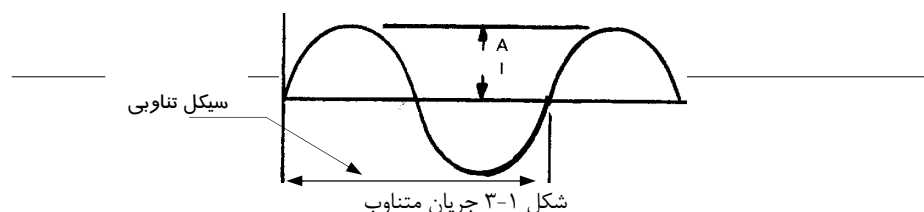
فرآیند آزمایش ذرات مغناطیسی با هر دو جریان متناوب ( AC ) و جریان مستقیم ( DC ) قابل آزمایش است که نوع آن در قدرت، جهت و انتشار خطوط میدان تأثیر می گذارد. میدان مغناطیسی تولید شده با جریان متناوب بدلیل اثر سطح ( Skin Effect ) فقط در عمق بسیار کمی از سطح قطعات نفوذ می کند در حالیکه میدان حاصل از جریان مستقیم در مقطع ضخامت قطعات نفوذ خواهد نمود . بنابراین برای آشکارسازی عیوب زیر سطحی در عمق قطعات فقط از جریان مستقیم استفاده می شود .

### ویژگی جریان متناوب

بطور کلی جریان متناوبی که در تکنیک های آزمایش ذرات مغناطیسی مورد استفاده قرار می گیرد از نوع تک فاز است که معمولاً از طریق یک ترانسفرمر تأمین می گردد.

با جریان متناوب در هر یکصدم ثانیه، جریان در فاز مثبت و در یک صدم ثانیه بعدی جریان در فاز منفی قرار می گیرد و چنین تناوبی موجب محدود شدن خطوط میدان در سطح کار خواهد شد. چنانچه میدان از طریق تماس مستقیم جریان الکتریکی بوجود آید، در صد زیادی از جریان تحت اثر سطح تماس ( Skin Effect ) به هدر خواهد رفت بطوریکه بیش از ۸۰ در صد خطوط میدان در روی سطح کار آرایش می یابند و در صد کمی بدرون قطعات نفوذ خواهند نمود . البته همین اثر موجب برتری جریان متناوب برای آشکارسازی عیوب بسیار ریز و سطحی می باشد. اما متناسب با تناوب جریان، قطعات مورد آزمایش نیز به تناوب خاصیت آهنربائی خود را از دست می دهند . بنابراین در لحظه قطع میدان ممکن است هیچ اثر آهنربائی در قطعه دیده نشود و ترکیب ذرات بهم بخورد .

عمق نفوذ جریان متناوب به جنس قطعات مورد آزمایش و فرکانس جریان بستگی دارد . عمق نفوذ جریان متناوب در فولادهای کربنی بین ۲ تا ۳ میلی متر است .

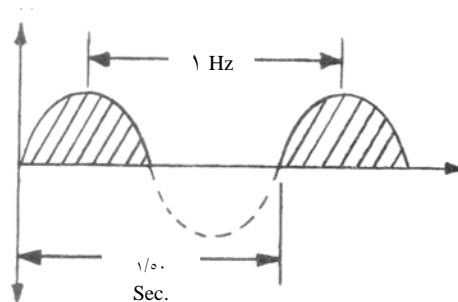


## ویژگی جریان مستقیم

جریان های مستقیم به چند حالت زیر انتشار می یابند :

۱ - جریان یکسو شده نیم موج ( Half Wave Current )

این نوع جریان مستقیم از طریق یکسو سازی و حذف فاز منفی در جریان متناوب تک فاز بوجود می آید. چنین جریانی برای آزمایش ذرات مغناطیسی با تکنیک الکترودی و آشکارسازی عیوب زیر سطحی بسیار مناسب است ( شکل ۲-۳ ) .



شکل ۲-۳، جریان مستقیم نیم موج

ایجاد میدان در فازهای مثبت و خنثی بودن میدان در فازهای منفی، موجب لرزش خفیف ذرات شده و نفوذپذیری خطوط میدان تقویت می شود. جریان مستقیم یکسو شده نیم موج با روش ذرات پودر خشک، عمق نفوذی معادل ۶ میلی متر ( در فولاد کربنی ) بوجود می آورد .

۲ - جریان یکسو شده تمام موج ( Single Phase Full Wave Direct Current )

در این نوع جریان بکمک چند یکسو کننده ، فاز منفی جریان متناوب معکوس شده و در فاز مثبت قرار می گیرد. با چنین جریانی میدان مغناطیسی قویتری بوجود می آید و در نتیجه مدت زمان مغناطیس سازی قطعات کوتاهتر خواهد شد .

۳ - جریان یکسو شده سه فاز

با استفاده از یکسو کننده های مخصوصی، می توان جریان متناوب سه فاز را نیز یکسو نمود با چنین جریان مستقیمی خطوط میدان تا عمق زیادی نفوذ کرده و عیوب زیر سطح را حتی تا عمق ۸ میلی متر آشکار می سازد .

مغناطیس زدائی ( Demagnetisation )

در انواع روشهای آزمایش ذرات مغناطیسی، قطعات با فرارگرفتن در میدان مغناطیسی، بطور موقت خاصیت آهنربائی پیدا می کنند و بکمک همین خاصیت نیز عیوب روی سطوح آشکار می گردند. اما همانطور که قبلاً اشاره شد سخت مغناطیس ها، خاصیت آهنربائی را به آسانی از دست نمی دهند و بخش قابل ملاحظه ای از خاصیت مغناطیسی را در خود حفظ می کنند، از طرفی باقیماندن چنین پسماندهائی می تواند کاربرد بعضی از قطعات را در مکانیزم سرویس دهی با مشکل روبرو سازد .

بطور مثال اگر در قطعه ای از یک پمپ خاصیت آهنربائی باقی مانده باشد، در زمان سرویس عامل جذب ذرات ریز و سرگردان آهن شده و ممکن است پمپ از تراز محوری ( Blance ) خارج گردد . بطور کلی انجام فرایند مغناطیس زدائی برای قطعاتی با مشخصات زیر ضروری می باشد و اغلب استانداردها نیز این عمل را اجباری می دانند :

۱ - قطعاتی که در مجاورت ابزار اندازه گیری الکتریکی قرار می گیرند خصوصاً در صنایع دریائی و کشتیرانی .

۲ - قطعاتی که بعد از آزمایش باید ماشین کاری شوند. تراشه های قطعه مغناطیسی، جذب اجزاء ماشین و قلم تراشکاری شده و به آنها آسیب می رساند .

۳ - قطعاتی که بعد از آزمایش جوشکاری می شوند . پسماندهای مغناطیسی سبب کشش مذاب جوش شده و عیوبی در جوش شکل می گیرد .

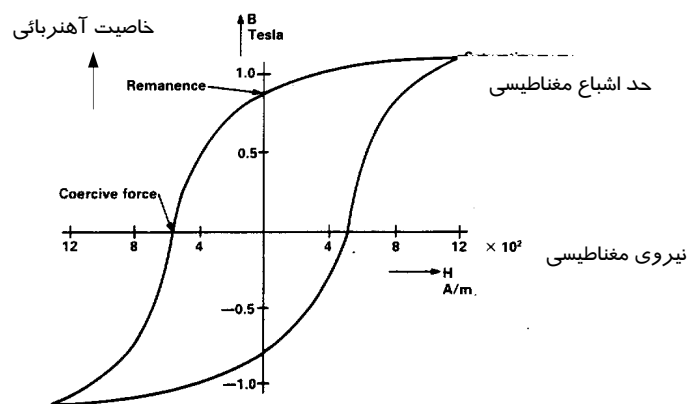
۴ - قطعاتی که ممکن است مجدداً و با نیروی مغناطیسی کمتری آزمایش گردند .

۵ - قطعاتی که در مجاورت یاتاقان ها و اجزاء حساس ماشین آلات قرار می گیرند.

**توضیح :** مواد نرم مغناطیس و قطعاتی که بعد از آزمایش تحت عملیات حرارتی ( تنش زدائی ) قرار می گیرند، لزومی به مغناطیس زدائی ندارند .

نمودار حلقه پسماند ( Hytererssis Loop )

در شکل ۳-۳ نمونه ای از نمودار حلقه پسماند مغناطیسی مشاهده می گردد. محور افقی نشان دهنده نیروی مغناطیسی ، محور عمودی نشان دهنده قابلیت آهنربا شدن قطعات و منحنی حلقه ای، حد تغییرات مغناطیس پذیری را نسبت به شدت میدان نشان می دهد .

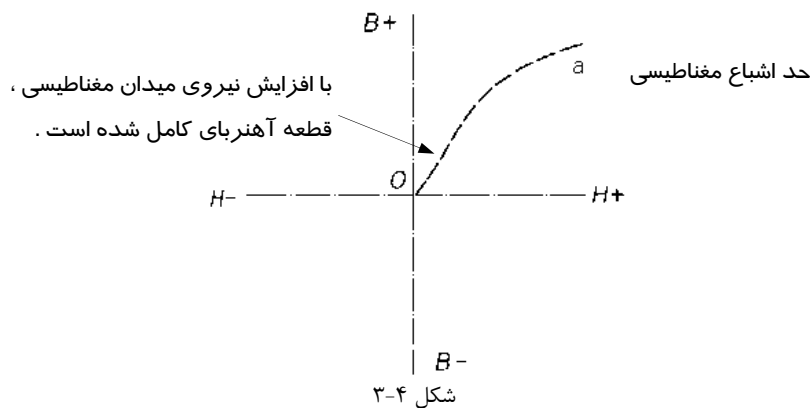


شکل ۳-۳ نمودار حلقه پسماند

رسم حلقه پسماند

هدف از رسم حلقه پسماند، تعیین حد مغناطیس پذیری و حفظ خاصیت مغناطیسی در قطعات مورد آزمایش و همچنین مقدار نیروی لازم برای مغناطیس زدائی در قطعات تحت آزمایش می باشد که طی مراحل زیر انجام می گیرد:

۱ - قطعه مورد آزمایش بین دو قطب آهنربای الکتریکی قرار می گیرد. پس از برقراری میدان مغناطیسی، قطعه به تدریج خاصیت آهنربائی پیدا نموده و در نهایت به حد اشباع مغناطیسی می رسد ( شکل ۳-۴ )

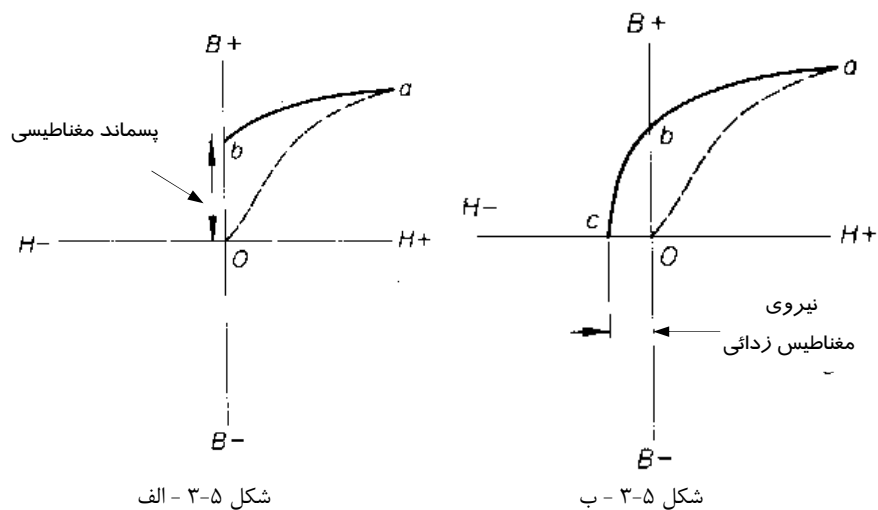


شکل ۳-۴

در حد اشباع مغناطیسی، قطعه تا بی نهایت آهنربا شده و افزایش نیروی میدان مغناطیسی در آن بی اثر است.

۲- پس از مرحله اشباع، میدان مغناطیسی قطع می گردد. در این حالت نیروی میدان صفر شده و قطعه بخشی از خاصیت آهنربائی ( به نسبت جنس ) را از دست می دهد و منحنی آن به نقطه  $b$  می رسد ( شکل ۳-۵ الف ). فاصله  $O$  تا  $b$  پسماند خاصیت آهنربائی در قطعه خواهد بود.

۳- در این مرحله با تعویض جهت جریان، میدانی مخالف میدان اولیه برقرار می گردد در نتیجه معکوس شدن جریان، قطعه خاصیت آهنربائی را بطور کامل از دست خواهد داد و منحنی به نقطه  $c$  می رسد. کمیت  $OC$  اندازه نیروی مخالفی است که برای زداییدن خاصیت آهنربائی قطعه بکار رفته است ( شکل ۳-۵ ب ).



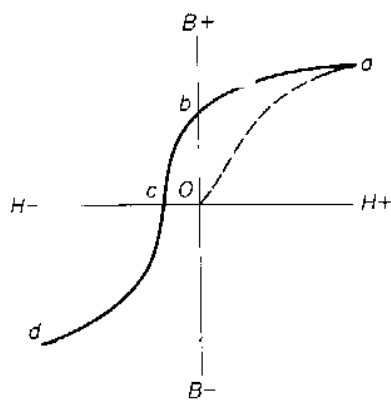
۴- با افزایش نیروی میدان، قطعه بتدریج آهنربا شده و اینبار در جهت معکوس به حد اشباع مغناطیسی مجدد می رسد ( نقطه  $d$  شکل ۳-۶ الف ).

۵- پس از اتمام اشباع مغناطیسی، جریان و میدان مغناطیسی قطع می گردد. با قطع شدن میدان، خاصیت آهنربائی قطعه تا حد  $OE$  افت خواهد داشت و منحنی به نقطه  $e$  می رسد. ( شکل ۳-۶ ب )

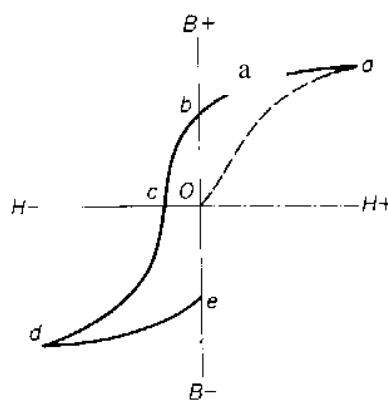


۶ - مجدداً جهت جریان و میدان به حالت اول (مرحله ۱) برمی گردد. در نتیجه اثر میدان معکوس، قطعه باقیمانده خاصیت آهنربائی را نیز از دست خواهد داد و منحنی به نقطه  $f$  خواهد رسید (شکل ۶-۳-ج).

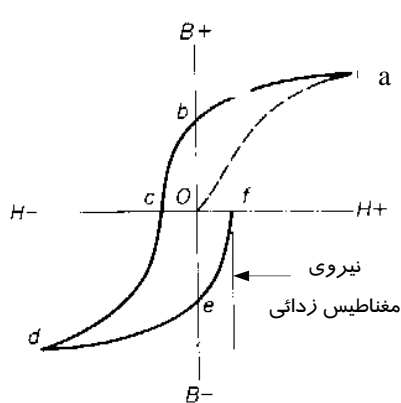
۷ - با افزایش نیروی میدان مغناطیسی، یکبار دیگر قطعه تا حد اشباع اولیه آهنربا می گردد و حلقه پسماند کامل خواهد شد (شکل ۶-۳-د).



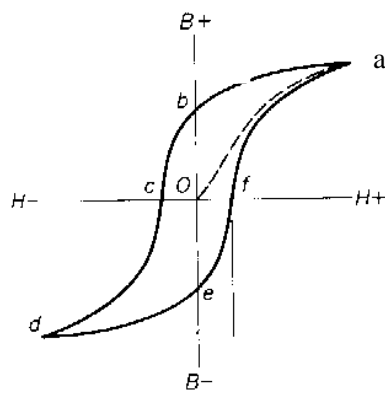
شکل ۶-۳-الف



شکل ۶-۳-ب



شکل ۶-۳-ج



شکل ۶-۳-د

نتیجه گیری :

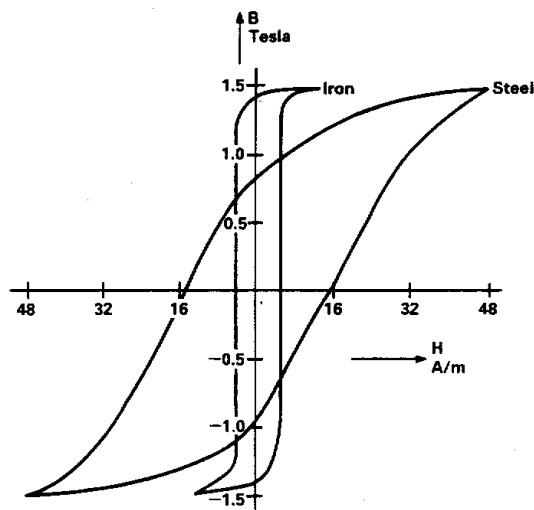
با رسم منحنی حلقه پسماند، نیروی مغناطیسی لازم برای زدایی پسماندهای مغناطیسی و همچنین تعیین حد نفوذپذیری قطعات مورد آزمایش مشخص می گردد .

