

# جوشکاری چدن

سیروس یحیی پور

## جوشکاری چدن

چدن‌ها یکی از مواد پر مصرف در صنعت هستند. سیالیت خوب همراه با دمای نسبتاً پائین ذوب آنها را به فلزی مناسب جهت ریخته‌گری تبدیل نموده است. با بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی چدن‌ها بوسیله عملیات حرارتی و آلیاژ کردن روز بروز دامنه استفاده از این فلز گسترده‌تر میشود. اما بهر حال تا به امروز چدن‌های صنعتی مقاومت به ضربه و ناچیزی داشته و ترک خوردن یا شکسته شدن آنها در حین بهره‌برداری امری است که فراوان رخ میدهد. نظر به نیاز کارگاه‌های ساختمانی جهت جوشکاری و بازسازی قطعات چدنی اقدام به ترجمه آزاد مقاله WELDING OF CAST IRON از انتشارات موسسه ESAB شده است. امیدوارم که مفید واقع گردد.

سیروس یحیی‌پور

۱۳۷۱/۳/۱۵



## مقدمه

با افزودن کربن به آهن خالص نقطه ذوب آهن از ۱۵۳۴ درجه سانتی گراد ( برای آهن خالص ) به ۱۱۴۷ درجه ( برای ۴/۳% کربن ) کاهش می یابد. این کاهش درجه حرارت سبب سهولت ذوب چدن‌ها شده و مصرف آنرا گسترش داده است. چدن به آلیاژی از آهن و کربن اطلاق میگردد که بین ۲ تا ۵ درصد کربن داشته باشد. وجود کربن بالا بعلاوه مقادیر بالنسبه زیادتری از گوگرد و فسفر نسبت به فولادها سبب کاهش جوش پذیری چدن‌ها میشود. چدن‌های ساده معمولاً با خواصی نظیر انعطاف پذیری کم، سختی پائین، مقاومت کششی پائین و ضربه پذیری ناچیز شناخته میشوند. جهت بهبود خواص فوق چدن‌های آلیاژی با محدودده و وسیعی از عملیات حرارتی بوجود آمده اند. نوع و میزان عناصر آلیاژی به مشخصات چدن بستگی دارد. انواع اصلی و معروف چدن عبارتند از:

- ۱- چدن خاکستری
- ۲- چدن سفید
- ۳- چدن چکشخوار MALLEABLE
- ۴- چدن نشکن DUCTILE
- ۵- چدن با گرافیت فشرده
- ۶- چدن آلیاژی

## چدن خاکستری

چدن خاکستری پرمصرف ترین نوع چدن در صنعت است. ( حدود ۷۰٪ از کل تولید چدن ها ). ساختار میکروسکوپی این چدن‌ها شامل ورقه‌هایی از گرافیت در زمینه‌ای از فریت، پرلیت یا هر دو می‌باشد. بعلاوه رنگ گرافیت که خاکستری است مقطع شکسته شده این نوع چدن به رنگ خاکستری است و همین منشاء نامگذاری آنست. گرافیت بسیار ترد و شکننده بوده و عملاً بدون استحکام است و همین امر سبب کاهش شدید مقاومت چدن میشود. چدن خاکستری معمولاً دارای حدود ۴/۵٪ کربن و ۳٪ سیلیس است. چدن‌های قدیمی بعلاوه داشتن مقادیر نسبتاً زیاد گوگرد و فسفر فوق‌العاده بد جوش بودند، اما امروزه با کنترل عناصر فوق جوش پذیری چدن‌های خاکستری بمیزان زیادی افزایش یافته است.

## چدن سفید

چدن سفید بعلاوه سختی زیاد مقاومت به سایش بسیار خوبی دارد و اغلب به همین منظور تولید میشود. ترکیب شیمیایی آن شبیه چدن خاکستری است، اما مقدار سیلیس آن کمتر می‌باشد و گاهی اوقات عناصر پایدارکننده‌ی کارباید نظیر کرم، مولیبدن و وانادیوم به آن افزوده میشود. ساختار میکروسکوپی چدن سفید شامل ذرات کارباید پخش شده در یک زمینه‌ی مارتنزیتی یا پرلیتی است. رنگ کارباید سفید بوده و به همین علت مقطع شکسته شده این چدن سفید رنگ می‌باشد.

