

نکات اساسی در بازرسی جوش به روش آلتراسونیک

مهدی جوانبخت¹

سازمان فضایی ایران، پژوهشکده مهندسی، پژوهشکده مکانیک فارس

چکیده

در فرآیند جوشکاری دو قطعه فلزی به یکدیگر اتصال داده می‌شوند. فلز پایه همراه با فلز جوش ذوب و در هم آمیخته شده سپس سرد و منجمد می‌گردد. در اثر برخی از مسائل نظیر ذوب ناقص و غیره عیوبی مانند عدم نفوذ (LOP) و عدم ذوب (LOF) در قطعه ایجاد می‌شود. برخی از عیوب بواسطه سرباره و ناخالصی‌ها ایجاد می‌شوند. عیوب دیگر نظیر خلل و فرج مانند آنچه در فرآیند ریخته‌گری اتفاق می‌افتد ایجاد می‌شوند و بالاخره برخی از عیوب در اثر تنشهای گرمایی رخ می‌دهند مانند ترک‌ها. تعدادی از این عیوب تغییرات زیادی در مقاومت جوش ایجاد نمی‌کنند اما بعضی از آنها با درجات مختلفی باعث این تغییرات می‌گردند. عیوب صفحه‌ای (ترک‌ها، LOP، LOF) می‌توانند تغییرات قابل ملاحظه‌ای در مقاومت جوش ایجاد کنند. در این مقاله ضمن اشاره به عیوب فوق نکات مهمی در بازرسی جوش به روش آلتراسونیک شرح داده شده و عیوب بواسطه علامت مشاهده شده از یکدیگر تفکیک شده‌اند. همچنین نمایش‌های کاذب و غیر واقعی و روش‌های تعیین آنها نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: بازرسی جوش - آزمون فراصوتی - عیوب جوشکاری.

مقدمه

آزمون فراصوتی با استفاده از پروب‌های زاویه‌ای روش مطمئنی جهت تعیین عیوب جوشکاری و موقعیت آن‌ها می‌باشد. البته باید دانست که تعیین دقیق ماهیت عیب نسبتاً مشکل بوده و نیاز به مهارت و تجربه اپراتور دستگاه دارد. به هر حال اگر پس از بازرسی فراصوتی، شک و شبهه‌ای برای اپراتور وجود داشته باشد بهتر است که آن محل مورد بازرسی رادیوگرافی نیز قرار گیرد.

علائم مربوط و نامربوط (relevant / nonrelevant indications)

علامت مشاهده شده بر روی صفحه نمایش که از انعکاس صوت از یک بازتابنده داخلی درون قطعه مورد بازرسی یا توسط شرایط فیزیکی مانند هندسه قطعه ایجاد می‌شود، شاخص نامیده می‌شود. یک شاخص مربوط بوسیله یک بازتابنده فیزیکی درون قطعه ایجاد می‌شود. یک شاخص نامربوط بوسیله هندسه قطعه یا یک شرایط فیزیکی غیر از عدم پیوستگی واقعی یا عیب ایجاد می‌شود.

عدم پیوستگی (discontinuity)

عدم پیوستگی عبارت از هرگونه ماده خارجی درون قطعه (سرباره، حفره و غیره) یا یک انقطاع غیر عمدی در جوش یا ماده اصلی نظیر ترک، نفوذ ناقص (LOP) یا ذوب ناقص (LOF) می‌باشد. اگر نوع و اندازه عدم پیوستگی در محدوده قابل قبول معیار اسناد دولتی باشد ممکن است مورد قبول واقع شود. مقادیر کم سرباره یا خلل و فرج بسته به اندازه آنها ممکن است قابل قبول باشند. در هر حال برخی از انواع عدم پیوستگی‌ها (ترک‌ها، نفوذ ناقص یا ذوب ناقص) اغلب صرف نظر از اندازه مردود می‌باشند.

عیب (defect)

عدم پیوستگی مردود شده عیب نامیده می‌شود. برای تعیین اینکه یک عدم پیوستگی براساس معیار کد یا مشخصه دولتی عیب محسوب می‌شود، اپراتور دستگاه باید ابتدا نوع عدم پیوستگی که باعث علامت می‌شود را بداند، به دقت محل آنرا نسبت به نقطه مرجع معلوم بر روی جوش و نیز اندازه‌اش را تعیین نماید.