بطور مثال در شکل ۳-۷ برای دو قطعه با جنس متفاوتی منحنی حلقه پسماند طبق روش فوق رسم شده است . با مقایسه دو حلقه پسماند، نتایج زیر گرفته می شود :

۱ - قطعه فولادی ( Steel ) با نیروی  $48 \text{ A/m}$  به حد اشباع رسیده، در حالیکه برای آهن خالص ( Iron ) نیروئی معادل  $16 \text{ A/m}$  کافی بوده است.

۲ - پس از قطع شدن جریان، پسماند مغناطیسی در فولاد  $0.7$  و پسماند مغناطیسی در آهن  $1/4$  بوده است .

۳ - نیروی مغناطیس زدائی با جریان مخالف برای فولاد معادل  $16 \text{ A/m}$  و برای آهن خالص  $3 \text{ A/m}$  لازم می باشد .



شکل ۳-۷

از مقایسه دو منحنی شکل ۳-۷ نتیجه گرفته می شود که قطعه آهنی نسبت به فولاد با کمترین نیروی آهنربای کامل می گردد و با کمترین نیروی مغناطیس زدائی، پسماندهای مغناطیسی را از دست می دهد .

### روشهای مغناطیس زدائی

برطرف نمودن خاصیت آهنربائی بجامانده در قطعاتی که تحت آزمایش ذرات مغناطیسی قرار گرفته اند، با روشهای زیر انجام می گیرد :

- ۱ - عبور قطعات از درون سیم پیچ ( Coil )  
این روش برای قطعات کوچکی که تعداد آنها زیاد باشد انجام می گیرد . در این روش قطعات در سیم پیچی که حامل جریان متناوب است قرار گرفته و تحت اثر میدان القائی خاصیت آهنربائی را از دست می دهند . خروج قطعات از درون سیم پیچ باید به آرامی انجام گیرد.  
معمولاً آمپر دور ( Amp. Turn ) سیم پیچ ها بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ می باشد .
- ۲ - یوک با جریان متناوب ( AC Yoke )  
در این روش دو قطب یک دستگاه یوک به آرامی روی سطح قطعه حرکت داده می شود . با این شیوه، خاصیت آهنربائی قطعه در لحظات فاز منفی به صفر ( تقریبی ) می رسد و با خروج بسیار آرام یوک از سطح قطعه، خاصیت مغناطیسی قطعه از بین خواهد رفت .
- ۳ - میدان مغناطیسی متناوب ( AC field )  
این عمل مشابه روش یوک می باشد . در این روش قطعه در میدانی که با جریان متناوب بوجود آمده قرار می گیرد و سپس بتدریج از شدت جریان کاسته می شود. وقتی شدت میدان به صفر برسد قطعه خاصیت آهنربائی را از دست می دهد .
- ۴ - جریان مستقیم معکوس ( Reverse DC, Direction )  
این روش برای قطعاتی است که با جریان مستقیم مغناطیس شده باشند که با معکوس شدن جریان، خاصیت آهنربائی قطعه از بین می رود . البته برای قطعاتی که با جریان متناوب آهنربا شده باشند نیز با تغییر جهت میدان مغناطیس زدائی انجام می گیرد .
- ۵ - عملیات حرارتی ( Heat Treatment )  
چنانچه قطعه ای که آهنربا شده تا حد بحرانی ( Curie point ) حرارت داده شود خاصیت آهنربائی از دست می دهد ( حدود ۷۰۰ درجه ) .
- ۶ - ضربه زدن ( Pinning )  
این روش برای قطعات بسیار بزرگ که قابل ضربه پذیری باشند قابل استفاده است .

نمونه های مرجع

اصولاً در آزمایش ذرات مغناطیسی نمونه استاندارد قابل استنادی برای حد پذیرش عیوب وجود ندارد و بیشتر از طریق شاخص های کیفیت ویژگی های آزمایش ارزیابی می گردد. شاخص های زیر مهمترین ابزار کنترل کیفیت آزمایش های ذرات مغناطیسی می باشند:

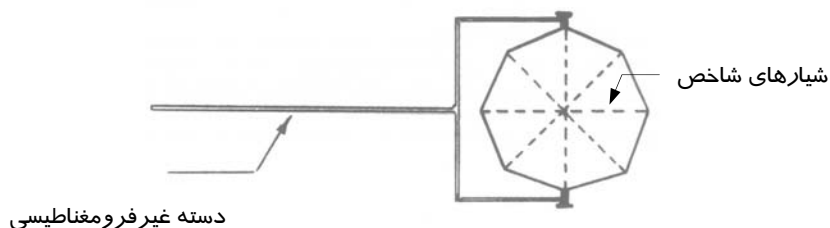
بطور کلی بمنظور اطمینان از کارائی تکنیک های آزمایش، نوع ذرات و همچنین تعیین جهت خطوط میدان های مغناطیسی، شاخص های کیفیت با مشخصات ویژه و خاصی برای ارزیابی مجموعه عوامل آزمایش ها طراحی شده است .

با قرار گرفتن شاخص در میدانی مشابه با میدان آزمایش و پاشیدن ذرات آهن طبق روش آزمایش، کارائی سیستم مشخص می گردد. چنانچه قدرت میدان و کیفیت ذرات مناسب اختیار شده باشد، شیاره های شاخص، قابل رؤیت خواهند بود .

## انواع شاخص ها :

۱ - شاخص نفوذسنج ASME

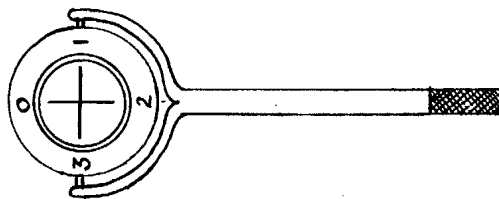
- این نوع شاخص ها با نام ASME Penetrameter و با مشخصات زیر ساخته می شوند :
- الف - ضخامت نمونه که شش ضلعی می باشد  $3/2$  میلی متر است ( شکل ۳-۸ ) .
  - ب - سطح زوی نمونه با لایه ای مسی به ضخامت  $0/025$  میلی متر پوشانده شده .
  - ج - شیارهای روی شاخص به عمق  $0/75$  میلی متر می باشند که با لحیم کاری درون آنها پر شده است ( تکنیک لحیم کاری در کوره ) .



شکل ۳-۸

## ۲ - شاخص برتولد ( Berthold Penetrant )

دز شکل ۳-۹، یک نمونه شاخص با عیب صلیبی شکل مشاهده می گردد که کاربردی مشابه با شاخص نوع ASME دارد و به نام سازنده آن معروف است .

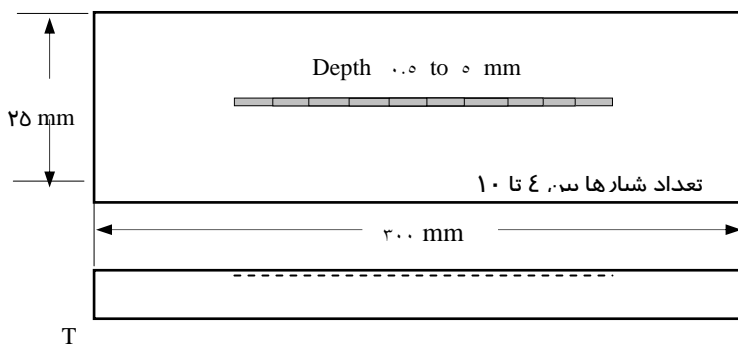


شکل ۳-۹

## ۳ - نمونه شیاری ( Groove Type )

این نمونه طبق مشخصات شکل ۳-۱۰ قابل ساخت می باشد. با انتخاب قطعه ای از جنس مشابه با جنس قطعات مورد آزمایش و ضخامتی ( T ) متناسب با قطعات اصلی شیاری با عمق و عرض معین در آن ایجاد می گردد .

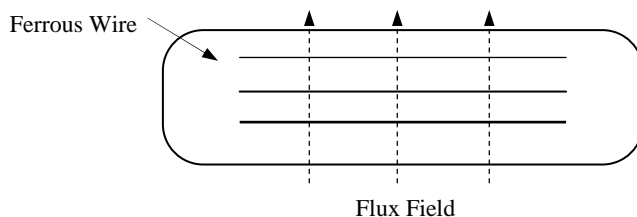
نکته مهم در ساخت این نمونه برش داخلی شیاری است که بایستی بشکل مکعب مستطیل و بوسیله دستگاه تراش مخصوص ( Lathe Machine ) زده شوند .



شکل ۳-۱۰

#### ۴ - شاخص های سیمی (Burmah Castrol Strips)

این نوع شاخص که در استاندارد BS ۶۰۷۲ به آن اشاره شده شامل یک ورقه از جنس براس و یا مس می باشد که سه عدد سیم در آن تعبیه شده است .  
با قرار دادن شاخص در یک میدان مغناطیسی، به نسبت شدت میدان به ترتیب سیم های ضخیم و سپس نازک نمایان می شوند . این نوع شاخص بیشتر برای آزمایش کیفیت سیال حاوی ذرات مغناطیسی بکار برده می شود ( شکل ۳-۱۱ ) .



شکل ۳-۱۱

#### ابزارهای اندازه گیری

برای اندازه گیری شدت و نیروی مغناطیسی، پسماندهای مغناطیسی، چگالی خطوط میدان و شدت نور چراغ ماوراء بنفش ابزار الکترونیکی متفاوتی طراحی شده اند که نوع و کارائی هر کدام به سلیقه سازنده و تکنولوژی ساخت آنها مربوط می شوند . اما وجود چنین ابزاری برای آزمایش قطعات حساس و خصوصاً در فرآیند مغناطیس زدائی ضروری می باشد :

در زیر به چند نمونه از ابزار اندازه گیری اشاره شده است :

۱ - Field Strength Meter

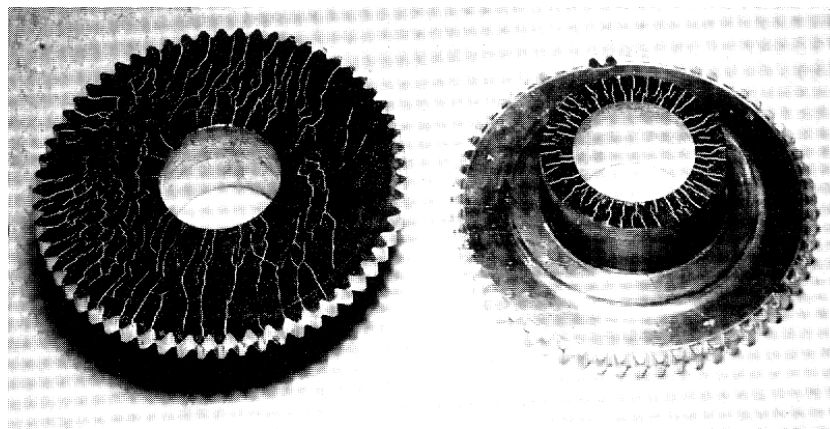
۲ - Residual Field Strength Meter

۳ - Flux Density Meter

۴ -Ultraviolet Intensity Meter

عیوب قابل رؤیت

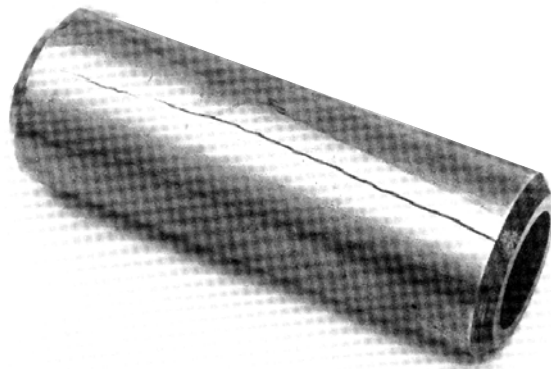
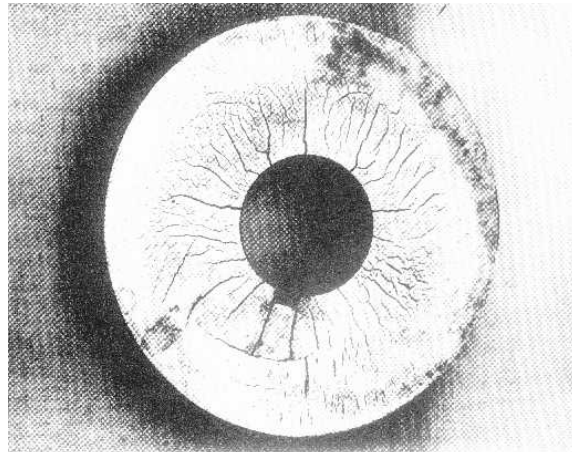
همانطور که قبلاً نیز اشاره شد در روش آزمایش ذرات مغناطیسی نمونه های مرجعی برای استناد حدپذیرش وجود ندارد اما بکمک شاخص ها، ویژگی سیستم های آزمایش قابل کنترل و بررسی می باشند که در صفحات قبل بدانها اشاره شده است .  
در شکل ۳-۱۲ و ۳-۱۳ چند نمونه از قطعات ترک دار که در استاندارد ASTM به عنوان نمونه با روش ذرات رنگی و فلورسنسی آزمایش شده اند مشاهده می گردند .



شکل ۳-۱۲

در شکل ۳-۱۲ نمای دو قطعه مغناطیس شده با سیال ذرات آهن فلورسنسی دیده می شود که ترکها پس از تابش نور ماوراء بنفش برنگ بنفش در سطح قطعه ظاهر شده اند .  
آزمایش با روش فلورسنسی بدون رنگ زمینه انجام می شود و آشکار شدن عیوب با نور ماوراء بنفش امکان پذیر می گردد .

در شکل ۳-۱۳ نمای دو قطعه آزمایش شده با سیال حاوی ذرات سیاه رنگ دیده می شود که ترکها به رنگ سیاه در زمینه رنگی سفید ظاهر شده اند .



شکل ۳-۱۳



---

تعریف واژه های آزمایش ذرات مغناطیسی  
مرتبط با آزمونهای غیرمخرب

---

---

**Terms & Definitions**

**Magnetic Particles Testing**

صفحات ۵۱۵ تا ۵۲۰

Aerosol Spraying	پاشیدن سیال بوسیله قوطی اسپری تحت فشار
Air-Accelerator Powder Spray	پاشیدن پودر بکمک فشار هوا
Alternative Current	جریان متناوب
Alternative Current Magnetization	ایجاد میدان مغناطیسی با جریان متناوب
Ampere Meter	دستگاه آمپرسنج
Ampere Turns	آمپر دور ( در روش آزمایش سیم پیچ )
Aperture Type Coil	سیم پیچ مغناطیس زدا :
	یک کویل حامل جریان متناوب است که برای مغناطیس زدائی قطعات بکار می رود.
Arc Strikes	اثر جرقه ( مانند اثر جرقه الکتروود روی سطح کار در جوشکاری )
Background	زمینه تباین سطح کار
Background Paint	رنگ زمینه ( رنگ زیرکار )
Berthold Penetrant	شاخص کیفیت برتولد
Black Light	نور ماوراء بنفش
Black Light Filter	فیلتر مانع عبور نور سفید چراغ در زمینه ماوراء بنفش
Burning	سوختن نقطه ای ( به علت تماس و یا عبور جریان از یک قطعه )
Carrier Fluid	سیالی که مانند یک حامل عمل می کند.
Central Conductor	هادی محوری
Centrifugal Tube Settlement Flask	ظرف مدرج سنجش در صد ذرات یک ماده سیال
Circular Magnetization	مغناطیس نمودن حلقوی
Circumferential Magnetization	مغناطیس نمودن محیطی
Clip-On Ammeter	آمپرسنج با شاخک های باز و بست شونده
Coagulation	همجوشی و اتصال ذرات فرومغناطیس در سیال
Coercive Force	نیروی پسماندزدائی
Coil Technique	تکنیک سیم پیچ ( کویلی )
Color Magnetic Ink	سیال ذرات مغناطیسی رنگی
Compass Test	آزمایش میدان با قطب نما ( قطبی بودن )
Conditional Agent	ماده مکمل آمیزنده