کاربایدها بسیار سخت و شکننده هستند و در نتیجه باعث افزایش سختی چدن میشوند. این نوع چدن را با سرد کردن سریع CHILLED تولید می‌کنند. اگر چه گزارشاتی در مورد پرکردن سطحی با مفتولهای فولادی نرم در دست است، اما بطور کلی این چدن‌ها جوش پذیر نبوده و جهت جوشکاری توصیه نمی‌شوند.

## چدن نشکن DUCTILE CAST IRON

ترکیب شیمیایی چدن نشکن مشابه چدن خاکستری است اما درصد فسفر و گوگرد آن کمتر است. منتهی در حین انجماد، گرافیت بجای ورقه‌ای بشکل کروی رسوب این امر معمولاً با افزودن مقدار بسیار کم و کنترل شده‌ی منیزیم



درست قبل از ریختن مذاب به داخل قالب صورت میگیرد. خواص مکانیکی چدن نشکن در حالت آنیل شده تقریباً " شبیه فولاد نرم است .

جوش پذیری این نوع چدن از فولاد ضعیف تر بوده اما در صورت رعایت تکنیک صحیح جوشکاری، پیش گرمایش و پسگرمایش مناسب، پائین نگه داشتن درجه رقت DILUTION و انتخاب الکتروود مناسب جوشکاری آن با موفقیت امکان پذیر است .

### چدن با گرافیت فشرده CG - IRON

شکل گرافیت در این نوع چدن، بشکل واسطه ای بین گرافیت ورقه ای و گرافیت کروی است . در نتیجه خواص چدن های با گرافیت فشرده، حد واسطی از خواص چدن خاکستری و چدن نشکن می باشد. در اینجا نیز نظیر چدنهای نشکن عمل ضخیم کردن گرافیت با افزودن مقادیر کم و کنترل شده از منیزیم، تیتانیوم و سرب صورت میگیرد. جوش پذیری این چدن شبیه چدن خاکستری است .

### چدن چکش خوار MALLIBLE CAST - IRON

چدن چکش خوار که در کشور ما به چدن قیچی نیز مرسوم است از عملیات حرارتی روی چدنهای سفید بدست می آید و قابلیت ضربه پذیری آن از چدن خاکستری بهتر است . در مقایسه با چدن خاکستری دارای کربن و سیلیس کمتری بوده و ساختار میکروسکوپی آن شامل گرافیت برفکی شکل در زمینه ای از فریت، پرلیت یا مارتنزیت تمپر شده می باشد. خواص مکانیکی، این چدن بسیار شبیه به چدن های نشکن می باشد. در جوشکاری چدنهای چکش خوار احتمال ایجاد یک منطقه نازک با خواص شبیه چدن سفید در باند جوش و نواحی تحت تاثیر حرارت آن وجود دارد اما این مسئله در اکثر موارد مشکلی بوجود نخواهد آورد . با کم کردن کربن بوسیله عملیات حرارتی DECARBURIZING HEAT TREATMENT در مناطق جوش و نواحی اطراف آن قابلیت جوش پذیری چدنهای چکش خوار بمیزان زیادی بهبود می یابد .

### چدن های آلیاژی ALLOYED CAST IRON

عناصر آلیاژی جهت بالابردن خواص مهندسی نظیر مقاومت به خوردگی، مقاومت

به سایش، استحکام و غیره به چدنها اضافه میشوند. بطور مثال افزودن



نیکل مقاومت به خوردگی و اضافه کردن نیکل همراه با کرم مقاومت به سایش و استحکام را بهبود می بخشد.

جوش پذیری چدنهای آلیاژی نسبتاً "خوب بوده و شبیه چدنهای نشکن است. اما چدن نیکل دار سخت NI-HARD خواصی نظیر چدن سفید دارد و برای جوشکاری توصیه نمی شود.