طبقه‌بندی عیوب / عدم پیوستگی‌ها [1]

ترک‌ها (cracks)

ترک‌ها معمولاً خطی و نامنظم یا ناهموار (jagged) هستند. در علائم معمولی، میرایی یا تعدیل (damping) در ترانسدایوسر (پروب) باعث می‌شود طرف راست علامت (signal) به سرعت افت کند. اما از آنجایی که یک ترک ناهموار می‌باشد برگشت‌های چندتایی اتفاق افتاده باعث می‌شود علامت سیگنال پهن تر شود و در نتیجه باعث ایجاد علامت واضحی بنام برج کلیسا (church steeple) می‌کند. راه مؤثر دیگر تعیین نشانه ترک این است که علامت ترک در طول صفحه حرکت می‌کند (walks).

هنگامیکه اشعه صوتی شروع به حرکت از میان ترک می‌کند، پهنای ذاتی اشعه باعث می‌شود لبه مخروط صوت، صوت را بخوبی منعکس کند قبل از آنکه علامت ماکزیمم شود. این مسئله باعث ایجاد یک علامت با دامنه کوتاه در طرف راست صفحه می‌شود (شکل 1- علامت A). هنگامیکه پروب به ترک نزدیک تر می‌شود اشعه صوتی بیشتری منعکس شده باعث افزایش ارتفاع علامت می‌شود و بطرف چپ صفحه حرکت می‌کند هنگامیکه مسیر صوت کوتاه تر می‌شود. هنگامیکه خط مرکزی اشعه یعنی جایی که مقاومت صوت بیشترین مقدار است به پایه ترک می‌رسد علامت معمولاً در حداکثر مقاومت است (شکل 1- علامت B). پس از گذراندن خط مرکزی و عبور انتهای صوت از ترک، ارتفاع سیگنال افت می‌کند و بطرف چپ صفحه حرکت می‌کند تا زمانی که ناپدید می‌شود (شکل 1- علامت C). در واقع علامت کوتاه پهنی مشاهده می‌شود که ارتفاع آن زیاد شده هنگامی که بطرف چپ حرکت می‌کند و سپس ارتفاع آن کم می‌شود تا زمانی که ناپدید می‌گردد.

اگر پهنای صفحه دستگاه در فاصله یک دور کامل (full skip distance) تنظیم شود ترک باید دقیقاً در سمت راست نقطه وسط ظاهر شود و سپس نزدیک نقطه یک چهارم صفحه بین صوت اصلی و نقطه وسط افت کند (شکل 1). اگر ترک از سطح روبش (scanning surface) شروع شود علامت باید از نقطه دور از سمت راست صفحه شروع شود و دقیقاً در سمت راست نقطه وسط افت کند. این ها کلیات هستند و محل دقیق بستگی به ضخامت ماده اولیه داشته و به دلیل مسیرهای صوتی گوناگون تغییر می‌کند. به همین دلیل، برای اپراتور این امکان وجود دارد که اگر علامت خیلی نزدیک به سطح روبش بوده و بصورت قسمتی از صوت اصلی (main bang) به نظر بیاید ترک کم عمق هم جهت در مسیر اول را بازرسی کند.

نفوذ ناقص (incomplete penetration)

علامت مربوط به نفوذ ناقص دارای رفتاری شبیه به ترک بوده که از راست به چپ صفحه حرکت می‌کند و ارتفاع آن ابتدا افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. اما از آنجایی که نفوذ ناقص (LOP) معمولاً دارای اطراف صاف و هموارتری نسبت به ترک ناهموار می‌باشد، پهنای علامت بر روی صفحه معمولاً باریک تر از پهنای علامت ترک می‌باشد. مسئله‌ای که اغلب اتفاق می‌افتد این است که از آنجایی که نفوذ ناقص در ریشه جوش قرار دارد علامت روی صفحه ممکن است کاملاً ماکزیمم نبوده هنگامی که پروب به نزدیک لبه تاج جوش برخورد می‌کند. در مواد نازک تر این مسئله احتمال دارد اتفاق بیفتد. روبش از هر دو طرف جوش ممکن است این شکل را نگیرد. اگر ارتفاع علامت افزایش یابد تا زمانی که پروب به تاج جوش برخورد کند، علامت که به اندازه مردودی نرسیده باشد در واقع مردود است. اگر چنین اتفاقی رخ دهد، پروب کوچک تر ممکن است لازم باشد تا علامت به حداکثر خود برسد. اشتباهاتی نظیر این باعث می‌شود که اپراتور عیب مردودی را قبول اعلام کند.