---

Concentrates	تغلیظ سیال حاوی ذرات مغناطیسی
Contact Head	نقطه تماس الکتروود
Contact Pads	لایه های مسی ( Shim ) :
Contrast	برای جلوگیری از سوختن سطح کار بین الکتروود و قطعه قرار می گیرد . تباين زمينه ( تفاوت رنگ زمينه با رنگ ذرات آهن )
Continuous Technique	میدان پیوسته :
Core	تکنیکی که در آن می توان ذرات را بطور پیوسته روی سطح کار پاشید. مغزی درون سیم پیچ
Curie Point	نقطه بحرانی
Current Flow Technique	تکنیک هادی جریان ( تکنیک محوری )
Demagnetization	مغناطیس زدائی
Demagnetization Coil	سیم پیچ مغناطیس زدا
Detecting Medium	ماده آشکارساز
Diffuse Indications	علائم پراکنده
Direct Current	جریان مستقیم
Dry Powder	پودر ذرات خشک آهن
Dry Powder Technique	تکنیک آزمایش با پودر خشک
Dry-out Time	زمان خشک شدن ( جذب رطوبت با خشک کن )
Effective Magnetic Permeability	قابلیت نفوذ مغناطیسی مؤثر
Electrode	میله حاوی جریان در تکنیک الکتروودی ( Prode )
Electromagnet	آهنربای الکتریکی
Examination Method	روش آزمایش ذرات مغناطیسی
Extenders	اجزاء افزاینده خواص مغناطیسی در قطعات
False Indication	علائمی که به علت نشئت میدان دیده می شوند اما عیب نیستند
Ferromagnetic	موادی که قابلیت نفوذ پذیری مغناطیسی زیادی دارند .
Ferromagnetic Particles	ذرات و اجزاء فرومغناطیسی
Fill Factor	فاکتور فاصله بین قطعه و سیم پیچ در تکنیک کویلی

---

Flexible Cable Technique	تکنیک استفاده از سیم پیچ قابل انعطاف
Fluorescent Magnetic Ink	سیال ذرات مغناطیسی فلورسنتی
Fluorescent Magnetic Particles Inspection	آزمایش ذرات مغناطیسی فلورسنتی
Fluorescent Powder	پودر آهن فلورسنتی
Flux Density	چگالی خطوط میدان ( چگالی شار )
Flux Indicator	شاخص نشان دهنده خطوط میدان ( عیوب مصنوعی )
Flux-Leakage Field	میدان نشت مغناطیسی
Flux Lines	خطوط میدان
Flux Meter	وسیله اندازه گیری خطوط میدان
Flux Concentration	غلظت خطوط میدان در قطعه مورد آزمایش
Full Wave Rectified Current	یکسو شدن تمام موج در جریان متناوب
Functional Test	صلاحیت آزمایش :
	آزمایشی که توانائی سیستم آزمایش و خواص ذرات مغناطیس را باثبات برساند
Furring	انباشته شدن ذرات به دلیل میدان مغناطیسی مازاد
Gauss	گوس واحد اندازه گیری تعداد خطوط میدان در هر سانتی متر مربع
Gauss Meter	وسیله اندازه گیری چگالی خطوط میدان
Half Wave Rectified Current	یکسو شدن نیم موج جریان متناوب
Hall Effect	اثر هال :
	اختلاف پتانسیلی است که از قرار گرفتن یک هادی، در جهت عمود بر جهت میدان مغناطیسی بوجود می آید و جریان الکتریکی گسترش می یابد .
Hysteresis	حلقه پسماند مغناطیسی
Immersion Procedure	روش غوطه وری
Indications	علائم روی سطح کار پس از آزمایش
Indirect Magnetization	مغناطیس نمودن غیر مستقیم ( القائی )
Induced Current Flow Techniques	تکنیک القائی در نتیجه عبور جریان
Induced Field	میدان القائی
Induction ( Magnetic )	القاء مغناطیسی

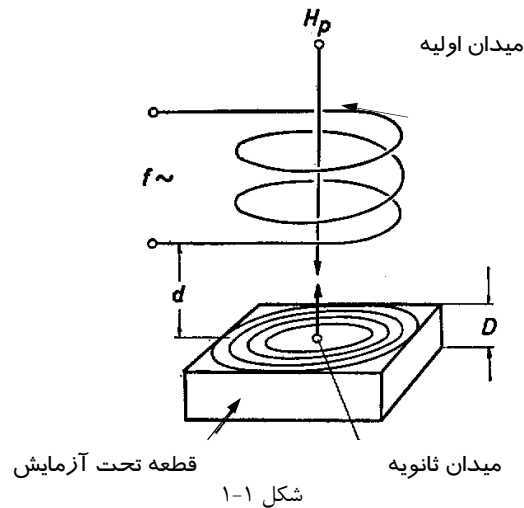
Inherent Fluorescence	خاصیت ذاتی فلورسنتی
Keeper	رابط مدار آهنربائی : بمنظور ضعیف نشدن آهنربای دائمی در امتداد دو قطب آن قرار می گیرد .
Laminated Pole Pieces	رابط میدان : لایه های قابل تنظیم برای قرار گرفتن قطب های آهنربا روی سطوح ناهموار
Lifting Power	آزمایش توانائی بلند نمودن وزنه با آهنربا
Light Intensity	شدت نور
Lines Of Force	طیف خطوط آهنربائی ( قابل رؤیت با ذرات درشت آهن )
Local Magnetization	مغناطیس نمودن موضعی
Longitudinal Magnetization	آشکار نمودن عیوب طولی با میدان های حلقوی
Magnetic Circuit	مدار پیوسته بین دو قطب آهنربا
Magnetic Leakage Field	نشت میدان مغناطیسی در مجاورت آهنربا
Magnetic Field Distribution	انتشار نیروی میدان در یک میدان مغناطیسی
Magnetic Field Indicator	شاخص خطوط میدان
Magnetic Field Leakage	نشت خطوط میدان به علت وجود ناپیوستگی در قطعات
Magnetic Field Strength	شدت میدان مغناطیسی در یک نقطه مشخص
Magnetic Field Strength Meter	وسیله اندازه گیری میدان های مغناطیسی
Magnetic Flaw Detection Ink	سیال حاوی ذرات مغناطیسی برای عیب یابی
Magnetic Flow Technique	تکنیک جریان آهنربائی : تکنیکی که قطعه مورد آزمایش در مجاورت مدار خطوط میدان قرار می گیرد .
Magnetic Flow Coil Test Piece	نمونه استاندارد : قطعه استانداردی است برای آزمایش جریان میدان و سیم پیچ ها بکار می رود .
Magnetic Flux	مجموعه خطوط میدان در یک مدار مغناطیسی
Magnetic Flux Density	چگالی خطوط میدان مغناطیسی در واحد سطح
Magnetic Hysteresis	حلقه پسماند مغناطیسی
Magnetic Indication	علائم مغناطیسی ( تجمع ذرات آهن )
Magnetic Ink	سیال حاوی ذرات مغناطیسی

Magnetic Leakage Field	نشست خطوط میدان به علت وجود ناپیوستگی در قطعات
Magnetic Particles	ذرات مغناطیسی
Magnetic Permeability	قابلیت نفوذپذیری مغناطیسی
Magnetic Poles	قطب های آهنربا
Magnetic Powder	پودر ذرات آهن
Magnetic Saturation	اشباع مغناطیسی
Magnetic Writing	علامت زائد :
	نوعی علامت نامربوط است که گاهی در نتیجه تماس سطح یک ذره فرومغناطیس با ماده فرومغناطیس دیگری شکل می گیرد .
Magnetizing Current	جریان مغناطیس سازی :
	جریان متناوب یا مستقیمی که موجب القاء مغناطیسی می گردد .
Magnetizing Force	نیروی میدان مغناطیسی
Magnetometer	وسیله اندازه گیری شدت میدان مغناطیسی
Multidirectional Magnetization	مغناطیس سازی چند قطبی :
	ایجاد میدان مغناطیسی با چند جهت ( مانند یوک های چهار قطبی )
Non-Relevant Indication	علائمی که به عللی بجز وجود عیب شکل می گیرند .
Near Surface Discontinuity	عیوب نزدیک به سطح ( زیر سطحی )
Oersted	واحد قدرت میدان مغناطیسی ( آمپر بر متر )
Parallel Conductors	چند هادی موازی :
	در این روش چند هادی جریان در جهت موازی طوری روی سطح قطعه مورد آزمایش قرار می گیرند که جهت جریان ها همسو باشد . در این حالت میدان مغناطیسی قوی و یکنواختی در سطح قطعه و بین هادی ها بوجود می آید .
Particles Content	مقدار ذرات معلق در سیال
Peak Current	نقطه عطف دامنه :
	حداکثر دامنه جریان الکتریکی در زمان مغناطیس سازی است که برای سنجش میدان مغناطیس بکار می رود .
Permanent Magnet	آهنربای دائمی ( ذاتی )

Polymer Technique	تکنیک پولیمری :
	تکنیکی است که از نوعی ماده پولیمری برای معلق سازی سیال استفاده می شود .
Portable Flux Indicator	شاخص کیفیت خطوط میدان
Powder Blower	دستگاه پاشیدن پودر خشک ذرات مغناطیسی
Prods	الکترودها ( در روش آزمایش الکترودی )
Residual Magnetic Field	میدان مغناطیسی پسماند
Residual Technique	تکنیک پسماند زدائی
Retentively	پایداری مغناطیسی
Saturation Magnetic	اشباع مغناطیسی
Skin Effect	اثر سطح ( برای جریان متناوب )
Solenoid	سیم پیچ استوانه ای
Subsurface Discontinuity	عیوب زیر سطحی
Surge Magnetization	مغناطیس سازی متغییر :
	ابتدا با شدت جریان بسیار زیاد ( کمتر از یک ثانیه ) و ادامه آن با جریان های متوسط .
Suspension	تعلیق سازی ذرات آهن
Test Ring	حلقه آزمایش ( با عیوب مصنوعی )
True Continuous Technique	تکنیک پیوسته :
	روشی است که قبل از پاشیدن ذرات، میدان مغناطیسی برقرار می گردد و برقراری میدان تا پایان آزمایش بدون وقفه ادامه می یابد .
Vehicle	سیال ترکیبی که باعث چسبندگی و یکدست شدن سیال می شود .
Visible Light	نور قابل رؤیت ( ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانگستروم )
Water Break Test	آزمایش کیفیت برای سیال مکمل ( حالت دهنده آب )
Water Washable	قابل شستشوی با آب
Wet Technique	تکنیک آزمایش با ذرات آهن تر ( سیال )
Wet Slurry Technique	تکنیک دوغاب سیال ذرات آهن
Yoke	دستگاه آهنربای یوغ شکل
Yoke Magnetization	مغناطیس نمودن با تکنیک یوک

### مقدمه

وقتی یک سیم پیچ (کویل) حامل جریان متناوب به سطح قطعه ای فلزی نزدیک شود، سطح قطعه القاء الکترومغناطیسی شده و جریان های متغییری موسوم به جریان گردابی در سطح قطعه برقرار می گردند. با برقراری این جریان، یک میدان مغناطیسی ثانویه ای در قطعه شکل می گیرد که طبق قانون لنز، این میدان در جهتی مخالف میدان با میدان اولیه، با عامل بوجود آورنده خود مقابله می کند. جریان های گردابی (Eddy Currents) که با واژه هائی چون جریان های سرگردان و فوکو نیز شناخته می شوند از نوع جریان های القاء شده الکتریکی هستند که بوسیله میدان های مغناطیسی متناوب در فلزات برقرار می گردد. این نوع جریان ها تحت اثر میدان های ثانویه، نیروی محرکه جدیدی تولید می کنند که در کمیت نیروی محرکه ای اولیه اثر نموده و تغییراتی در آن ایجاد می نمایند.





بطوری که در شکل ۱-۱ دیده می شود، یک سیم پیچ حامل جریان متناوب به قطعه ای فلزی نزدیک شده و میدان مغناطیسی اولیه (  $H_p$  ) سبب القاء و برقراری جریان های گردابی در سطح قطعه شده است . اما پس از شکل گیری جریان های گردابی، میدان مغناطیسی ثانویه ای (  $H_s$  ) در جهت مخالف میدان اولیه بوجود آمده که با نیروی محرکه عامل بوجود آورنده خود مقابله می نماید .

با فرض ثابت بودن شدت میدان اولیه، شدت نیروی واکنش مغناطیسی به جنس و همگنی قطعه القاء شده بستگی دارد. هرگونه تغییر در خواص و یا وجود ناهمگنی در قطعه، سبب تغییر در جریان گردابی و در نتیجه تغییر در مقاومت ظاهری کویل خواهد شد .

برای آزمایش جریان گردابی از سیم پیچ های حامل جریان متناوب با فرکانس بسیار بالا استفاده می شود که معمولاً از طریق یک یا چند خازن شدت جریان و ولتاژ مدار آن کنترل می گردد. آنچه در آزمایش جریان گردابی روی می دهد، تغییراتی است که نیروی میدان متقابل در کمیت مقاومت ظاهری سیم پیچ و مدار ( Impedance ) بوجود می آورد .

مقاومت ظاهری از رابطه ۱-۱ بدست می آید :

$$Z = \{ R^2 + (X_L^2 - X_C^2) \}^{1/2} \quad \text{رابطه ۱-۱}$$

Z - مقاومت ظاهری مدار

R - مقاومت فلزسیم پیچ

$X_L$  - مقاومت خودالقائی سیم پیچ ( Inductance Reactance )

$X_C$  - مقاومت خازن

با این توضیح می بینیم، وقتی یک سیم پیچ با مقاوت ظاهری معینی ( امپدانس ) به سطح قطعه ای نزدیک شود، مقدار آن تحت اثر میدان بازدارنده تغییر نموده و از طریق محاسبه تغییرات مقاومت ظاهری بعضی از ویژگی های درون فلزات شناسائی می گردد .

در دستگاه های جریان گردابی تغییرات امپدانس در سیم پیچ میدان اولیه و یا سیم پیچ مدار مکمل، بصورت علائم قابل تفسیر در صفحه نمایش دیده می شود . صفحه نمایش دستگاه جریان گردابی بصورت های مختلفی نظیر منحنی های برداری ، چند فازی و یا عقربه ای طراحی می گردد .

### تاریخچه

اگرچه از خواص جریان القائی در قرن نوزدهم نیز در موارد متعددی استفاده شده اما ورود مؤثر این روش در تکنیک های غیرمخرب پس از جنگ جهانی اول بوده است که از خواص جریان القائی برای ارزیابی کیفیت سیم های هادی جریان برق در ساخت ترانسفرمرها و ادوات برقی و همچنین برای طبقه بندی فلزات هم خانواده ( Sorting ) استفاده می شد. اولین دستگاه جریان گردابی برای اهداف بازرسی های غیرمخرب در سال ۱۹۴۲ ساخته شد و بتدریج با رونق گرفتن حرفه بازرسی در صنایع هواپیمائی، تکنیک ساخت دستگاه ها نیز متحول گردید .

اما پیشرفت قابل توجه تکنولوژی ساخت دستگاه های جریان گردابی زمانی رخ داد که بازرسی مبدل های حرارتی در نیروگاه ها با مشکل روبرو گردید و در پی آن ساخت دستگاه ها با نوآوری بیشتری همراه بوده است .

اساس و پایه قوانین و روابط فیزیکی جریان های القائی توسط دانشمندانی چون فارادی، لنز و ماکسول بنا نهاده شده و با تکیه بر همین قوانین بسیاری از خواص کاربردی جریان های القائی کشف و بکار گرفته می شوند .

### کاربرد جریان های القائی ( ادی کانت )

از خواص جریان های القائی برای اهداف زیر استفاده می گردد :

- ۱ - اندازه گیری و تعیین قابلیت هدایت الکتریکی و قابلیت نفوذ مغناطیسی در فلزات .
  - ۲ - آشکارسازی عیوب سطحی و زیر سطحی مانند ترکها ، ناخالصی ها و حفره های گازی در انواع مختلف فلزات خصوصاً برای مواد غیرفرومغناطیسی .
- توضیح : اصولاً بدلیل اثر میدان مغناطیسی ثانویه، توانائی نفوذ جریان ادی کانت در مواد فرومغناطیس بسیار کم است، لذا آزمایش با جریان گردابی مناسبترین روش آزمایش برای مواد غیرفرو مغناطیسی می باشد .
- ۳ - طبقه بندی فلزات هم خانواده ( Sorting ) .
  - ۴ - اندازه گیری تغییرات بسیار اندک ضخامت ( کاهش ضخامت ) .
  - ۵ - اندازه گیری رنگ و پوشش های عایق روی فلزات .

- ۶- آزمایش کیفیت اجزاء و قطعات در صنایع هواپیمائی .  
 ۷- تعیین کاهش ضخامت و آشکارسازی عیوب در لوله های مبدل‌های حرارتی ( Tubes ) بدون خارج نمودن لوله ها از مبدل .  
 ۸- آشکارسازی عیوب لوله ها و قطعات استوانه ای در کارخانه های تولیدی .