## عوامل موثر در جوش پذیری چدنها

چدنهایی نظیر چدن سفید و چدن نیکل دار سخت NI-HARD به سبب تردی زیاد نسبت به تغییرات حرارت در حین جوشکاری حساس هستند و به احتمال زیاد دچار ترکیدگی خواهند شد. در چدنهایی نظیر WHITE-HEART MALLEABLE CAST IRON بعلت ایجاد حفره های گازی در حین جوش، جوشکاری با مشکل همراه است. اما در صورت رعایت روش درست جوشکاری دیگر انواع را میتوان با موفقیت جوشکاری کرد. جوشکاری موفق چدنها بطور عمده در گرو کاهش عوامل زیر قرار دارد:

- ممانعت از تنشهای انقباضی COLLING STRESSES.
- اجتناب از طرحهای پیچیده در قطعات ریختگی.
- ممانعت از سخت شدن ناحیه تحت تاثیر حرارت HAZ.
- جلوگیری از نفوذ کربن در چدن در حین جوشکاری و برشکاری.
- تمیز کردن چدن از روغن های نفوذ کرده به داخل فلز.

## ۱- تنشهای انقباضی

حجم فلز جوش در حین انجماد و سرد شدن کاهش یافته و در نتیجه دچار نیرویهای انقباضی میشود. بعلت تردی BRITTLENESS چدنها و نیروی زیاد تنشهای انقباضی احتمال ترک برداشتن جوش و نواحی اطراف آن وجود دارد. تنشهای انقباضی را میتوان با رعایت موارد ذیل حداقل رساند.

- انجام جوشکاری بنحوی که کمترین مقدار حرارت به چدن برسد. به این منظور جوشها را باید حتی المقدور با پاسهای کوتاه انجام داد.

اجتناب از حرکات زیگزاگی الکتروود ، استفاده از جریان جوشکاری (آمپر) کمتر و سرعت بالاتر جوشکاری سبب خواهد شد که حجم فلز جوش در حین انقباض کمتر شود و در نتیجه تنش انقباضی نیز کوچکتر گردد. جوشکاری چند لایه به این علت که حرارت جوشکاری لایه بالاتر نقش تنش زدائی و تمپر کردن لایه پائینی را دارد ، توصیه میشود .

#### استفاده از الکتروودهای نرمتر

مقدار و بزرگی تنش های پسماند در اجسام بیش از همه به تنش تسلیم YIELD STRESS مواد بستگی دارد. مواد نرمتر به عبارت دیگر مواد با تنش تسلیم پائین تر هستند. به همین دلیل استفاده از الکتروودهای آلیاژ نیکل و مس در جوشکاری چدنها روز بروز وسیعتر میشود .

#### چکش زدن (کوبش) PEENING

کوبش ضربات متوالی با چکشهایی که نوک تیز نباشند ، بعلت ایجاد تنشهای فشاری COMPRESSIVE STRESSE در فلز جوش که در تقابل با تنشهای پسماند کششی قرار دارند ، احتمال ترک برداشتن را کاهش میدهد . کوبش PEENING در پاس اول و پاس آخر جوشکاری مجاز نیست .

#### پیش گرمایش

پیش گرمایش به دو طریق در کاهش تنشهای پسماند موثر است :

الف ) با ایجادیک شیب حرارتی مناسب که سرعت سرد شدن جوش را کم میکند .  
ب ) با افزایش دمای چدن تنش تسلیم YIELD STRESS پائین آمده و در نتیجه تنش پسماند ضعیفتری نسبت به دمای معمولی ROOM TEMP. ایجاد میگردد .