از آنجایی که ریشه جوش محلی است که عیوب در این ناحیه بیشتر شکل می‌گیرد و این عیوب شدیداً بر روی مقاومت جوش اثر می‌گذارند و نیز در این ناحیه انعکاس‌هایی از بستر جوش در یک جوش خوب اتفاق می‌افتد و علائم عیوب ریشه خیلی نزدیک به علامت بستر استاندارد ظاهر می‌شود و می‌تواند باعث اشتباه اپراتور بشود ریشه جوش بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرد. جهت بررسی ریشه جوش ابتدا خط رویش را در فاصله نیم گام یا پرش (half skip distance) از وجه ریشه (root face) در طرف جوش (یعنی نیم گام بعلاوه نصف فاصله ریشه (root gap) از مرکز جوش) علامتگذاری می‌کنیم. وقتی که پروب در این محل قرار بگیرد البته یک انعکاس از بستر جوش را می‌توان مشاهده نمود به شرط آنکه جوش یک جوش خوبی باشد، اما این علامت مقداری دورتر از نقطه پیش بینی شده برای عیب LOP می‌باشد (شکل 2). اگر در ریشه عیب انقباضی یا بریدگی (undercut) وجود داشته باشد علامتی نیز مشاهده خواهد شد اما این علامت مقداری در محدوده کوتاه‌تری نسبت به علامت بحرانی دیده می‌شود (شکل 2). بنابراین در طی رویش اولیه سه مورد ریشه‌ای ممکن است مشاهده شود: بستر جوش عادی، LOP یا بریدگی ریشه [2].

برای اینکه این موضوع بهتر درک شود مثالی در زیر آورده شده است. جوش سرب به سر دو ورق به ضخامت 20 mm را در نظر می‌گیریم. زاویه شیار جوش 60 درجه و فاصله ریشه 2 mm و وجه ریشه نیز 2 mm می‌باشد. ابتدا خط رویش را برای پروب 60 درجه در فاصله نیم گام بعلاوه نصف فاصله جوش یعنی مجموعاً در 35/6 mm از خط مرکز جوش رسم می‌کنیم. بدین ترتیب طول مسیر صوت تا لبه ریشه 40 mm خواهد بود (شکل 3). به عبارت دیگر LOP علامتی در فاصله 40 mm بر روی صفحه نمایش ایجاد می‌کند. در شکل علامت بستر 4 mm دورتر (44 mm) و بریدگی ریشه تقریباً 2 mm نزدیک‌تر (38 mm) خواهد بود. بنابراین اگر پروب تقریباً 2 mm دورتر از خط مرکزی جوش قرار داده شود مرکز اشعه در گوشه ایجاد شده بوسیله بریدگی و ورق پایه هدف قرار گرفته و انعکاس آن یک علامت ماکزیمم از بریدگی و در فاصله بحرانی 40 mm خواهد بود. به عبارت دیگر ممکن است بریدگی و LOP را اشتباه بگیریم و متوجه می‌شویم که خط مرکزی جوش، فاصله ریشه و علامتگذاری‌ها بطور دقیق از چه اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند. اگر علامتگذاری دقیق باشد و علامت در فاصله‌ی 38 mm مشاهده شود که به عنوان بریدگی لبه جوش تلقی گردد لازم است پروب را به آرامی به عقب ببریم. اگر دامنه علامت مشکوک افزایش یابد و در محدوده 40 میلی‌متری ماکزیمم شود و سپس به آرامی کم شود در این صورت می‌توان مطمئن بود که بریدگی لبه جوش وجود دارد. با توضیحات بالا معلوم می‌شود که یک اپراتور با تجربه نباید بین بستر جوش عادی و LOP مرتکب اشتباهی شود. اشتباه ممکن است بین LOP و بریدگی ریشه پیش بیاید. جایی که LOP وجود دارد علامت بستر جوش وجود ندارد، در حالی که با بریدگی ریشه، علامت بستر همواره وجود دارد.