### محدودیت های روش

- ۱- بدون داشتن نمونه مقایسه، انجام آزمایش غیرممکن است .  
 ۲- آزمایش مواد آهنربائی با این روش انجام نمی شود ( مگر بکمک اشباع مغناطیسی ) .  
 ۳- آزمایش قطعاتی با پیچیدگی شکل هندسی بسیار مشکل است .  
 ۴- تغییر شرایط سطح قطعات دقت در نتیجه گیری را بسیار کاهش می دهد .  
 ۵- بجز با پروبهای خاص، عیوب موازی با سطح را آشکار نمی سازد .  
 ۶- نفوذ جریان گردابی در مواد فرومغناطیسی بسیار کم است . لذا قطعات فرومغناطیس پس از اشباع مغناطیسی قابل آزمایش هستند .  
 ۷- اساساً این روش مخصوص عیوب سطحی و زیر سطحی است و برای عیب یابی تمام ضخامت کارائی ندارد ( حداکثر نفوذ برای مناسبترین هادی مانند مس ۷ میلی متر است ) .

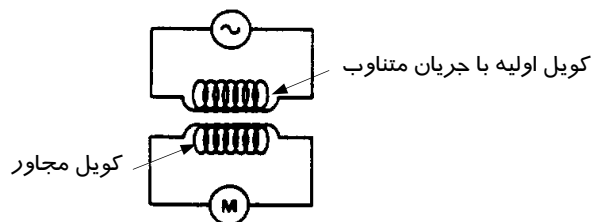
### قوانین و فاکتورهای فیزیکی :

اصولاً روش آزمایش با جریان گردابی برپایه قوانین فیزیک و الکتریسیته استوار شده است و برای شناخت مفاهیم آنها و تحولاتی که جریان های القائی در مدارهای مولد میدان مغناطیسی بوجود می آورند، باید کلیه پارامترهای اساسی الکتریسیته مانند انواع جریان های الکتریکی، قوانین اهم، مدارهای سری و موازی، خازنها، بردارها، قوانین فارادی و لنز بدقت مطالعه گردند و چون چنین اطلاعاتی در اغلب کتب فیزیک قابل دسترسی هستند لذا در ادامه فقط به شرح چند پارامتر مهم آن خواهیم پرداخت :

**توضیح:** بمنظور سهولت در بیان مفاهیم و عدم تکرار اصطلاحات مشابه، در مواردی از واژه کویل بجای سیم پیچ، ادی کارنت بجای جریان گردابی ، اندکتانس بجای ضریب خودالقائی و امپدانس بجای مقاومت ظاهری استفاده خواهد شد .

## ۱ - اندکتانس یا ضریب خودالقائی ( Inductance )

اندکتانس عبارتست از توانائی یک سیم پیچ ( کویل ) برای حفظ خاصیت مغناطیسی و ایجاد جریانی مخالف با جریان اولیه که به آن ضریب خودالقائی نیز گفته می شود. این خاصیت فقط مختص به مدارهایی است که در آن جریان متناوب متغییری برقرار باشد .  
جریان مخالف می تواند یک نیروی محرکه الکتریکی را در مدار خود و یا مدار مجاور القاء نماید . از چنین خاصیتی برای ساخت ترانسفرمرها استفاده می شود ( شکل ۱-۲ ) .



شکل ۱-۲

## ۲ - امپدانس یا مقاومت ظاهری ( Impedance )

امپدانس یک کمیت برداری است که موقعیت دامنه و فاز یک جریان را نشان می دهد.  
مثلاً اگر مقاومت خودالقائی یک کویل ۴ اهم و مقاومت کویل ۳ اهم باشد برآیند بردارهای آن برابر با ۵ اهم خواهد شد ( شکل ۱-۳ ) .

$$V = Z \cdot I \quad \text{رابطه ۱-۲}$$

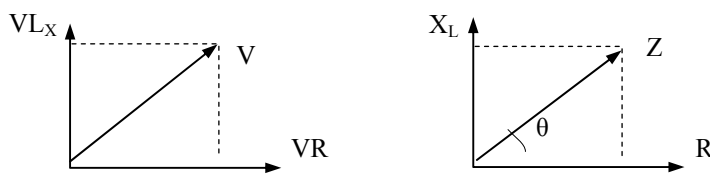
$$(Z \cdot I)^2 = (I \cdot R)^2 + (I \cdot L_X)^2$$

$$Z = (R + L_X)^2 \Rightarrow Z = (3^2 + 4^2)^{1/2} = 5 \text{ ohm}$$

Z - مقاومت ظاهری مدار

R - مقاومت سیم پیچ ( فلز سیم پیچ )

$L_X$  - مقاومت ظاهری کویل



شکل ۱-۳

در مثال فوق، چنانچه پس از برقرار شدن جریان گردایی، مقاومت کویل به ۳ اهم و در مقابل مقاومت کویل به ۴ اهم برسد. برآیند برداری آنها بازهم ۵ اهم خواهد شد در حالیکه زاویه فاز بین ولتاژ و شدت جریان معادل ۱۶ درجه تغییر خواهد نمود.

رابطه زاویه ای دو مقاومت از رابطه تانژانت قابل محاسبه می باشد.

$$\text{Arc tag } \theta = XL / R \quad \text{رابطه ۱-۳}$$

$$\text{Arc tag } 4/3 = 53^\circ$$

$$\text{Arc tag } 3/4 = 36.9^\circ$$

$$53 - 36.9 = 16.1^\circ$$

### ۳ - فرکانس

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، برای ایجاد جریان ادی کارنت از جریان متناوب با فرکانس بالا استفاده می شود. هرچه فرکانس مداری بیشتر گردد، مقاومت ظاهری کویل بیشتر خواهد شد و در مقابل در مداری که خازن وجود داشته باشد، فرکانس اثر معکوسی در مقاومت خازن خواهد داشت (شکل ۱-۴، روابط ۱-۴ و ۱-۵).

$$X_L = 2 \pi f L \quad \text{رابطه ۱-۴}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \pi f c}$$

رابطه ۱-۵

$$2 \pi f c$$

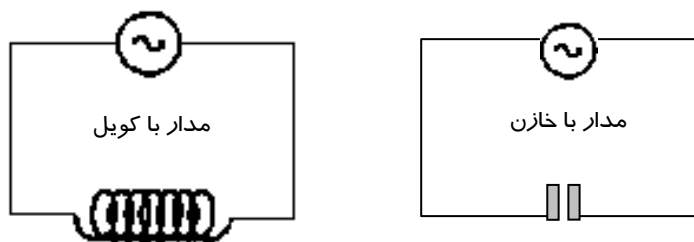
$X_L$  - ضریب خودالقائی کویل

$X_C$  - مقاومت خازن

$f$  - فرکانس جریان متناوب

$L$  - مقاومت ظاهری مدار

$c$  - ظرفیت خازن



شکل ۱-۴

اساس روش :

بمنظور آشنائی بیشتر با عوامل مهم و تأثیرگذار در مکانیزم آزمایش جریان گردابی، مراحل یک آزمایش ساده ترک یابی (عیوب سطحی) با این روش شرح داده می شود :

مراحل آزمایش

- ۱ - یک پروب حامل کویلی با جریان متناوب و ویژگی مشخصی به دستگاه آزمایش ادی کارنت وصل می شود. در حالت اولیه، علائمی در صفحه نمایش دیده خواهد شد. دامنه علائم در حد معینی انتخاب و تنظیم می گردد.
- ۲ - سپس پروب به روش تماس تدریجی روی سطح (نمونه مرجع) قطعه ای سالم و بدون عیب گذاشته می شود.
- ۳ - بعلاوه مغناطیسی قطعه و تأثیری که میدان معکوس ادی کارنت در امپدانس کویل می گذارد، تغییراتی در صفحه نمایش دیده خواهد شد. دامنه و فاز آن برای نمونه بدون عیب تنظیم می گردد.
- ۴ - با برداشتن پروب و گذاشتن مجدد، تغییر حالت های برداشت پروب (Lift-off) در صفحه نمایش تنظیم می گردد.
- ۵ - پروب روی سطح قطعه مورد آزمایش (عیب دار) قرار گرفته و مجدداً ضریب برداشت پروب تنظیم می گردد.
- ۶ - با برقراری جریان گردابی در قطعه و حرکت آرام آن بطرف عیب، به نسبت بزرگی عیب، علامت واکنش آن روی صفحه نمایش دیده خواهد شد.
- ۷ - با مقایسه نوع و ویژگی علامت عیب با علائم اولیه صفحه نمایش، مشخصات عیب ارزیابی می گردد.

نکات مهم آزمایش :

- ۱ - چنانچه شرایط سطح کار با شرایط سطح نمونه تنظیم تفاوت داشته باشد، به علت اثر سطح (Skin Effect)، تغییر قابل ملاحظه ای در نتیجه روی خواهد داد.
- ۲ - کمترین تغییر در خواص شیمیائی در شکل علائم تأثیر می گذارد. از همین خاصیت برای طبقه بندی مواد استفاده می شود.

۳- با قرار گرفتن پروب در حاشیه های کناری قطعه مورد آزمایش، علائم تصویر با تغییر قابل ملاحظه ای روبرو می شوند ( Edge Effect ) .

۴- نوع حرکت و سرعت در برداشتن پروب از سطح کار در شکل علائم اثر می گذارد .

### متغیرهای اساسی

بطوریکه در معرفی جریان گردابی اشاره شد، میدان مغناطیسی ثانویه ای که توسط جریان گردابی تولید می شود، بر میدان بوجود آورنده خود تأثیر متقابل گذاشته و کمیت امپدانس را تغییر می دهد که حد تغییرات آن نتیجه آزمایش را مشخص می کند. اما عوامل متعدد دیگری نیز می توانند در امپدانس اثر نمایند که بدون شناخت آنها تفسیر نتایج مشکل و در مواردی غیرممکن خواهد بود . در ادامه به شرح عوامل تأثیرگذار می پردازیم .

### عوامل تأثیرگذار :

#### ۱- قابلیت هدایت الکتریکی ( $\sigma$ - Electrical Conductivity )

قابلیت هدایت الکتریکی مقیاسی است برای سنجش عبور جریان الکترون ها در یک قطعه که با آن چگالی جریان گردابی تعیین می گردد . اما از آنجائیکه قابلیت هدایت الکتریکی و مقاومت الکتریکی فلزات با هم نسبت معکوس دارند و از طرفی هر دو نیز با واحد مشابه اهم معرفی می شوند، لذا برای تمایز آنها در آزمایش جریان گردابی، قابلیت هدایت الکتریکی در مقیاس استاندارد IACS برآورد می گردد . این مقیاس بر اساس استاندارد بین المللی مس خالص آنیل شده تعریف می گردد که قابلیت هدایت الکتریکی آن بصورت معیار سنجش برابر با ۱۰۰٪ نفوذ انتخاب شده است .

IACS ( International Annealed Copper Standard )

$$100\% \text{ IACS} = 58 \text{ m} / \Omega \cdot \text{mm}^2 \Rightarrow ( 1 \text{ m} / \Omega \cdot \text{mm}^2 = 10^6 \text{ siemens/m} )$$

قابلیت هدایت الکتریکی به خواص متفاوتی مانند ترکیب شیمیایی، درجه حرارت، سختی، تاریخچه عملیات حرارتی و چکش کاری سرد فلزات بستگی دارد . وجود یک عیب در قطعه عبور جریان الکترونها را کند می کند و در نتیجه قابلیت هدایت را کاهش می دهد. درآزمایش جریان گردابی از این خاصیت برای طبقه بندی فلزاتی مانند آلیاژهای آلومینیوم و منگنز استفاده می گردد.

با توجه به تأثیر عملیات حرارتی در قابلیت هدایت الکتریکی، مناسبترین روش برای تشخیص اثر سوختگی در بازرسی از قطعات استفاده از جریان گردابی می باشد. بطور مثال اثر حرارت روی قطعات مجاور توربین هواپیماها که موجب ضعیف شدن آنها می شود با این روش قابل تشخیص می باشد. در جدول ۱-۱، قابلیت هدایت الکتریکی فلزات طبق استاندارد IACS مشاهده می گردد.

جدول ۱-۱

Material	Conductivity % IACS	Resistivity $\mu\Omega.cm$
Silver	۱۰۰	۱.۶۳
Copper	۱۰۰	۱.۷۲
Gold	۷۵	۲.۴۴
Aluminum	۶۱	۲.۸۲
Al-۶۱۰۱	۴۲	۴.۱
Al-۷۰۷۵	۳۲	۵.۳
Al-۲۰۲۴	۳۳	۵.۲
Brass ۹۵-۵	۵۵	۳.۱
Brass ۸۵-۱۵	۳۷	۴.۷
Brass ۷۰-۳۰ Cu-Zn	۲۸	۶.۲
Admiralty Brass	۲۵	۶.۹
Magnesium	۳۷	۴.۶
Tungsten	۳۰	۵.۷۴
Nickel	۲۳	۷.۵
Platinum	۱۶	۱۰.۷
Tantalum	۱۴	۱۲.۳
Aluminum Bronze	۱۳	۱۳.۳
Phosphor Bronze	۱۱	۱۶
Chromium Steel	۶.۱	۲۸.۳
Copper-Nickle ۹۰/۱۰	۱۱.۹	۱۴.۵
Copper-Nickle ۷۰/۳۰	۵	۳۵
Stainless Steel ۵۰۱	۴.۵	۳۸.۳
Stainless Steel ۴۱۰	۳.۰	۵۷.۳
Stainless Steel ۳۰۴	۲.۵	۶۹
Lead	۸.۴	۲۰.۵



## ۲- نفوذ پذیری مغناطیسی ( Magnetic Permeability )

اصولاً قابلیت نفوذ مغناطیسی در آزمایش جریان گردابی تأثیر معکوسی در آزمایش مواد فولادی و فرومغناطیسی می‌گذارد که به چند مشکل آن در زیر اشاره می‌گردد :

الف - عمق نفوذ جریان گردابی در مواد فولادی به کمتر از یک میلی‌متر می‌رسد، لذا در روش جریان گردابی، فقط عیوب بسیار سطحی قابل آشکارسازی خواهند بود . به همین دلیل، آزمایش قطعات فولادی و مواد فرومغناطیسی بشرطی میسر است که عملیات اشباع مغناطیسی روی آنها انجام گرفته باشد ( بجز آشکارسازی ترکهای کاملاً سطحی ) .

در کارخانه های لوله سازی، عملیات اشباع سازی بوسیله یک سیم پیچ با میدان مغناطیسی بسیار قوی انجام می‌گیرد و هر لوله قبل از ورود به کویل آزمایش ادی کارنت ، از درون سیم پیچ اشباع کننده عبور داده می‌شود .

ب - در شرایط عادی استفاده از روش آزمایش جریان گردابی در سیستم های مبدل حرارتی، فقط برای تیوب های غیر فرو مغناطیس عملی است .

البته صفحات نگهدارنده تیوب ها ( Baffles ) در درون مبدل های حرارتی نیز که از جنس فولادی هستند موجب اختلال در علائم صفحه نمایش می‌شوند که در بخش های بعدی مفصل تر بحث خواهد شد .

## ۳- فرکانس ( Frequency )

اگرچه قبلاً نیز در خصوص فرکانس صحبت شده اما در این بخش منظور تأثیر فرکانس در عمق نفوذ جریان گردابی است که بیشترین نقش را در نفوذدهی جریان گردابی ایفا می‌کند. طبق رابطه ۶-۱ ، هر چه فرکانس بیشتر گردد عمق نفوذ جریان گردابی کمتر خواهد شد.

رابطه ۶-۱

$$\delta = 500$$

$$(\text{f} \cdot \sigma \cdot \mu)^{1/2}$$

$\delta$  - عمق نفوذ استاندارد

f - فرکانس به هرتز

$\mu$  - قابلیت نفوذ مغناطیسی

$\sigma$  - قابلیت هدایت الکتریکی

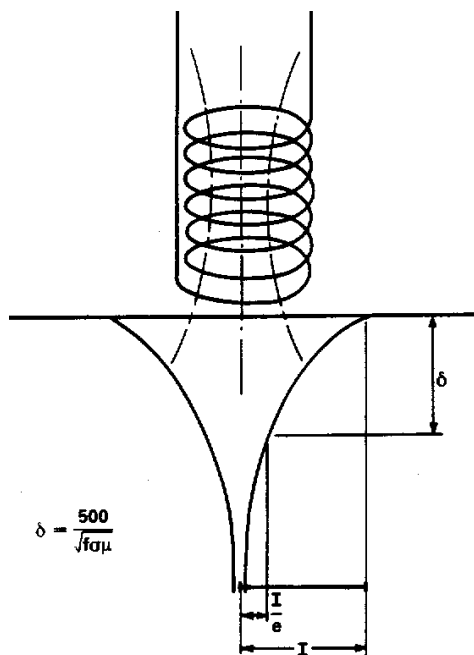
مرجع اندازه گیری و مقایسه توانائی آشکارسازی عیوب زیر سطحی ( Subsurface ) در قطعات، استاندارد عمق نفوذ ( Standard Depth of Penetration ) می باشد. عمق استاندارد به مقدار عمق نفوذ جریان گردابی در زیر سطح یک قطعه گفته می شود که شدت میدان در عمیق ترین سطح مؤثر ( عمق استاندارد )، به حد  $( I/e )$  یا یک سوم شدت اولیه جریان در سطح برسد.

$I - I$  شدت جریان گردابی در سطح قطعه یا شعاع حلقه جریان اولیه ( شکل ۵-۱ ).