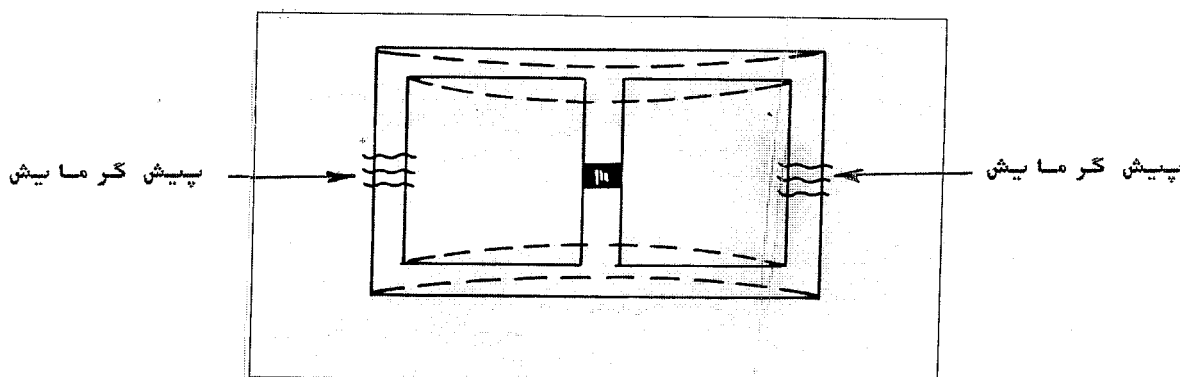
## ۲- اجتناب از طرحهای پیچیده

هر چه شکل قطعه چدنی دارای طرح ساده تری باشد ، جوشکاری آن راحت تر انجام خواهد گرفت . قطعات با اشکال پیچیده بعلت داشتن نقاط تمرکز



تنش ، بیشتر در معرض خطر ترکیدگی هستند . در چنین قطعاتی استفاده از پیش گرمایش بعنوان یک کمک موثر توصیه میشود . پیش گرمایش سبب میشود که قطعه دچار انبساط شده و برای مقابله با تنشهای انقباضی آماده تر شود ( شکل ۱ ) . بعنوان یک دستور کلی بهتر است که تمام قطعه یا قسمت بزرگی از آن با دمای کمتری گرم شود تا اینکه ناحیه کوچکی با دمای بالاتر پیش گرمایش شود . گرم کردن قطعه میبایستی به آرامی صورت گیرد تا از ایجاد تنش های حرارتی ناخواسته جلوگیری شود .

### شکل [۱] : اثرات پیش گرمایش



خطوط نقطه چین نشانگر انقباض قطعه در شرایطی است که از پیش گرمایش استفاده نشود .

بهترین روش پیش گرمایش استفاده از کوره های عملیات حرارتی است . بوسیله این کوره ها گرم کردن قطعه بصورت کاملاً "یکنواخت صورت میگیرد . مناسبترین دمای پیشگرمایش غیرمستقیم INDIRECT PREHEATING محدوده ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه حرارت سرخ شدن است و این دما باید در تمام مدت جوشکاری نگهداری شود در صورتیکه حرارت دادن تا دمای فوق ممکن نباشد گرم کردن قطعه تا دمای سیاه شدن BLACK HEAT نیز موثر واقع خواهد شد . بعنوان یک دستورالعمل کلی باید به خاطر داشت که قطعات با طرح پیچیده تر نیاز به دمای پیش گرمایش بالاتری دارند .



### ۳- ناحیه تحت تاثیر حرارت H.A.Z

ناحیه تحت تاثیر حرارت در جوشکاری چدن با بعلافت تغییرات ناخواسته و حرارت معمولاً ترد و شکننده میشود. وجود ناخالصی‌های بادمای ذوب پائین که میتواند سبب ذوب جزئی مناطقی از این ناحیه شود، احتمال ایجاد ترک را افزایش میدهد. پیش گرمایش قطعات مخصوصاً در دماهای حدود ۵۰۰ درجه سانتی گراد سختی ناحیه تحت تاثیر حرارت را به مقدار زیادی کاهش داده و جوشکاری با حرارت داده شده HEAT INPUT کمتر یا به عبارت دیگر جوشکاری با سرعت بیشتر، الکترودهای نازکتر و جریان الکتریکی (آمپر) پائین تر سبب نازکتر شدن ناحیه تحت تاثیر حرارت میشود.

### ۴- جدایش و نفوذ کربن در چدن CARBON PICK-UP FROM BASE METAL

تجزیه گرافیت (کربن آزاد) و نفوذ آن بداخل فلز اصلی مسئله‌ای است که همواره در جوشکاری چدن اتفاق می افتد. با رعایت موارد ذیل میتوان مقدار نفوذ کربن را کاهش داد.