انتخاب حساسیت آزمایش می‌تواند در رویش ریشه کمک کند یا مانع آن شود. اگر حساسیت خیلی بالا باشد تعداد علائم مشاهده شده در ناحیه ریشه زیاد شده و باعث اشتباه می‌گردد. اگر برعکس

حساسیت خیلی پائین باشد علائمی را از دست می‌دهیم. تنها به عنوان یک راهنما، اکوی 100 میلی‌متری از بلوک استاندارد V1 را به ارتفاع حداکثر صفحه نمایش برسانید و سپس 10 دسی‌بل را برای تست جوش ورق و 20 دسی‌بل برای تست جوش لوله اضافه نمایید. اما از آنجایی که عیب LOP یک بازتابنده گوشه خوبی می‌باشد و بستر جوش عادی اغلب کاملاً یک بازتابنده خوبی نمی‌باشد گاهی اوقات بهتر است که روبش را در 10 دسی‌بل کمتر از این تنظیمات امتحان کنیم، زیرا عیب LOP در این مقادیر خودش را خوب نشان می‌دهد در حالی که بستر جوش معمولی خوب نشان نمی‌دهد. به هر حال، پس از آن روبش ریشه بحرانی باید با دقت در مقادیر بالاتر تکرار شود.

عیوب دیگری می‌توانند در ریشه جوش وجود داشته باشند که شامل ناخالصی سرباره‌ای، خلل و فرج و ترک می‌باشد. در مورد عیوب ناخالصی سرباره‌ای و خلل و فرج روبش از دو طرف در یک فاصله رخ می‌دهد (شکل 4). اما در مورد بریدگی جوش چنین نیست. علاوه بر آن در مورد بریدگی لبه جوش علامت افزایش می‌یابد و قتیکه 2 الی 3 میلی‌متر پروب به عقب برده شود، در حالی که در مورد ناخالصی با جلو بردن پروب علامت افزایش می‌یابد. اگر ترک در ریشه وجود داشته باشد روبش از سطح 1 عیب را نشان می‌دهد که با بریدگی اشتباه می‌شود. اما از طرف دیگر ممکن است علامت بستر مشاهده شود اما از سطح 1 علامت بستر محو می‌گردد (شکل 5).

عدم ذوب دیواره کناری (sidewall lack of fusion)

تشخیص این عیب (LOF) مخصوصاً خیلی دشوار می‌باشد. زوایای معمولی شیار در جوش‌ها اغلب با زوایایی بکار رفته برای آزمون فراصوتی مطابقت ندارد. در نتیجه جهت (orientation) دیواره کناری ذوب نشده جوش ممکن است علامت به اندازه کافی بلند را جهت مردود شدن جوش منعکس نکند. علاوه بر آن، عیب LOF ممکن است در مسیر اول خود را نشان ندهد هنگامی که جوش از طرفی که عیب در آن قسمت است روبش شود، یا ممکن است علامت قابل قبولی را نشان دهد وقتی که در مسیر دوم دیده شود. بنابراین جوش باید از هر دو طرف بازرسی شود وقتی که شکل قطعه اجازه چنین کاری را بدهد.

سرباره (slag)

در طی فرآیند جوشکاری فلاکس پودری یا دانه‌ای برای ایجاد گازهای محافظ جهت قوس جوشکاری ذوب می‌شود. هنگامی که باقیمانده سرد می‌شود جامدات یک جسم شیشه‌ای بنام سرباره را شکل می‌دهند که ممکن است در جوش باقی بماند و تشکیل ناخالصی سرباره‌ای بدهد. یک شکل نامنظم کلی کلید و راهنمایی است که یک ناخالصی سرباره‌ای بصورت علامت دیده می‌شود. از آنجایی که حالت مخروطی اشعه صوتی به سرباره‌ی نامنظم در چندین نقطه در یک لحظه برخورد می‌کند، علامت با چندین نوک (multiple peaks) خود را نشان می‌دهد (شکل 6). وقتی که پروب بطرف جلو حرکت