$e - e$  پایه لگاریتم نپر که برابر  $2/718$  می باشد و معادل ۳ فرض شده است .

**توضیح:** اصولاً علت عمده افت شدت جریان گردابی در عمق قطعات، پوشش لایه به لایه ایست که بطور خود بخودی توسط حلقه های جریان انجام می گیرد.

البته ذکر این نکته ضروری است که بدلیل تأثیر متغیرهای جانبی، استفاده از رابطه ۶-۱ فقط در تئوری قابل بیان است و در عمل باید بکمک عیوب ساختگی در نمونه های تنظیم عمق نفوذ را تعیین نمود .

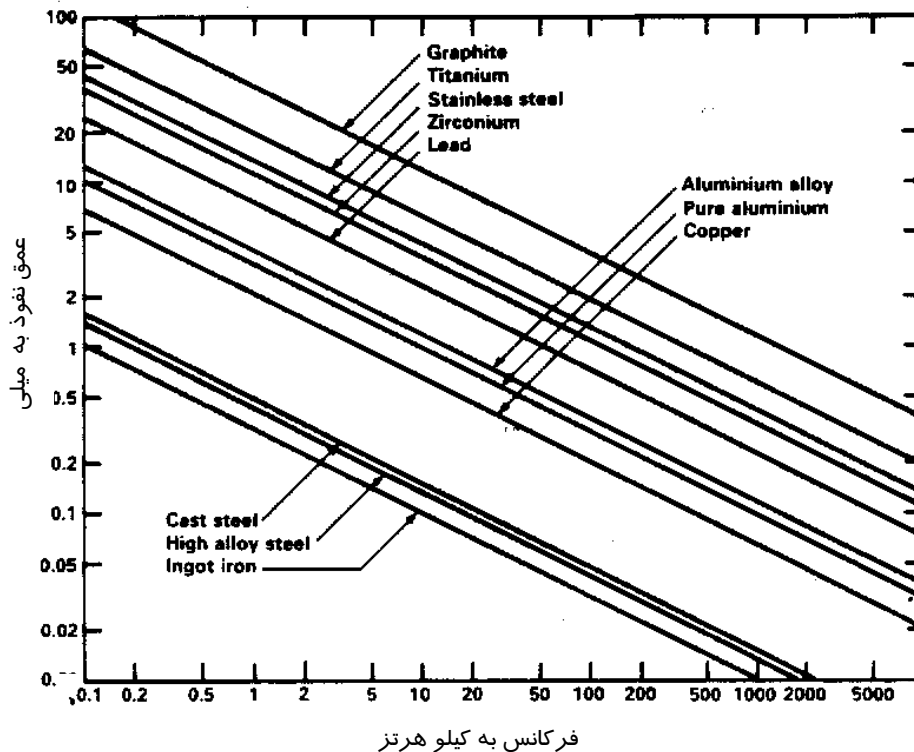


شکل ۵-۱، استاندارد عمق نفوذ

بطوریکه در شکل ۵-۱، مشهود است، پس از نزدیک شدن یک کویل حامل جریان متناوب به سطح یک قطعه، جریان گردابی در عمق آن برقرار گردیده است. عمق مؤثر جریان برای آشکارسازی عیوب طبق استاندارد عمق نفوذ و رابطه ۶-۱، برابر ارتفاع زیگما می باشد که شعاع جریان در جنین عمقی تقریباً معادل یک سوم شعاع آن در سطح می باشد.

در نمودار ۱-۱، رابطه بین فرکانس و عمق نفوذ استاندارد مشاهده می گردد.

نمودار ۱-۱



بطوریکه در نمودار مشخص است، هر چه فرکانس بیشتر گردد، نفوذ جریان گردابی کمتر خواهد شد. البته ذکر این نکته ضروری است که طبق تئوری هیچگاه عمق جریان گردابی به صفر نمی رسد، به همین دلیل نیز حداکثر عمق جریان گردابی با عمق نفوذ استاندارد مقایسه می گردد.

## ۴ - اثر حاشیه و لبه قطعات ( Edge Effect )

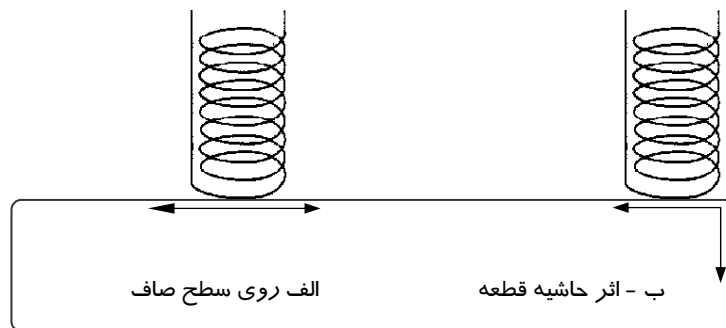
اثر لبه عنوانی است برای علائم ناخواسته ای که بدلیل انحراف جریان گردابی درکناره قطعات روی صفحه نمایش ظاهر می گردد ( شکل ۶-۱ ). اثر حاشیه قطعات به حدی است که واکنش علامت یک ترک هر چند عمیق قابل تفسیر نخواهد بود.

لذا در هرآزمایش، با نزدیک شدن پروب به لبه یا حاشیه کناری قطعات، باید دامنه علائم در همان حالت به صفر رسانده شده و سپس علائم جدید مورد بررسی قرار گیرد .

برای کنترل اثر حاشیه کناری قطعات، معمولاً پروب در یک محفظه مخصوص طوری قرار داده می شود که با حفظ فاصله ای یکسان به موازات لبه حرکت نماید. در چنین حالتی دامنه پالس اثرحاشیه تقریباً ثابت دیده خواهد شد .

چنانچه حاشیه قطعات مورد آزمایش مجاور یک فلز فرومغناطیس واقع شده باشد، اثر حاشیه بسیار شدیدتر خواهد بود و الزاماً باید از پروبی با محافظ مخصوص فرومغناطیسی استفاده گردد، تا پروب بتواند اثرمیدان مغناطیسی جانبی کوپل را بوسیله محفظه فریتی کنترل نماید.

در کارخانه های لوله سازی و آزمایش لوله های مبدل حرارتی، علی رغم استفاده از پروبهای ترکیبی، چندین میلی متر از دو انتهای لوله ها تحت پوشش جریان گردابی قرار نمی گیرد .



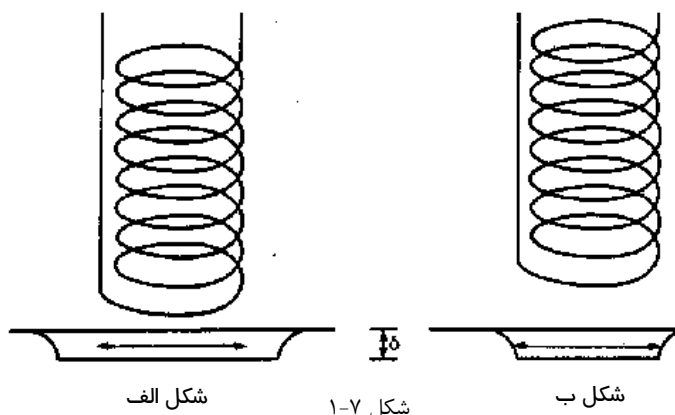
شکل ۶-۱

بطوریکه در شکل ۶-۱، دیده می شود، جریان گردابی در حالت الف یکنواخت انتشار می یابد در حالیکه در کناره قطعه، جریان در دو جهت پراکنده شده و اثر دیواره قطعه بسیار شدیدشده و مانند یک عیب در صفحه نمایش دیده خواهد شد.

## ۵ - اثر برداشت ( Lift-off Effect )

در بحث آزمایش جریان گردابی، عمل بلند نمودن و برداشتن پروب از سطح قطعات مورد آزمایش را با واژه Lift-off بیان می کنند. با برداشتن و فاصله گرفتن پروب از سطح کار، میدان مغناطیسی مولد جریان گردابی به سرعت افت می کند و واکنش بسیار شدیدی در صفحه نمایش دیده خواهد شد ( شکل ۱-۷ ).

با استفاده از خازن و ایجاد تغییر فاز در امپدانس و همچنین تنظیم دامنه در لحظات برداشت پروب، این اثر تحت کنترل قرار می گیرد.



در شکل ۱-۷، در حالت الف کویل با سطح قطعه در تماس است و جریان گردابی با وسعت بیشتری دیده می شود. در شکل ب، کویل از سطح فاصله گرفته است و در حالیکه وسعت جریان کمتر شده، اما اثر میدان معکوس قویتری به کویل منعکس می شود و علامت آن در صفحه تصویر کاملاً متفاوت خواهد بود.

## ۶ - ضریب فاصله ( Fill Factor )

تلرانس فاصله بین پروب و سطح کار، اثری مشابه با ضریب برداشت پروب ( Lift-off ) در نتیجه آزمایش می گذارد اما چنین اثری فقط در زمان آزمایش با کویل های محیطی و میانی قابل بحث خواهد بود.

در شکل ۱-۸ دو حالت از آزمایش لوله مشاهده می شود، در شکل الف، لوله از درون یک کویل محیطی عبور نموده و در شکل ب، کویل ماسوره ای به درون لوله ازسال شده است. در هر دو حالت تعیین فاصله تماس بین کویل و سطح لوله از دو جنبه حائز اهمیت می باشد. اول اینکه در صورت تماس کامل پروب با سطح داخلی و یا خارجی لوله امکان حرکت پروب نخواهد بود و علاوه بر سائیدگی، احتمال گیر کردن پروب زیاد می باشد و از طرفی فاصله زیاد بین سطوح نیز موجب خطای نتایج آزمایش خواهد گردید. فاصله لازم بین سطح پروب و سطح لوله از دو رابطه زیر بدست می آید.

$$F.F = (D_{T1} / D_{C1})^2$$

رابطه ۱-۷، لوله از درون کویل عبور نموده است

$$F.F = (D_{C2} / D_{T2})^2$$

رابطه ۱-۸، کویل از درون تیوب عبور نموده است

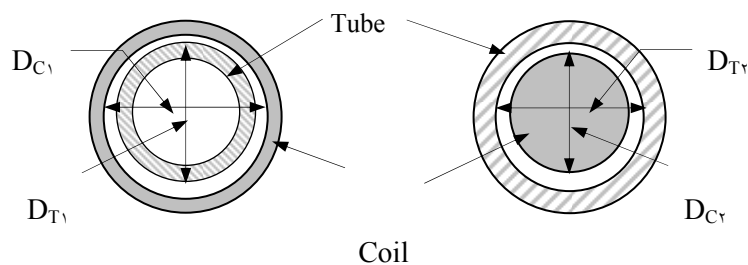
F.F => Fill Factor

$D_{T1}$  - قطر خارجی لوله

$D_{C1}$  - قطر داخلی کویل

$D_{T2}$  - قطر داخلی تیوب

$D_{C2}$  - قطر خارجی کویل



External Coil شکل الف

Internal Coil شکل ب

شکل ۱-۸

تأثیر و روش محاسبه ضریب فاصله و همچنین تأثیر عوامل فوق در بخش های بعدی نیز مورد بحث قرار خواهند گرفت.

## بخش دوم

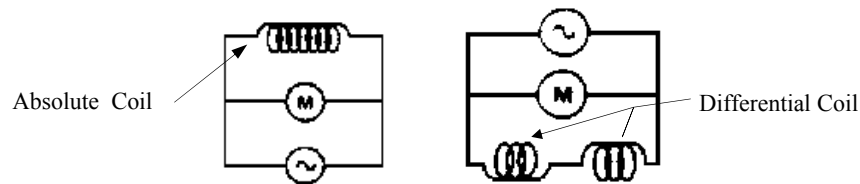
## مدارهای داخلی

اصولاً مدارهای الکترونیکی بکاررفته در دستگاه های جریان گردابی طوری طراحی می شوند که نتوانند کوچکترین تغییرات در جریان کویل را بدون علامت زائد، با دامنه کافی و قابل تفسیر نشان دهند. مهمترین تفاوتی که در سیستم مدارهای الکترونیکی دستگاه های جریان گردابی دیده می شود، مربوط به مدار پایه ای آنهاست که متغیرهایی چون ضریب خودالقائی کویل، مقاومت خازن و مقاومت R را از طریق کلیدهای کنترل تنظیم می کند. اساساً مدارهای اصلی و پایه ای دستگاه های ادی کارنت در چهار گروه زیر تقسیم می شوند:

- |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| Simple Circuits          | ۱ - مدارهای ساده         |
| Resonance Circuits       | ۲ - مدارهای رزونانس      |
| Bridge Circuits          | ۳ - مدارهای حلقه ای (پل) |
| Phase-sensitive Circuits | ۴ - مدارهای فازی         |

## تعاریف دو واژه :

- ۱ - Absolute Coil (مستقل) به کویلی گفته می شود که تغییرات ضریب خودالقائی آن بطور مطلق ارزیابی می گردد. این نوع کویل ها بصورت منفرد و یا زوج ساخته می شوند.
- ۲ - Differential Coil (مقایسه ای) به کویلی گفته می شود که حداقل از دو سیم پیچ تشکیل شده که بطور سری با هم در ارتباط هستند. در چنین مداری، تغییرات هر کویل با کویل مجاور مقایسه می شود. این نوع کویل نیز ممکن است بصورت زوج ساخته شود.

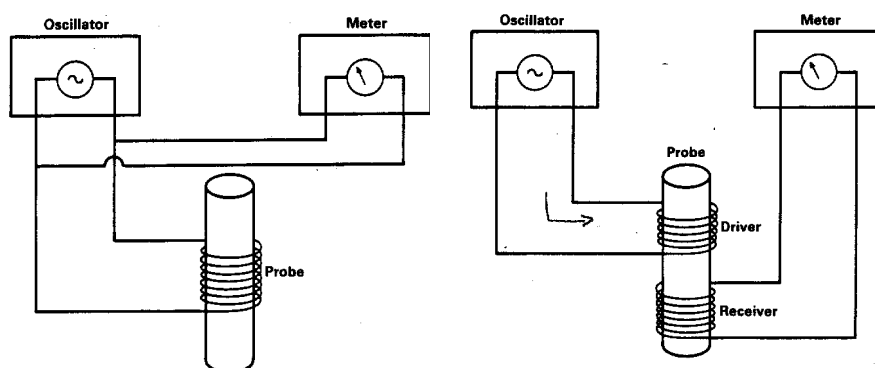


شکل ۱-۲، کویل های منفرد مستقل و مقایسه ای

## شرح مدارها :

## ۱ - مدارهای ساده

در شکل ۲-۲ الف، یک نمونه مدار بسیار ساده دیده می شود که در آن از یک اسیلاتور برای تولید جریان های سینوسی با فرکانس بالا و یک ولت متر استفاده شده است. در زمان آزمایش، با قرار گرفتن کویل روی سطح کار، نیروی محرکه مخالفی روی امپدانس کویل اثر می گذارد. در این حالت به کمک کلید کنترل، عقربه ولت متر روی صفر تنظیم می گردد. پس از حرکت پروب و رسیدن آن به عیبی مانند ترک، چگالی میدان تغییر کرده و حد تغییرات آن روی امپدانس کویل اثر می گذارد، در این حالت عقربه ولت متر متناسب با بزرگی ترک منحرف خواهد شد.



شکل الف ، مدار مستقل منفرد

شکل ب ، پروب با کویل مقایسه ای

شکل ۲-۲

حالت مشابهی را می توان با دو کویل محرک و گیرنده ( Double Absolute Coil ) بوجود آورد ( شکل ۲-۲ ب ) . در این نوع مدار دو کویل مستقل از هم روی یک پروب قرار گرفته و اسیلاتور فقط کویل محرک را تغذیه می نماید . پس از واقع شدن پروب روی قطعه ای بدون عیب، بکمک کلید کنترل بین دو کویل تعادل الکتریکی برقرار می شود. اما با حرکت پروب به سمت عیب، تراز بین دو کویل از تعادل خارج شده و عقربه متناسب با بزرگی عیب منحرف خواهد شد .