الف) بکارگیری دمای پیش گرمایش بالا همراه با سرعت سرد شدن آهسته در مواردی که از الکترودهای پایه آهن جهت جوشکاری استفاده میشود.

ب) استفاده از الکترودهایی که شرایط نفوذ کربن به داخل جوش را ایجاد نکنند، نظیر الکترودهای با پایه نیکل یا مس.

### ۵- روغنهای رسوب کرده در چدن

چدن با بعلافت داشتن کربن آزاد (گرافیت) جذب کننده بسیار خوبی در مورد روغنها هستند. چنانچه چدنی برای مدت طولانی با روغن در تماس باشد. روغنها تا عمق زیادی بداخل فلز نفوذ کرده و رسوب میکنند. روغنهای باقیمانده در لایه‌های زیر سطوح جوشکاری در اثر حرارت جوش بخار شده و علاوه بر ایجاد ناخالصی سبب بوجود آمدن حفره‌های گازی PROSITY میشوند. بهترین روش پاک کردن روغن استفاده از حلالهای مخصوص

بیا حرارت دادن قطعه در دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد بمدت ۴ تا ۸ ساعت می باشد. در صورتیکه روشهای فوق مقدور نباشد برشکاری با الکتروود ذغالی GOUERING و سنگ زنی نیز تا حدی موثرند. اگر در هر صورت در حین جوش حفره های گازی پدیدار شدند، تنها راه حل ممکنه سنگ زدن جوش معیوب تا حدی که فقط لایه نازکی از آن باقی بماند و سپس جوشکاری مجدد است. در بعضی از شرایط ممکن است که تکرار این عمل چندین بار ضرورت پیدا کند.

## روشهای جوشکاری

### تمیزکاری :

باعل پیس گفته و از آنجائیکه چدننها بطور کلی از نظر مقاومت مکانیکی بخصوص مقاومت به ضربه ضعیف هستند تمیزکاری چدننها قبل از جوشکاری از هرگونه آلودگی و ماده خارجی نظیر زنگ، روغن، گریس، گرد و غبار و غیره که میتواند مقاومت اتصال جوش را کاهش دهد از اهمیت خاصی برخوردار است.