می کند خط مرکزی اشعه به محیط‌های (contours) مختلف با مقاومت بالا برخورد می کند و باعث افزایش ارتفاع یا دامنه علائم شده و پس از عبور از نقاط انعکاسی افت می کند. در نتیجه، هنگامی که روبش انجام می شود نوک‌های چندتایی علامت به بالا و پائین حرکت می کنند همان گونه که کمی به چپ و راست حرکت می کنند. این علامت با نوک‌های چندتایی که به بالا و پائین حرکت می کند یک نمونه از ناخالصی سرباره‌ای می باشد. نوک‌های متناوب می توانند بطور مؤثر با توقف پروب نشان داده شوند هنگامیکه علامت چند نوکی (multipeak) ماکزیمم شده، سپس به پروب در آن محل از پهلو به جلو و عقب زاویه داد.

خلل و فرج (porosity)

خلل و فرج جوش به روشی مشابه با سرباره شکل می گیرد هنگامی که گاز درون فلز جوش سرد شده محبوس می شود قبل از آنکه بتواند خود را به سطح جوش برساند. اما به غیر از جامدات ناخالص و در شکل نامنظم، حفره‌ها معمولاً گازی بوده و به شکل کروی می باشند.

بازتابنده‌ها (reflectors) [1]

یک سطح تخت (صفحه‌ای) عمود بر اشعه صوتی مقدار زیادی صوت را منعکس می کند که باعث یک علامت خیلی بلند می شود. یک سوراخ جانبی یک منعکس کننده خطی است که صوت را از محیط منعکس می کند فقط در جایی که اشعه صوتی به سوراخ عمود بر محیط با طولی برابر با عمق سوراخ برخورد می کند. در نتیجه علامت از سوراخ جانبی از لحاظ ارتفاع کوتاه تر از علامت مربوط به منعکس کننده صفحه‌ای می باشد. یک منعکس کننده کروی مانند حفره گازی، یک منبع نقطه‌ای است و صوت تنها در یک نقطه از آن منعکس می شود که اشعه به سوراخ عمود بر محیط برخورد کند. از آنجایی که حفره طول قابل ملاحظه‌ای ندارد و قطر آن معمولاً درصد کوچکی از سطح مقطع اشعه می باشد علامت از حفره مقدار کمی از صوت را منعکس می کند که باعث علامت خیلی کوچک و اغلب با دامنه کوتاه می شود. اثر اشعه صوتی منعکس شده از شکل کروی، علامتی برای خصوصیات اختصاصی خلل و فرج را ارائه می دهد.

هنگامیکه اشعه در ابتدا به حفره کروی برخورد میکند باعث می شود که صوت دور از پروب منعکس شود (شکل 7a). وقتی که خط مرکزی صوت مستقیماً به حفره برخورد می کند، صوت بطرف پروب منعکس می شود (شکل 7b). اما هنگامی که خط مرکزی از حفره عبور می کند، صوت در قسمت پائین تر مخروط صوتی دوباره دور از پروب منعکس می شود (شکل 7c). نتیجه کلی یک علامت تک، باریک و تیز می باشد که فقط در یک نقطه صفحه دستگاه خود را نشان می دهد و سپس به سرعت ناپدید می شود. موارد استثنایی وجود دارد. برای مثال اگر حفره بزرگ باشد یا نزدیک به سطح روبش باشد، علامت ممکن است کمی بطرف چپ، معمولاً 1 الی 2 خانه کوچک، حرکت کند قبل از آنکه ناپدید شود. از

آنجایی که یک حفره یک منبع نقطه‌ای است و هنگامی که علامت به حداکثر خود برسد اپراتور متوجه می‌شود که حرکت علامت در اثر جلو و عقب رفتن پروب یا نوسان پروب کمی به چپ و یا راست باعث ناپدید شدن علامت خواهد شد. در مورد تجمع خلل و فرج یا حفره‌های نزدیک بهم در یک راستا نمایش بر روی صفحه ممکن است چندین علامت خیلی نزدیک بهم که می‌تواند با ناخالصی سرباره اشتباه گرفته شود را نشان دهد. اما اغلب امکان جدا کردن علائم تکی از هم وجود دارد که اثر بادوام و باریک و محل هر علامت در یک نقطه بدون حرکت عرضی قابل توجه، که معمولاً توسط یک سرباره رخ نمی‌دهد را نشان خواهد داد.