## ۲- مدارهای رزونانس ( Resonance Circuits )

مدارهای رزونانس، مدارهای هماهنگی هستند که در آن ضریب خودالقائی یک کویل و مقاومت ظاهری یک خازن با هم در حالت تعادل قرار دارند و طبق رابطه زیر مقاومت ظاهری مدار (  $Z$  ) با مقاومت کویل (  $R$  ) برابر می باشند .

$$Z = \{ R^2 + (X_L - X_C)^2 \}^{1/2} \quad \text{رابطه ۲-۱}$$

$$X_L = X_C \quad \Rightarrow \quad Z = R$$

$$X_L = 2\pi fL \quad X_C = 1 / 2\pi fC$$

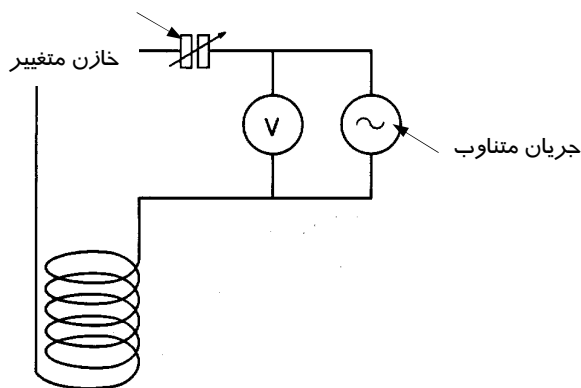
$Z$  - مقاومت ظاهری مدار

$R$  - مقاومت فلزسیم پیچ

$X_L$  - مقاومت ظاهری خودالقائی ( Inductance Reactance )

$X_C$  - مقاومت ظاهری خازن

در چنین حالتی هرگاه به علت تغییر چگالی جریان گردابی، تغییری در مقاومت ظاهری کویل روی دهد، مدار از تعادل خارج شده و خازن برای حفظ تشدید، ولتاژ بیشتری را به کویل خواهد داد ( شکل ۲-۳ ) .



شکل ۲-۳

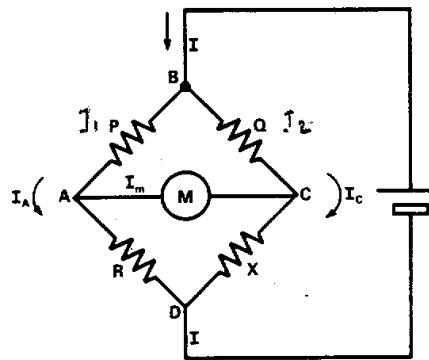
در دستگاه هائی که یک کویل مستقل و یک خازن بطور سری در مدار قرار گرفته باشند فرکانس مدار انتخابی نبوده بلکه تابع فرکانس پروب خواهد بود .

## ۳ - مدارهای حلقه ای ( Bridge Circuits )

این نوع مدارها که در آن از پل واتستون استفاده گردیده به مدارهای Bridge موسومند مدارهای واتستون از چهار شاخه ( در یک حلقه ) با جریان متناوب تشکیل شده اند. این نوع مدار در مقایسه با مدارهای قبلی کاربرد گسترده تری در دستگاه های ادی کارنت دارند .  
در شکل ۲-۴ ، نمونه ای از پل واتستون با چهار شاخه مخصوص دستگاه جریان گردابی مشاهده می گردد . در چنین مداری، وقتی جریانی بین دو نقطه A,C عبور نکند، اختلاف پتانسیل در این دو نقطه برابر خواهد شد .

$$V_A = V_C \Rightarrow V_{AB} = V_{CB} , V_{AD} = V_{CD}$$

در چنین حالتی، شدت جریان در مقاومت R برابر با شدت جریان در مقاومت P و همچنین شدت جریان در مقاومت Q برابر با مقاومت X خواهد بود.



شکل ۲-۴

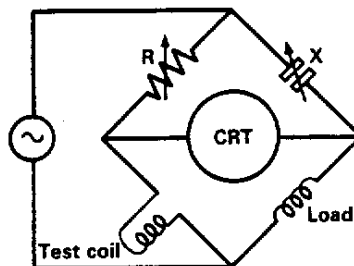
مدار واتستون در دستگاه های جریان گردابی به دو طریق زیرآرایش می یابند :

الف - مدار با کویل مستقل ( Absolute Coil circuit )

یک کویل آزمایش مستقل در شاخه AD ، یک خازن در شاخه BC ، یک مقاومت R در شاخه AB و یک کویل موازنه در شاخه CD قرار می گیرند ( شکل ۲-۴ ) .

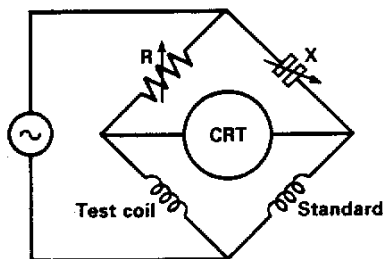
ب - مدار با کویل مقایسه ای ( Differential Coil Circuit )

در این نوع مدار که کویل حاوی دو سیم پیچ سری است، یک سیم پیچ در یک شاخه بجای کویل مستقل و سیم پیچ دیگر بجای کویل موازنه ( Load ) قرار می گیرد .



شکل ۲-۵

در دستگاه های طبقه بندی فلزات ( Sorting )، کوپل آزمایش نمونه مرجع در یک شاخه و کوپل آزمایش قطعات اصلی در شاخه دیگر مدار واقع شده اند ( شکل ۲-۶ ). بطور کلی در دستگاه های جریان گردابی، دو شاخه مقاومت R و مقاومت خازن بوسیله کلیدهای کنترل تنظیم می گردند و دو شاخه دیگر را عوامل پروب های حامل کوپل های آزمایش و موازنه تشکیل می دهند .



شکل ۲-۶

#### ۴ - مدارهای حساس فازی ( Phase-sensitive Circuits )

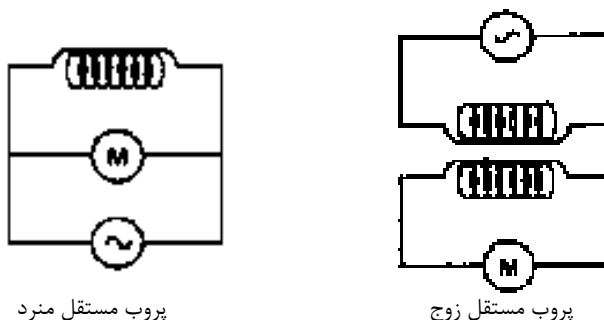
با این نوع مدارها صفحه نمایش فقط تغییرات دامنه ولتاژ را نشان می دهد که از دو مدار الکتریکی حلقه ای تشکیل شده است. مدار اولیه شامل دو کوپل مقایسه ای با خازن های متغییر می باشد و مدار ثانویه با چند یکسو کننده، تأمین کننده ولتاژ مرجع خواهد بود. با اتصال دو مدار به یکدیگر، سیستم دستگاه می تواند نسبت به تغییرات فاز ولتاژ حساس گردد . بنابراین علائم صفحه تصویر تابع ولتاژی خواهد بود که با ولتاژ مرجع در یک فاز باشد .

### آرایش کویل ها

پروبهای آزمایش ادی کارنت در چهار گروه اصلی زیر معرفی می شوند :

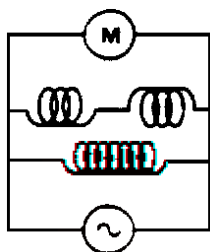
- |                           |                              |
|---------------------------|------------------------------|
| Single Absolute Coils     | ۱ - کویل های مستقل منفرد     |
| Double Absolute Coils     | ۲ - کویل های مستقل زوج       |
| Single Differential Coils | ۳ - کویل های مقایسه ای منفرد |
| Double Differential Coils | ۴ - کویل های مقایسه ای زوج   |

در شکل ۲-۷ دو نوع کویل مستقل منفرد و زوج دیده می شوند . در کویل های منفرد، یک کویل برای هر دو منظور تولید جریان و دریافت پاسخ از واکنش جریان گردابی طراحی می شوند که با انواع دستگاه های عقربه ای و صفحه نمایش کاتدی قابل استفاده هستند .  
در کویل های مستقل زوج، یک کویل مولد جریان گردابی و دیگری گیرنده پاسخ های واکنش جریان می باشد. ولتاژ کویل گیرنده توسط جریان گردابی القاء می گردد که معمولاً کمتر از ولتاژ کویل مولد اولیه است .

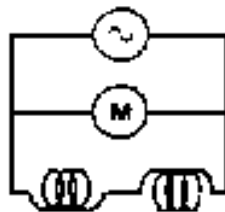


شکل ۲-۷

کویل های مقایسه ای حداقل از دو کویل تشکیل شده که با ضریب خودالقائی برابری، متقابل به هم عمل می کنند . در این نوع کویل هل، تغییراتی که در هر کویل انجام می گیرد با کویل متقابل بخود مقایسه می شود . در این نوع کویل ها، طول موج های معینی برای جریان طراحی می گردد و از طریق آنالیز طول موجها، عیوب آشکار و تفکیک می گردند. در شکل ۲-۸ نمونه ای از یک کویل مقایسه ای دیده می شود .

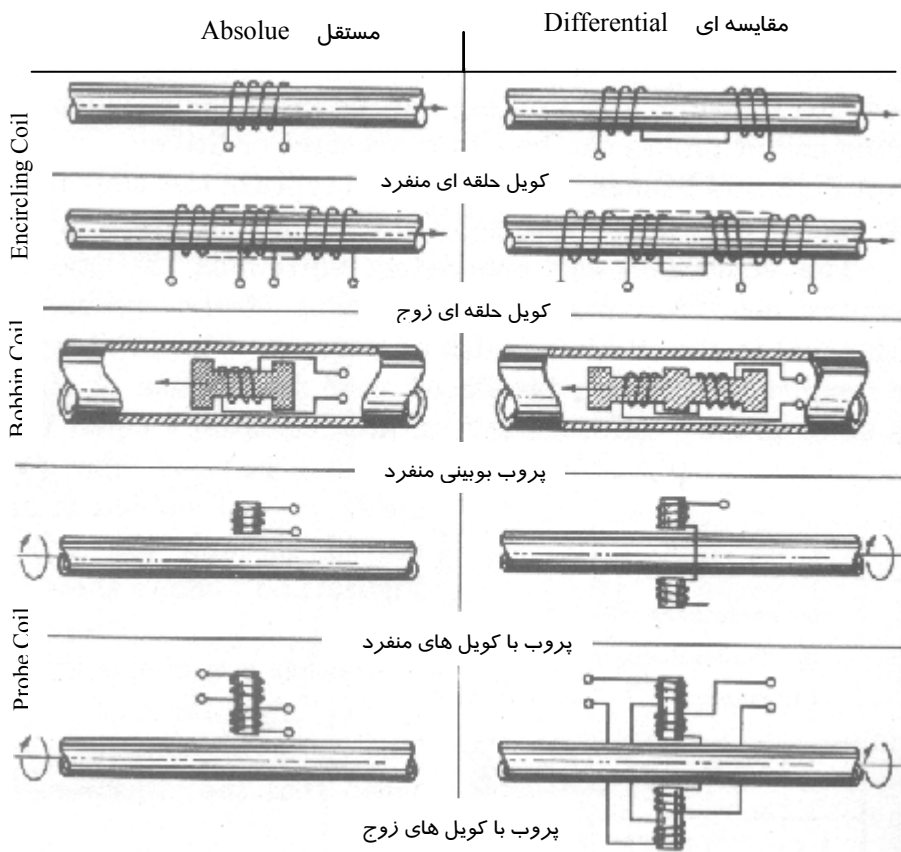


کویل مقایسه ای زوج



کویل مقایسه ای منفرد

شکل ۲-۸



شکل ۲-۹

در شکل ۹-۲ انواع کوپل های آزمایش جریان گردابی مشاهده می گردد. البته آرایش کوپل ها بصورت های ترکیبی، چند منظوره و چرخشی نیز طراحی می گردد که در بخش آزمایش لوله های مبدل حرارتی معرفی می شوند.

#### تفاوت کوپل ها :

- تفاوت های عمده کوپل های مستقل و مقایسه ای در نکات زیر خلاصه می گردد :
- ۱ - پروب حامل کوپل مستقل، علائم عیوب را واضح تر نشان می دهد .
  - ۲ - عیوب طولی با پروب های مستقل بهتر عیان می شوند .
  - ۳ - عیوب انتهای قطعات با پروب مقایسه ای قابل آشکارسازی نمی باشند، به همین جهت از ترکیب کوپل های مستقل و مقایسه ای در یک پروب استفاده می شود .
  - ۴ - فاصله تماس ( در حد متعارف ) در آزمایش با پروبهای مقایسه ای تأثیری در شکل گیری علائم ندارد در حالیکه با پروب مستقل علائم زائد در صفحه نمایش ظاهر می گردند.
  - ۵ - عملکرد پروب مستقل روی سطوح داغ بهتر است .

#### انواع پروبها :

با تعریفی که از انواع آرایش کوپل ها ارائه گردید، می بینیم که ترکیب کلی هر پروب از تعدادی کوپل با مشخصات خاصی تشکیل شده است . بطور کلی انواع پروبها در سه گروه زیر معرفی می شوند :

- ۱ - پروب آزمایش سطوح ( Surface Probes )
- ۲ - پروب های محیطی ( Encircling Probes )
- ۳ - پروب های ماسوره ای ( Internal Bobbin Probes )

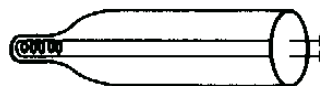
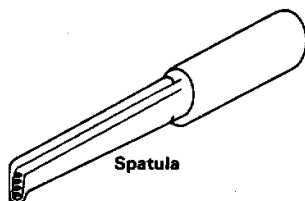
#### الف - پروب های آزمایش سطوح

این نوع پروبها، از طریق نزدیک شدن و تماس پروب با سطح کار، جریان گردابی را در قطعات القاء می کنند و میدان های جریان گردابی به شکل حلقه های موازی با سطح پیرامون پروب تولید می گردند. چنانچه عیبی خطوط جریان را قطع نماید، آشکار خواهد شد البته برای عیوب موازی با سطح از کوپل های عمودی استفاده می گردد .

در شکل ۲-۱۰ پروب ساده از نوع مدادی (Pencil) دیده می شود که با فرکانس نسبتاً زیادی برای آشکارسازی عیوب سطحی شده است. نوع دیگری از پروب های سطحی، به نوع چاقوئی معروف هستند که مخصوص آزمایش فضاهای محدود و درزهای بین قطعات ساخته می شوند (شکل ۲-۱۱).

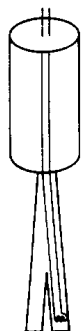
شکل ۲-۱۱ پروب چاقوئی

شکل ۲-۱۰ پروب مدادی

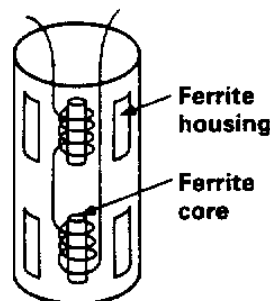


پروب دیگری موسوم به Bolt-Hole Probe وجود دارد که مخصوص آزمایش قطر داخلی و فاصله بین دندانهای پیچ و مهره طراحی شده است. در این نوع پروب جهت کویل عمود بر سطح تماس قرار دارد و با حرکت چرخشی پروب، کوچکترین کاهش قطر داخلی بین دندانها را نشان می دهد (شکل ۲-۱۲).

برای سطوح عریض تر از پروبهای بزرگتر استفاده می شود که قطر کویل آنها بزرگتر و در مقابل با فرکانس کمی کار می کنند. این نوع پروب که به (Pancake Probe) موسوم است از دو کویل مقایسه ای زوج در یک محفظه فرومغناطیسی تشکیل شده است (شکل ۲-۱۳).

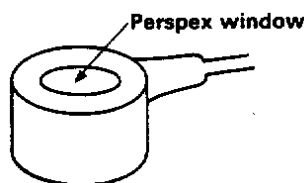


شکل ۲-۱۲ پروب اندازه گیر داخلی



شکل ۲-۱۳ پروب استوانه ای

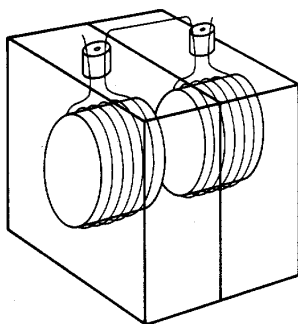
نوع دیگری از پروبهای سطحی که به پروبهای حلقه ای ( Ring Probe ) موسومند، مخصوص آزمایش پیچ و مهره های ( سفت کننده ها ) اتصالات فلزی می باشد که آزمایش از روی سطح و بدون جدا نمودن آنها انجام می گیرد ( شکل ۲-۱۴ ) .



شکل ۲-۱۴

### ب - پروبهای محیطی ( Encircling Probe )

این نوع پروب که از کوپل های محیطی نسبتاً بزرگی تشکیل شده، مخصوص آزمایش قطعات استوانه ای ، لوله ها و مفتول های فلزی در کارخانه های تولیدی می باشد که قطعات از درون کوپل ها عبور نموده و آزمایش می گردند. در این نوع پروبها بیشتر از کوپل های ترکیبی استفاده می گردد. نکته بسیار مهم در کاربرد این نوع پروبها، حفظ فاصله بین سطح داخلی کوپل با سطح خارجی لوله ها می باشد که ضریب فاصله نباید از  $0.7$  کمتر گردد. توضیح بیشتر در بخش سوم داده خواهد شد. در شکل ۲-۱۵ شماتیک کوپل محیطی ملاحظه می گردد.