### آماده سازی درز اتصال :

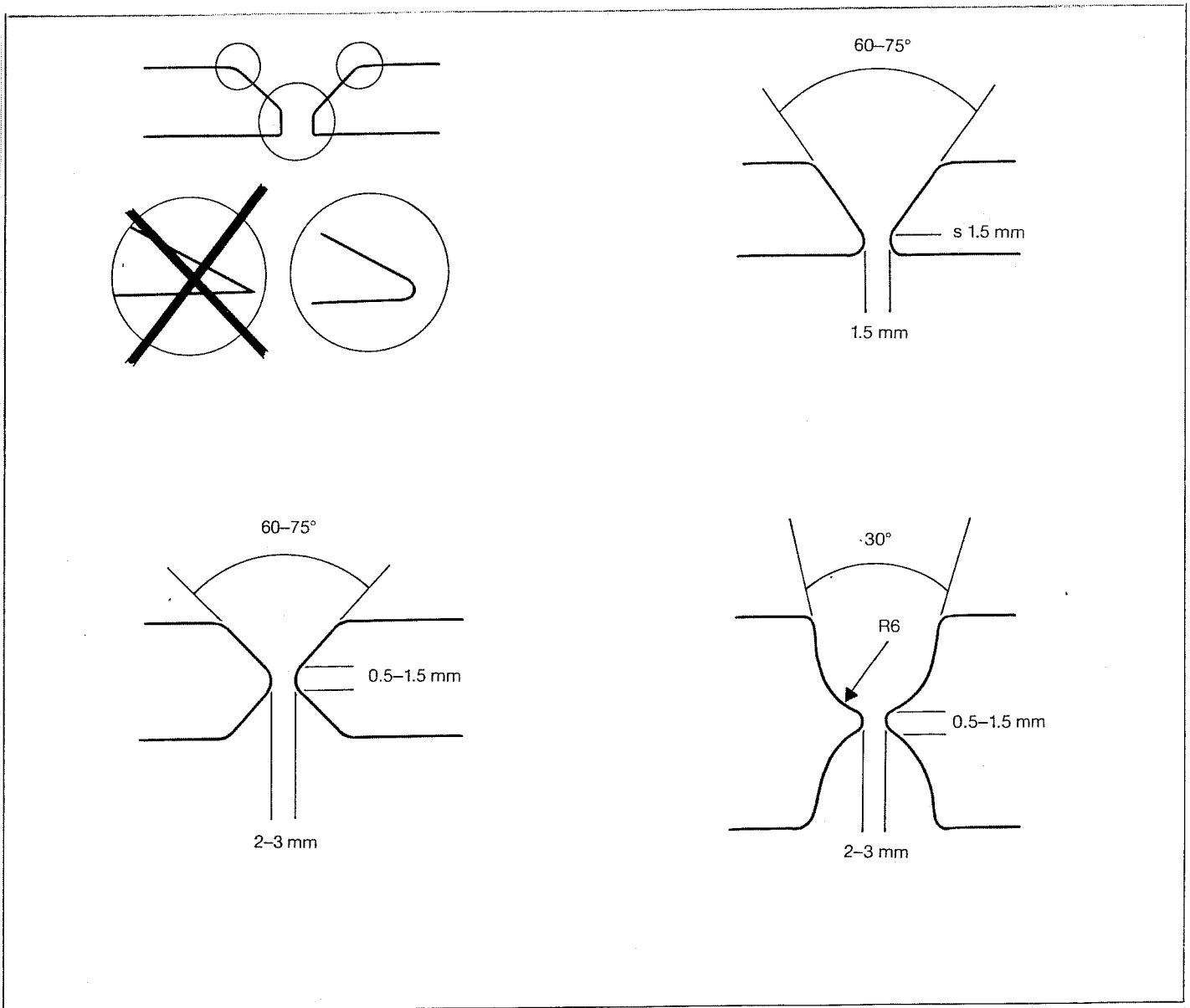
- زاویه پخ درز اتصال چدننها بایستی بزرگتر از فولادهای معمولی بوده و معمولاً در حدود ۸۰ تا ۹۰ درجه در نظر گرفته میشود.

- کلیه گوشه ها و زوایای درز اتصال باید دارای انحناء مناسب باشد تا از تمرکز حرارت در گوشه های تیز اجتناب گردد.

- طرح اتصال (U) شکل یکطرفه یا دو طرفه نسبت به دیگر طرحهای اتصال برتری داشته و در کاهش تنشها موثر است.

- جهت تعمیر و جوشکاری ترکها می بایستی ترک را کاملاً سنگ زد تا بصورت یک درز باپهنای کافی درآید. بهترین حالت آنستکه سنگ زدن یا برشکاری تا حدی انجام گیرد که ریشه ترک در حدود ۲ تا ۳ میلی متر باز شود.

## شکل [۲] : آماده سازی درز اتصال در جوشکاری چدن



### پیش گرمایش :

دلایل استفاده از پیش گرمایش در سطور قبل با اختصار تشریح شد. دمای پیش گرمایش مورد استفاده به عوامل متعددی بستگی دارد که ذیلاً اشاره میشود:

- دمای ۱۰۰ - ۸۰ درجه سانتی گراد

مهمترین نقش دما در حد فوق خشک کردن رطوبت سطوح مورد جوشکاری است اما قادر نیست که هیدروژن نفوذ کرده به فلز را از بین ببرد.

- دمای ۲۰۰ - ۲۵۰ درجه سانتی گراد

دمای مذکور عمدتاً " در جوشکاری چدنهای نشکن DUCTILE جهت ممانعت از تشکیل ساختار مارتنزیتی در ناحیه و تحت تاثیر حرارت بکار می‌رود. گرچه گاهی اوقات جهت ممانعت از رسوب و جدایش سمنتیت استکتونید پیش گرمایش بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در جوشکاری این چدن‌ها استفاده می‌شود، اما بطور کلی پیش گرمایش بیش از ۳۰۰ درجه برای چدنهای نشکن توصیه نمی‌شود.