علائم نامربوط و اشتباه (nonrelevant and false indications)[1]

همچنانکه قبلاً ذکر شده علائم نامربوط آنهایی هستند که در استفاده از قطعه اثری نداشته یا بوسیله هندسه یا دیگر خصوصیات فیزیکی ایجاد می‌شوند. برخی از عمومی‌ترین علائم در این طبقه بندی، علائم مربوط به پشت بند جوش، تغییر حالت و علائمی از منابع خارج از جوش می‌باشند.

پشت بندها (backing bars)

پشت بندها معمولاً در جوشهای سر به سر در سازه‌های فولادی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از بکارگیری آنها ایجاد یک سطح زیر جوش شیاری می‌باشد که اولین بستر یا پاس ریشه جوش روی آن قرار بگیرد. اتصال سر به سر همراه با پشت بند جوشکاری شده مناسب، باعث نفوذ کامل بین دیواره‌های جانبی جوش و پشت بند می‌شود. در نتیجه صوت ممکن است از طریق جوش وارد پشت بند شده و پس از کمانه کردن از یکی از گوشه‌ها منعکس شده و سپس به پروب منتقل شود. شکل 8a این مسئله را نشان می‌دهد. علامت برگشتی از پشت بند درست بصورت ذره‌ای در داخل مسیر دوم (second leg) ظاهر می‌شود و ممکن است به عنوان عدم پیوستگی دیواره جانبی تشخیص ناصحیح داده شود (شکل 8b). اگر پشت بند در دسترس باشد این نوع علامت اشتباه معمولاً می‌تواند با انگشت آغشته به کوپلانت تعدیل شود آنچنانکه در شکل نشان داده شده است.

تغییر حالت (mode conversion)

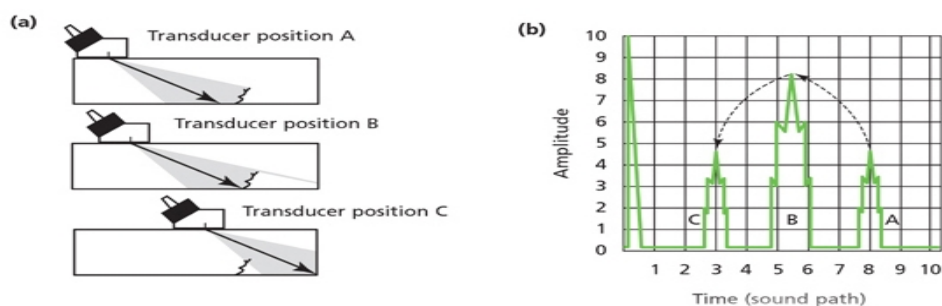
تغییر حالت هنگامی اتفاقی می‌افتد که یک موج برشی از سطحی منعکس شده و باعث تبدیل آن به موج طولی بشود. این مسئله بطور اتفاقی در جوشهای دارای پشت بند که موج عرضی به فاصله ایجاد شده در اثر کار گذاشتن ضعیف پشت بند برخورد کرده، تبدیل به موج طولی شده و بطرف تاج جوش حرکت می‌کند (شکل 9). سپس موج طولی به ریشه برگشته و پس از تبدیل شدن به موج عرضی به پروب منتقل می‌گردد. از آنجایی که سرعت موج طولی تقریباً دو برابر سرعت موج عرضی می‌باشد سیگنال ایجاد شده

تقریباً در نیم فاصله خارج در مسیر دوم ظاهر شود. تاج جوش (گرده جوش) یک منعکس کننده خوبی می باشد و علامت خیلی قوی ایجاد می شود که اغلب از 100 درصد ارتفاع صفحه بالاتر می رود. محل و ارتفاع علامت تغییر حالت به آسانی این نوع نمایش اشتباه را مشخص می کند. اولاً ارتفاع علامت برای یک عدم پیوستگی مشاهده شده در محل به شدت بالا و قوی می باشد. ثانیاً اگر مسیر صوت به درستی محاسبه شود، اپراتور می تواند مشاهده کند که محل ظاهر شدن خارج از جوش و ناحیه متاثر از گرما (HAZ) می باشد. هنگامیکه این اتفاق می افتد تعدیل سطح جوش با انگشت مرطوب نشان می دهد که صوت تغییر حالت پیدا کرده و در تاج جوش می تواند تعدیل شود. تغییر حالت نظیر این امر می تواند نیز در جوش های لوله ای ریشه باز و جوشهای ورق دو سر V اتفاق بیفتد اگر ریشه یا تاج جوش در طرف دیگر به شکلی باشد که اجازه این کار را بدهد.