شکل ۲-۱۵

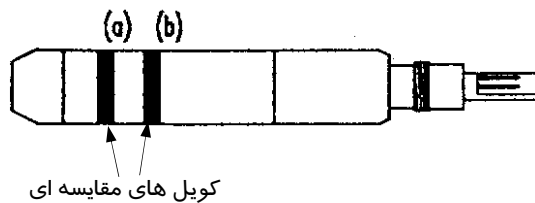


## ج - پروبهای توپکی ( Internal Bobbin Probe )

همانطور که از عنوان آن مشخص است این نوع پروب با ترکیبی از کوپل های بوبینی، به شکل یک توپک از درون قطعات عبور نموده و آنها را آزمایش می کند . مهمترین کاربرد این نوع پروبها برای آزمایش لوله های مبدل حرارتی با قطر کم و لوله های مشابه است .

با این نوع پروب ها نیز ضریب فاصله بین سطح خارجی پروب و سطح داخلی لوله ها بسیار حائز اهمیت است و بطور تجربی برای لوله های کار کرده حدود  $0/6$  مناسب می باشد. در بخش آزمایش لوله های مبدل حرارتی شرح کامل دلداده خواهد شد .

در شکل ۱۶-۲ یک نمونه پروب توپکی مخصوص آزمایش لوله های مبدل حرارتی مشاهده می گردد که از دو کوپل مقایسه ای a و b تشکیل شده است .



شکل ۱۶-۲ ، نمونه ای از پروب توپکی

### دستگاه های جریان گردابی

همانطور که در معرفی مدارها گفته شد، مکانیزم اصلی هر دستگاه ادی کارنت براساس یکی از مدارهای پایه ( Basic Circuit ) طراحی گردیده که تغییرات ولتاژ و امپدانس مدارها از طریق کلیدهای کنترل Lift-off ، Load و Blance تنظیم می گردند، البته ویژگی های مهم دیگری در مدارهای الکترونیکی دستگاه ها وجود دارد که بیشتر به تکنولوژی ساخت، توانائی سازنده دستگاه ها و مدل آنها مربوط می شود و خارج از بحث این کتاب می باشند .

آنچه برای کاربرد دستگاه های جریان گردابی اهمیت دارد، نوع صفحه نمایش برای تفسیر علائم واکنش جریان گردابی و انواع کوپل هائی است که در مدارهای پایه قرار می گیرند. اصولاً صفحه نمایش به چند حالت عقربه ای، دیجیتال و صفحه تصویرلامپی ساخته می شوند. در ادامه به معرفی انواع صفحات نمایش می پردازیم :

### الف - صفحه نمایش عقربه ای و دیجیتال

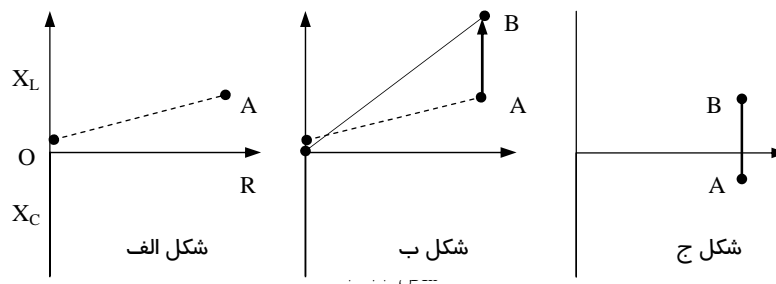
دستگاه های نمایش عقربه ای، ساده ترین نوع دستگاه ادی کارنت هستند که اغلب مجهز به صفحه کمکی دیجیتال بوده و در اندازه های کوچک و سبک ساخته می شوند. از این نوع دستگاه ها برای اندازه گیری قابلیت هدایت الکتریکی، ترک یابی و ضخامت سنجی عایق روی فلزات استفاده می گردد .

همانطور که قبلاً اشاره گردید، در آزمایش جریان گردابی مهمترین فاکتور تأثیر گذار در زمان اجرای آزمایش، تنظیم ضریب برداشت ( Lift-off ) می باشد. در دستگاه های ترک یاب عقربه ای، سیستمی برای تنظیم ضریب جابجائی طراحی می شود تا از طریق نمودار امپدانس، اثر آن تحت کنترل قرار گیرد . در شکل ۱۷-۲ روش تنظیم ضریب برداشت مشاهده می گردد.

وقتی پروب ( کوپل ) روی ناحیه سالم قطعه مورد آزمایش قرار می گیرد، واکنش جریان گردابی بردار OA را ( شکل الف ) می سازد و عقربه نوسانی نشان خواهد داد. با قرار دادن پروب روی یک کاغذ مقوایی نازک ( بین قطعه و پروب )، بردار تغییر جهت داده و به حالت OB ( شکل ۱۷-۲ ب ) در خواهد آمد و عقربه عدد دیگری را نشان خواهد داد. در چنین حالتی اندازه بردار AB معادل ضریب جابجائی قطعه مورد آزمایش می باشد.

برای تنظیم نهائی، بکمک کلیدکنترل Lift-off، بردار AB روی محور افقی نمودار امپدانس قرار داده می شود ( شکل ج ). در این حالت مقاومت خازن C، مقاومت R و ضریب خودالقائی L، به تناسب ضریب جابجائی تنظیم خواهند شد.

پس از انجام این تنظیم، هرگونه جابجائی پروب روی قطعه مورد آزمایش تأثیری در کمیت واکنش جریان گردابی نمی گذارد، اما با تغییرنوع قطعه، تنظیم جدیدی نیاز خواهد بود.



### ب - لامپ کاتدی ( Cathode Ray Tube )

در این نوع دستگاه ها، تغییرات نمودار امپدانس توسط چهار صفحه خازن در صفحه تصویر انجام می گیرد که شکل حرکت الکترون های آغشته به فسفر به سفر به نوع دستگاه آزمایش و نمودار امپدانس بستگی دارد که در چند حالت زیر طراحی می گردند.

#### ۱ - صفحه نمایش آاسکن ( A-SCAN )

ظاهر این نوع صفحه تصویر مانند صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک می باشد که در آن دسته هائی از الکترونها بطور منقطع، آغشته برنگ فسفر از سمت چپ به سمت راست صفحه تصویر در حرکت می باشند و با تکرار پیوسته الکترونها، تداوم خط طولی محور افقی صفحه شکل می گیرد که اندازه طول آن به تعداد دفعات تکرار حرکت الکترون ها بستگی دارد. بطور مثال اگر تعداد دفعات تکرار حرکت الکترونها ۱۰۰ بار در ثانیه باشد، طول محور افقی یک صدم ثانیه خواهد بود که این مقدار تا یکهزارم ثانیه قابل تعدیل است.

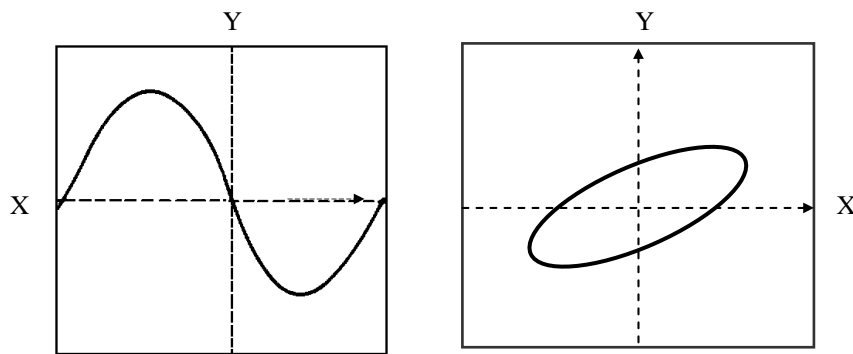
واکنش جریان گردابی در این نوع صفحات به شکل علائم سینوسی نشان داده می شود که دامنه آن به اندازه عیب و واکنش جریان گردابی بستگی دارد ( شکل ۱۸-۲ الف ).

## ۲- صفحه با تصویر بیضوی ( Ellipsoid Display )

هرگاه ولتاژهای مداری در دو حالت سینوسی و کسینوسی همزمان در دو محور  $X$  و  $Y$  به صفحات خازن یک لامپ تصویر ارسال گردند، تصویری بیضی شکل در صفحه تصویر دیده خواهد شد که حالت بیضی بودن آن تابع اختلاف فاز بین دو ولتاژ می باشد. وقتی هردو ولتاژ در یک فاز قرار گیرند، علامت بیضی بصورت یک خط راست در خواهد آمد و اگر اختلاف فاز بین آنها به  $90^\circ$  درجه برسد، شکل علامت بصورت دایره دیده خواهد شد.

بنابراین در این نوع دستگاه ها، زاویه و شیب بیضی به دامنه و اختلاف فاز بین دو ولتاژ بستگی خواهد داشت ( شکل ۲-۱۸ - ب ).

در سیستم تصویری بیضوی، هر دو ولتاژ باید با فرکانس مشابهی تولید شوند.



شکل ۲-۱۸ - الف

شکل ۲-۱۸ - ب

## ۳- صفحه نمایش برداری ( Vector Point Display )

در دستگاه های پیشرفته، صفحه نمایش براساس نموداری از بردارهای امپدانس نشان داده می شود. بدینصورت که علامت ولتاژ پس از یکسو شدن به دو جزء سینوسی و کسینوسی به صورت علائم الکترونیکی با اختلاف فاز  $90^\circ$  درجه در صفحه تصویر دیده خواهند شد.

چنانچه در یک شاخه از حلقه مدار الکترونیکی صفحه تصویر نوع برداری ( Vector ) یک کوپل مستقل تکی ( Single Absolute ) در یک شاخه و یک کوپل موازنه ( Balance ) در شاخه دیگر آن قرار گیرد با تغییر مقاومت (  $R$  ) و خازن متغییر (  $C$  ) علائم واکنش جریان گردابی بصورت علائم برداری و در حالت فازی قابل تنظیم خواهند بود.

در بعضی از دستگاه‌ها، بجای کویل مستقل از کویل مقایسه ای استفاده می شود که هر نیم جزء آن در یک شاخه مدار قرار می گیرد. در بیشتر دستگاه‌ها، تعادل مدار حلقه ای صفحه تصویر (Balancing) بطور خودکار انجام می شود.

توانائی نفوذ با این نوع دستگاه‌ها به فرکانس و اختلاف فاز بستگی دارد، لذا در انتخاب فرکانس آزمایش علاوه بر رعایت ضریب نفوذ جریان گردابی، باید زمینه ایجاد اختلاف فاز بین مدار امیدانس (عیوب) و علائم زائد نیز در نظر گرفته شود.

اصولاً بمنظور تقویت مدار حلقه ای دستگاه‌ها، یک کلید کنترل دسی بل نیز برای تقویت گیرنده در دستگاه‌ها وجود دارد که فقط علائم بازتابش را تقویت خواهد نمود و تأثیری در شدت جریان گردابی و کمیت ولتاژ ندارد.

در یک رابطه لگاریتمی با افزایش شش دسی بل به سیستم حساسیت، دامنه علائم صفحه تصویر دو برابر خواهد گردید.

در شکل ۱۹-۲ نمونه ای از یک دستگاه جریان گردابی محصول ۲۰۰۴ مشاهده می گردد که صفحه تصویر همزمان هر دو تصویر آسکن و سیستم فازی را نشان می دهد. در این نوع دستگاه تغییرات دامنه با دو فرکانس متفاوت قابل تنظیم می باشد.



شکل ۱۹-۲، صفحه تصویر ترکیبی فازی و آسکن



شکل ۲-۲۰

در شکل ۲-۲۰، یک دستگاه جریان گردابی با تصویر فازی مشاهده می‌گردد که واکنش هر سه عیب قطعه مورد آزمایش را با دامنه و فاز متفاوتی نشان داده است. در چنین حالتی اگر سطح کار ناهموار باشد، با تغییر فاز، علائم بازتابش آن روی محور افقی منطبق می‌گردد. در شکل ۲-۲۱ یک دستگاه جریان گردابی مخصوص آزمایش طبقه بندی فلزات همراه با نمونه های تنظیم مشاهده می‌گردد.



شکل ۲-۲۱

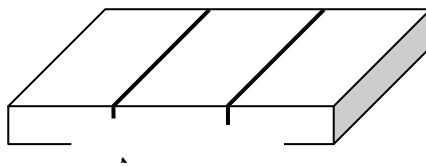
### نمونه های تنظیم ( Calibration Blocks )

با توجه به پیچیدگی عملکرد جریان های القائی، وجود نمونه های تنظیم در آزمایش جریان گردابی یک امر اجتناب ناپذیر بشمار می آید و علائم واکنش های جریان گردابی فقط از طریق مقایسه با مواد و عیوب مرجع قابل شناخت خواهند بود. به همین منظور برای انواع آزمایش های جریان گردابی نمونه هایی متناسب با نوع آزمایش تهیه می گردد.

#### انواع نمونه های تنظیم

##### ۱- نمونه شیاری

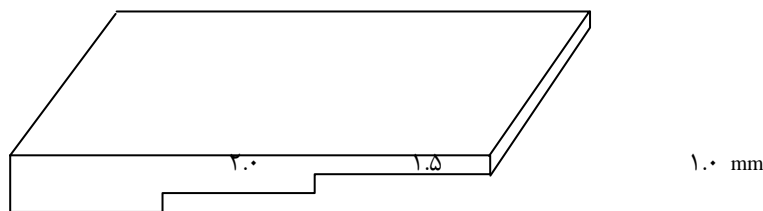
برای آزمایش سطوح در فرکانس های بالا از نمونه تنظیمی استفاده می شود که در آن شیارهایی به عمق  $0/5$  تا  $1$  میلی متر ایجاد شده باشد. این نوع نمونه بصورت استاندارد از موادی چون آلومینیوم، فولاد ضد زنگ آستنیتی و فولاد کربنی ساخته شده اند و در صورت نیاز برای مواد دیگر نیز باید تهیه گردد ( شکل ۲-۲۲ ).



شکل ۲-۲۲ ، نمونه تنظیم با شیار

##### ۲- نمونه پله ای ( Step Wedges )

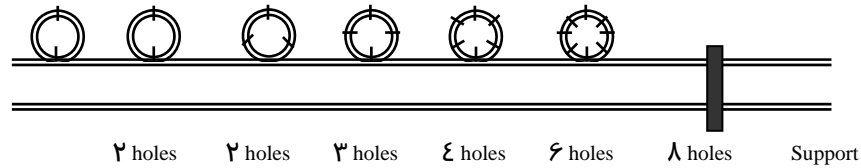
این نمونه بصورت پله ای با سه ضخامت  $1$ ،  $1/5$  و  $2$  میلی متر ساخته می شود و با آن تغییرات ضخامت در آزمایش Sorting بدست می آید.



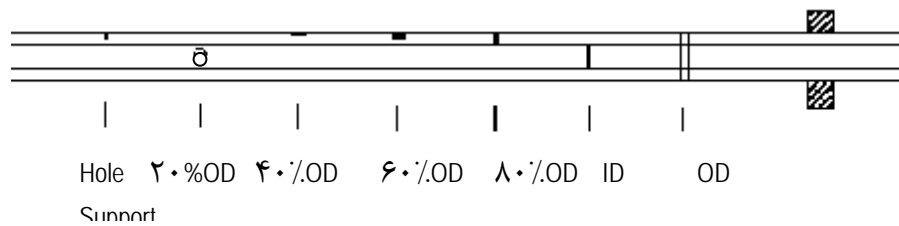
شکل ۲-۲۳ ، نمونه پله ای

## ۳ - لوله استاندارد ( Standard Tube )

این نوع نمونه ها که به لوله های استاندارد موسومند با ابعاد و سوراخهایی که توسط استانداردها تعیین می گردد ساخته می شوند . در شکل ۲-۲۴ و ۲-۲۵ دو نمونه لوله استاندارد با مشخصات ASME و Correch مشاهده می گردد که برای آزمایش لوله های مبدل حرارتی طراحی شده اند . در بخش سوم از این نمونه بیشترگفته خواهد شد .



شکل ۲-۲۴ نمونه استاندارد Correch



شکل ۲-۲۵ لوله استاندارد ASME



## بخش سوم

### کاربردهای جریان گردابی

در یک جمع بندی کلی، از خاصیت جریان های گردابی برای اهداف زیر استفاده می گردد :

- ۱ - آشکارسازی ترک ها
- ۲ - آزمایش لوله و مفتول های فلزی
- ۳ - آزمایش جوش
- ۴ - طبقه بندی فلزات هم خانواده
- ۵ - اندازه گیری ضخامت عایق ها
- ۶ - بازرسی و آزمایش لوله های مبدل حرارتی

#### ۱ - آشکارسازی ترک ( پروبهای دستی )

اصولاً نفوذ جریان گردابی در مواد فرومغناطیسی فقط زمانی روی می دهد که دهانه عیب رو به سطح کار باز شده باشد ( Surface Breaking ). لذا برای آشکار نمودن عیوب در زیرسطح ( Sub-surface ) قطعات فرومغناطیسی ، باید اثر خاصیت مغناطیس پذیری قطعات مورد آزمایش با روش های اشباع سازی خنثی گردد

با این توضیح، دستگاه های جریان گردابی که برای آزمایش ترک یابی طراحی شده اند، به نسبت خواص مغناطیس پذیری فلزات به دو دسته زیرتقسیم می شوند :

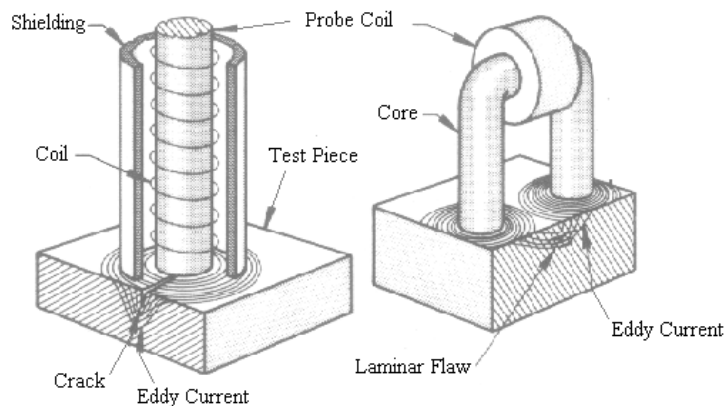
الف - دستگاه هایی با فرکانس زیاد که عیوب باز شده در سطح را در کلیه فلزات فرومغناطیسی و غیرفرومغناطیسی آشکار می سازند .