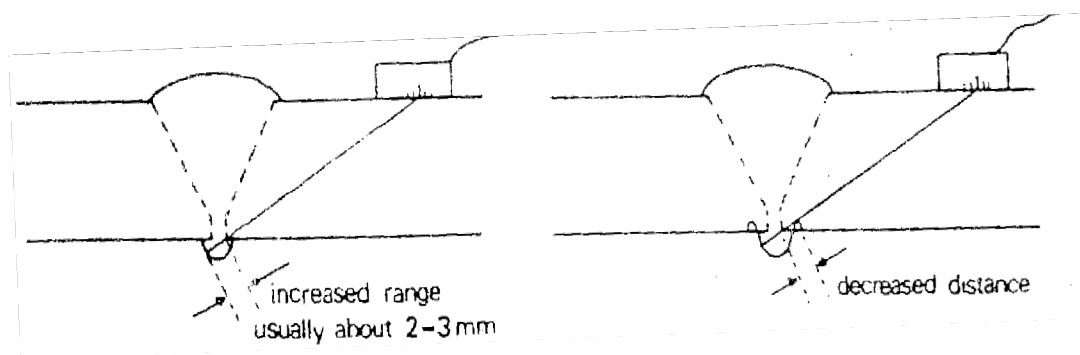
مراجع

- [1] Houf, J., "Practical contact ultrasonics - defect characterization and false indication", The NDT Technician, Volume 4, Number 2, 2005.
 [2] Drury, J.C., Ultrasonic Flaw Detection for Technicians, Second Edition, Unit Inspection Company, 1981.

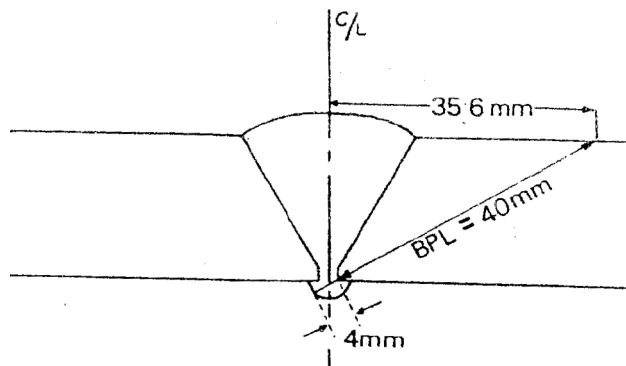
اشکال



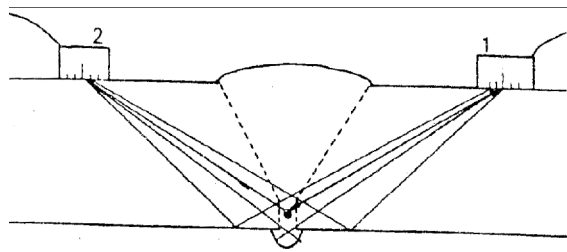
شکل 1- ترک، (a) محل پروب نسبت به ترک (b) علائم ایجاد شده در اثر حرکت پروب [1]



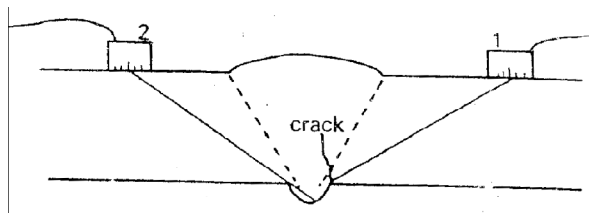
شکل 2- LOP، بستر جوش و بریدگی لبه جوش [2]