ب - دستگاه های با فرکانس پائین که مخصوص آزمایش فلزات غیرفرومغناطیس هستند و عیوب زیر سطحی را آشکار می نمایند .

آزمایش جریان گردابی در مقایسه با انواع روش های غیرمخرب نسبت به عیوب سطحی حساس تر و توانا تر می باشد. این نوع جریان ها در فرکانس های زیاد از خاصیت تفکیک سازی عالی برخوردار بوده و کوچکترین عیوب سطحی را در حد مطلوب آشکار می نمایند.

حد فرکانس برای آزمایش مواد مغناطیسی بیش از یک کیلوهرتز است در حالیکه، حداکثر فرکانس قابل استفاده برای فلزات غیرفرومغناطیس تا یک کیلوهرتز می باشد.

در شکل ۳-۱ دو نمونه پروب میله ای و نعل اسبی مشاهده می گردد که پروب میله ای برای آشکارسازی ترکهای عمودی و پروب نعل اسبی ( U شکل ) با کوئل های عمود بر سطح مخصوص ترکها و عیوب موازی با سطح می باشند.



شکل ۳-۱

#### نکات مهم :

- ۱ - معمولاً برای ترک یابی قطعات کم ضخامت از پروبهای مقایسه ای استفاده می گردد. با این نوع پروبها، تغییرات اندک ابعادی و درجه حرارت در نتیجه گیری اثری ندارند.
- ۲ - از پروبهایی که جهت سیم پیچ آنها عمود بر سطح باشند برای آشکارسازی عیوب موازی با سطح استفاده می گردد.
- ۳ - اندازه گیری عمق ترکها سطحی و زیر سطحی در قطعات غیرفرومغناطیس، فقط از طریق مقایسه با نمونه استاندارد انجام می گیرد.
- ۴ - چون ترک های زیر سطحی در قطعات فرومغناطیسی آشکار نمی گردند، اندازه گیری عمق ترکهای باز نیز غیرممکن می باشد.

## ۲ - آزمایش لوله و مفتول های فلزی

برای آزمایش لوله، مفتول و قطعات استوانه ای فلزی اغلب از کویل های محیطی که ترکیبی از کویل های مستقل و مقایسه ای هستند استفاده می گردد در این روش قطعات با عبور از درون کویل های القاء کننده آزمایش می گردند. حداکثر قطر و ضخامت قابل آزمایش به جنس قطعات، فرکانس و شدت میدان مغناطیسی کویل ها بستگی خواهد داشت .

اصولاً آزمایش لوله، سیم و قطعات استوانه ای فقط با دستگاه های اتوماتیک در کارخانه های تولیدی انجام می گیرد که با پیشرفت تکنولوژی ساخت دستگاه ها و ادوات جانبی، سرعت آزمایش تا حد ۳ متر در ثانیه رسیده است .

روش ادی کارنت برای لوله های غیر فرومغناطیسی مانند فولادهای ضد زنگ آستنیتی و آلیاژهای مشابه آن روش بسیار مناسبی بشمار می آید و نیازی هم به عملیات اشباع مغناطیسی و مغناطیس زدائی نخواهد بود .

اما با توجه به اینکه اغلب محصولات کارخانه ها از جنس فولاد فرومغناطیسی می باشد، لذا برای آزمایش قطعاتی که خاصیت آهنربا شدن دارند از تسهیلات اشباع مغناطیسی که شامل یک کویل با قدرت مغناطیس سازی بالا می باشد استفاده می گردد .

هر لوله و یا قطعه استوانه ای فرومغناطیس که معمولاً روی غلطک ها در حرکت هستند، قبل از ورود به درون کویل ادی کارنت، از درون کویل اشباع کننده می گذرد. پس از اشباع کامل قطعه مورد آزمایش، قابلیت آهنربائی آن خنثی شده و مانند یک قطعه غیر فرومغناطیس آزمایش می گردد. حجم و بزرگی کویل اشباع کننده که با جریان مستقیم کار می کنند، به قطر و ضخامت لوله ها بستگی دارد.

### نکات مهم :

۱ - با حفظ سرعت ثابت و استفاده از کویل های مقایسه ای ( Differential )، علائم عیوب بخوبی قابل تشخیص خواهند بود و علائم زائد نیز حذف می گردند .

۲ - لوله ها و قطعات فرومغناطیسی پس از عبور از کویل های اشباع و ادی کارنت، باید تحت فرآیند مغناطیس زدائی نیز قرار گیرند .

۳ - بدلیل واکنش اثر حاشیه در ابتدا و انتهای هر لوله ( Edge Effect )، تمهیدات مکملی برای آزمایش دو سر لوله ها باید پیش بینی گردد .

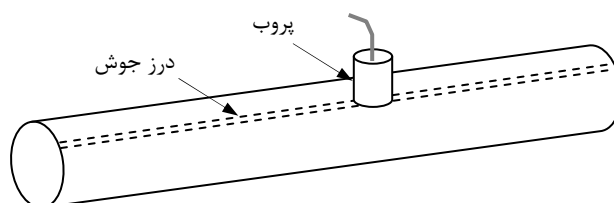
۴ - چنانچه فقط از کوپل مقایسه ای استفاده گردد، عیوب سرتاسری که با هر دو کوپل مقایسه ای در تماس باشند قابل آشکارسازی نخواهند بود .

برای رفع چنین اثری باید از پروبهای ترکیبی شامل کوپل های مقایسه ای و کوپل مستقل استفاده نمود.  
۵ - اصولاً شدت جریان گردابی محیطی ( القاء سطح جانبی )، در مرکز قطعات استوانه ای صفر می باشد، لذا عیوب ممتد مرکزی در قطعاتی که با فرآیند نظیر Extrusion ساخته می شوند قابل آشکارسازی نخواهند بود.

### ۳ - آزمایش جوش ( Weld Testing )

برای آشکارسازی عیوب سطحی مانند ترک های ریز در جوشهای فرومغناطیسی از دستگاه ادی کارنت با فرکانسی بالا استفاده می شود . در این روش ترکهای کم عرض سطحی در گوشه جوش ها ( Toe Crack ) حتی اگر زیر پوشش رنگ قرار گرفته شده باشند آشکار می گردند. اما کاربرد این روش برای گرده جوش و برجستگی ها غیر ممکن است و علائم زائد مانع تفسیر خواهند شد .

در کارخانه های لوله سازی از پروبهای دستی و یا خودکار برای آشکارسازی عیوب جوش های قوس الکتریکی استفاده می گردد که معمولاً با یک یا چند پروب و بطور همزمان آزمایش انجام می گیرد ( شکل ۲-۳ ) . برای کنترل اثراتی چون قابلیت هدایت الکتریکی، تغییر خواص شیمیائی و تغییرات ضخامت، از دستگاه های آنالیز فازی استفاده می شود تا با تغییر فاز علائم ناخواسته، فقط علامت عیب در صفحه نمایش دیده شود.



شکل ۲-۳ ، آزمایش جوش طولی لوله

### طبقه بندی فلزات ( Sorting )

اصولاً دو خاصیت عمده قابلیت هدایت الکتریکی و قابلیت نفوذ مغناطیسی، در فلزات وجود دارد که در روش جریان گردابی از این دو خاصیت برای تفکیک و دسته بندی فلزات استفاده می گردد. بطور مثال اگر در یک کارخانه تولیدی قطعاتی با مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاصی تولید گردد، با روش جریان گردابی می توان حد قابل قبولی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی را مبنا قرار داده و محصولات را در محدوده همان خواص ارزیابی نمود .

**مثال :** در یک کارخانه تولیدی قطعاتی از آلیاژ مس و نیکل تولید می گردد. آلیاژ های مورد نیاز شامل دو آلیاژ زیر می باشد :

الف - Copper Nickel ۷۰/۳۰ با قابلیت هدایت الکتریکی IACS ۵٪

ب - Copper Nickel ۹۰/۱۰ با قابلیت هدایت الکتریکی IACS ۱۱.۹٪

دو نمونه استاندارد از این دو آلیاژ تهیه می شود و با قرار دادن نمونه ها در مسیر آزمایش، هر محصول که با یکی از نمونه های استاندارد مطابقت داشته باشد ، مشخصات آلیاژ مطابق نمونه استاندارد روی آن نوشته می شود و آلیاژ هائی که با هیچکدام مطابقت نداشته باشد، در طبقه بندی فوق قرار نمی گیرند . بطور کلی با این روش قطعات مورد آزمایش در یک محدوده معین ( go-not-go ) با ویژگی مورد نیاز مطابقت و گزینش می گردند . دسته بندی مواد با روش جریان گردابی به دو روش زیر انجام می گیرد :

#### الف - استفاده از کویل مستقل ( Absolute Coil )

در این روش، پروب حامل یک یا چند کویل مستقل روی قطعه ای استاندارد با مشخصات فیزیکی و شیمیایی شناخته شده واقع می شود . با برقراری جریان، علامت واکنش جریان گردابی در تماس با قطعه روی صفحه نمایش ظاهر می گردد. بکمک کلید های کنترل تنظیم دستگاه ادی کارنت، این علامت در فاز و دامنه ای معینی قرار داده می شود. پس از این تنظیم، با قرار گرفتن پروب روی قطعه مورد آزمایش، علامت واکنش آن با علامت نمونه استاندارد مقایسه و ارزیابی می گردد .

**ب - استفاده از کویل مقایسه ای ( Differential Coil )**

در این روش از دو کویل مقایسه ای بطور سری استفاده می شود. قبل از آزمایش قطعات اصلی، هر دو کویل روی یک قطعه مرجع با ویژگی خاص قرار گرفته و علائم واکنش از هر دو پروب به حال تعادل ( Balance ) رسانده می شوند. پس از آن قطعات مورد آزمایش با هر دو کویلی که در یک پروب قرار دارند آزمایش می گردند. چنانچه واکنش قطعه ای تعادل سیستم را به هم بزند، خواص آن با خواص نمونه مرجع تفاوت خواهد داشت.

**نکات مهم :**

- ۱ - مناسبترین روش طبقه بندی استفاده از تکنیک های خودکار ( اتوماتیک ) می باشد که قطعات با سرعت یکنواخت و با شرایطی یکسان القاء می گردند.
- ۲ - درجه دقت اندازه گیری به عواملی چون فاصله بین کویل و قطعه و همچنین مطابقت خواص فیزیکی و شیمیایی نمونه استاندارد با قطعات مورد آزمایش دارد.
- ۳ - قطعات نمونه استاندارد طبقه بندی، از لحاظ شکل، ترکیب شیمیایی و عملیات حرارتی تا حد ممکن باید مشابه قطعات مورد آزمایش باشند.
- ۴ - برای اندازه گیری قابلیت هدایت الکتریکی، چنانچه ضخامت کمتر از سه برابر عمق نفوذ استاندارد باشد، از فرکانس های بالا استفاده می شود. فرکانس کم موجب لرزش قطعات نازک خواهد شد.
- ۵ - برای اندازه گیری قابلیت هدایت الکتریکی معمولاً از کویل مستقل با دو نمونه تنظیم استاندارد استفاده می گردد.
- ۶ - درجه حرارت قطعات نمونه استاندارد و قطعات مورد آزمایش باید در محدوده ای واقع شوند که روی خواص قابلیت هدایت الکتریکی و مغناطیس پذیری تأثیر نگذارند.

**۵ - اندازه گیری رنگ و پوشش ها ( Coating Thickness Measurement )**

از خاصیت قابلیت هدایت الکتریکی و تغییرات امپدانس جریان گردابی برای اندازه گیری پوشش و عایق روی اجزاء فلزی استفاده می گردد. این روش فقط برای پوشش هایی کاربرد دارد که قابلیت هدایت الکتریکی پوشش ( Coating ) و قطعه زیر پوشش کاملاً با هم تفاوت داشته باشند.

دستگاه اندازه گیری پوشش اغلب بصورت عقربه ای و دیجیتالی ساخته می شوند که روش تنظیم آنها توسط سازنده دستگاه ارائه می گردد .

پس از تنظیم اولیه، پروب روی نمونه های استاندارد ( حداقل دو ضخامت ) قرار گرفته و صفحه نمایش مطابق با ابعاد نمونه های استاندارد تنظیم می گردد . خواص قابلیت الکتریکی و مغناطیس پذیری نمونه های استاندارد باید با جنس عاری از پوشش قطعات اصلی مطابقت داشته باشد. برای نتیجه گیری مطلوب بهتر است، تنظیم روی قطعات بدون پوشش و بوسیله لایه های نازکی از جنس پوشش ( Shim ) انجام گیرد .

روش تنظیم و خواندن کمیت های ضخامت با دستگاه الکترونیکی جریان گردابی بسیار ساده و آسان می باشد اما در کنار سادگی آزمایش، فاکتورهای بسیار تکنیکی وجود دارد که در صورت عدم توجه به تأثیر آنها، اندازه گیری ضخامت پوشش نادرست خواهد بود .

### عوامل تأثیر گذار :

#### ۱ - ضخامت قطعه زیر پوشش

با توجه به عمق نفوذ استاندارد جریان گردابی، اندازه گیری پوشش قطعات نازک با روش جریان گردابی غیرممکن است . مگر آنکه قطعه ای همجنس با قطعات مورد آزمایش به زیر قطعه اتصال داده شود .

#### ۲ - ناهمواری سطح زیر پوشش

چنانچه سطح زیر پوشش ناهموار باشد، اندازه های بدست آمده بسیار متفاوت خواهند بود لذا قبل از آزمایش باید شرایط پوشش گذاری مورد مطالعه قرار گیرد. در چنین حالت هائی تعداد بیشتری باید اندازه گیری شود .

#### ۳ - اثر حاشیه

شدت و گسترش جریان های گردابی در حاشیه قطعات بسیار زیاد است لذا اندازه گیری پوشش باید در فاصله حداقل ۱۳ میلی متری از کناره قطعات انجام گیرد . چنانچه مساحت قطعه محدود بوده و مانع دور شدن پروب از حاشیه گردد، باید تنظیم دیگری بر اساس متغیر های حاشیه قطعات پیش بینی گردد .

## ۴ - انحنای سطح تماس

همانطور که قبلاً اشاره شد، میدان جریان گردابی بصورت حلقه های موازی با سطح انتشار می یابند بنابراین برای آزمایش روی سطوح قوس دار باید نمونه ای استاندارد مطابق قوس قطعات در دسترس باشد

## ۵ - خواص و ساختمان پوشش

میدانهای جریان گردابی نسبت به تغییر ساختاری و ترکیب شیمیایی بسیار حساس می باشند لذا پوشش روی نمونه استاندارد باید مشابه با پوشش روی قطعات اصلی باشد . پوشش هائی مانند مواد طبیعی با ریز دانه های فلزی ( رنگی ) در شیوه انتشار جریان گردابی اثر نامطلوب می گذارند و معمولاً اندازه گیری پوشش با مشکل مواجه می شود .

## ۶ - کثیفی سطح

وجود مواد آلوده و گرد و خاک روی سطح پوشش در نتیجه گیری تأثیر منفی می گذارد.

## ۷ - پسماند مغناطیسی

چنانچه اثر میدان مغناطیس درقطعه زیر پوشش باقیمانده باشد، تغییر قابل ملاحظه ای در شدت میدان و اندازه گیری ضخامت پوشش می گذارد .

## ۸ - تکنیک آزمایش

تکنیک حرکت دست و خصوصاً تفاوت فشار پروب روی سطح پوشش موجب تفاوت در نتیجه گیری خواهد شد .

## ۹ - نمونه تنظیم

چنانچه نمونه تنظیم با جنس پوشش مطابقت نداشته باشد، خطای آزمایش زیاد خواهد بود.

۶ - آزمایش لوله های مبدل حرارتی

بدلیل اهمیت آزمایش لوله های مبدل حرارتی، در بخش چهار بطور جداگانه ای مورد بحث قرار می گیرد