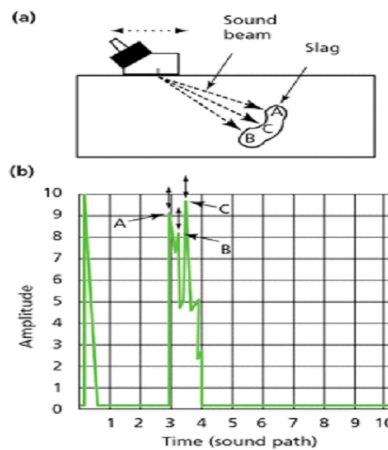
شکل 3- جوش سر به سر، محاسبه بستر جوش، بریدگی لبه جوش و LOP [2]



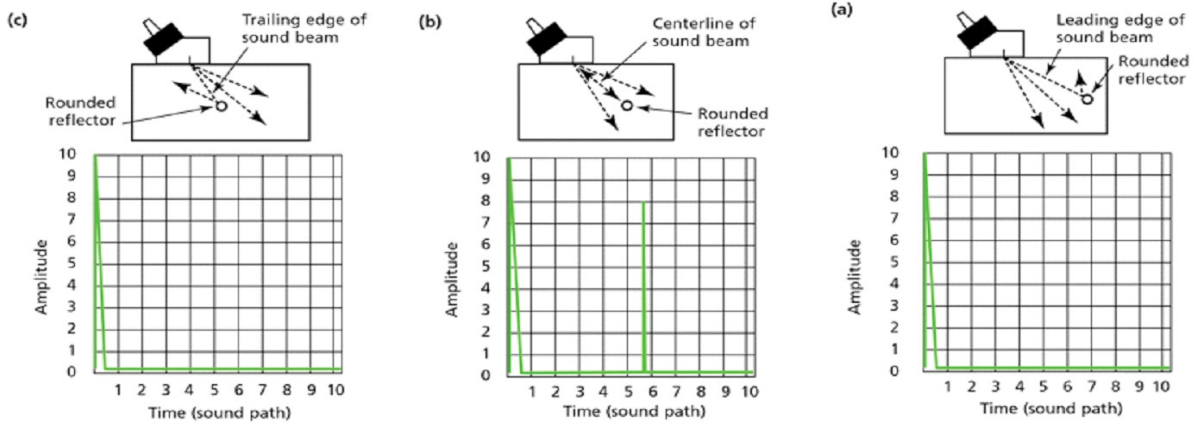
شکل 4- عیوب جوش در ریشه، سرباره یا خلل و فرج [2]



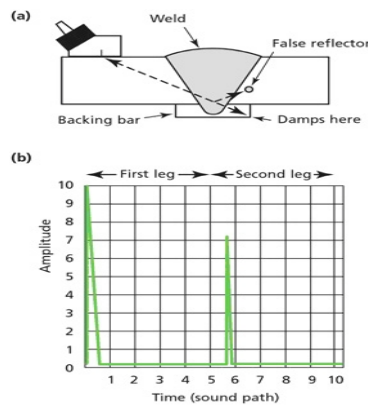
شکل 5- عیب جوش در ریشه، ترک در لبه بستر جوش [2]



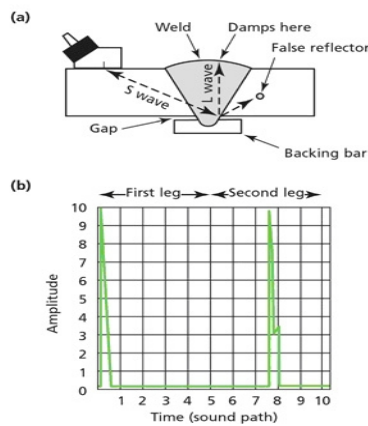
شکل 6- عیب سرباره، (a) برخورد اشعه مخروطی شکل به سرباره‌ی نامنظم (b) نمایش سرباره با چندین نوک [1]



شکل 7- برخورد اشعه‌ی صوتی به عیب حفره‌ای [1]



شکل 8- جوش همراه با پشت‌بند (a) ورود اشعه به داخل پشت‌بند (b) علامت ایجاد شده [1]



شکل 9- تغییر حالت موج عرضی به موج طولی در اثر بد کار گذاشتن پشت‌بند و علامت ایجاد شده [1]