- دمای ۲۵۰ - ۵۰۰ درجه سانتی گراد

حد نهائی پیش گرمایش کلیه چدن‌ها معمولاً " تا حدود ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد است. دماهای بالاتر گرچه مناسب‌ترند، اما در صورت کاربرد می‌بایستی سرعت گرم کردن و سرد کردن چدن کاملاً " کنترل شده و به آرامی صورت گیرد.

- دمای ۵۰۰ - ۶۰۰ درجه سانتی گراد

دمای فوق معمولاً " وقتی بکار می‌رود که کاهش سختی ناحیه و تحت تاثیر حرارت تا حد ممکنه در چدنهای خاکستری و چدنهای باگرافیت فشرده مد نظر باشد. بعنوان یک نتیجه‌گیری کلی در مورد پیش گرمایش می‌توان گفت که هرچه دمای پیش گرمایش بالاتر باشد، سختی ناحیه و تحت تاثیر حرارت کمتر شده و مقاومت به ضربه و جوش بالاتر خواهد بود. جوشکاری چدن‌ها را براساس دمای پیش گرمایش می‌توان بصورت ذیل خلاصه کرد.

- جوشکاری سرد ( دمای معمولی )

- جوشکاری نیمه گرم (درجه حرارت پیش گرمایش در حدود ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد)

- جوشکاری گرم ( دمای پیش گرمایش در حدود ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد )

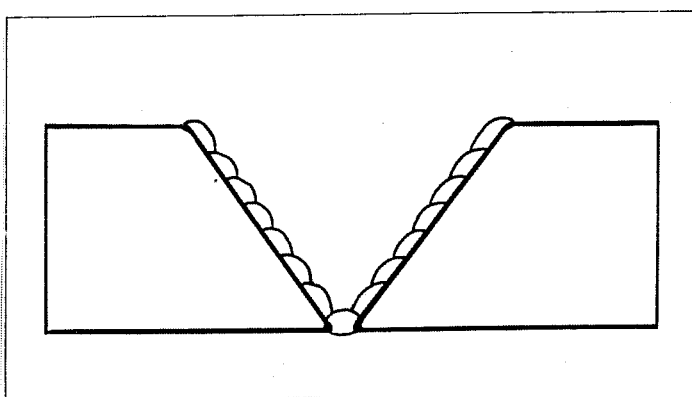
## تکنیکهای جوشکاری

- تکنیک لایه دادن BUTTERING

در جوشکاری باکیفیت بالا و جوش چدن‌ها به فلزات دیگر نظیر انواع فولاد برای کاهش امتزاج الکتروود ذوب شده با فلز اصلی در دو طرف اتصال از تکنیک لایه دادن استفاده می‌شود. این عمل سبب می‌گردد که فازهای ترد و شکننده

ناشی از امتزاج فلزات بحد اقل رسیده و جوش حاصل دارای نرمی و انعطاف - پذیری بالاتری باشد. لایه دادن همچنین در عملیات سطحی یارو کشکاری چدن‌ها و بطور کلی فلزات کاربرد وسیعی یافت است. نکته اصلی در لایه دادن عبارت است از تنظیم شرایط بگونه‌ای که پاسهای بعدی نسبت به پاسهای قبلی همواره مقدار کمتری از فلزات پایه را در خود داشته و بتدریج لایه‌های ذوب شده عمدتاً " از جنس فلز الکتروود که مرغوبیت و انعطاف پذیری بالاتری دارد تشکیل شوند.

### شکل [۳]



ب ( لایه دادن تک پاسه

الف ( لایه دادن چند پاسه

## تکنیک جوشکاری سرد COLD WELDING

این تکنیک معمولاً در مورد قطعاتی بکار میرود که حجم جوش مورد نظر کم بوده یا قطعه چدنی بیش از حد بزرگ و سنگین باشد و یا پیش گرمایش قطعه بدلایلی ممکن و مقدور نگردد. در جوشکاری سرد از آنجائیکه کنترل سرعت سرد شدن نواحی اطراف جوش به آهستگی مقدور نمی‌باشد، سعی می‌شود که پهنای و وسعت ناحیه تحت تاثیر حرارت تا حد امکان محدود گردد. برای دستیابی به هدف فوق رعایت موارد زیر توصیه میگردد:

-- طول هر پاس جوش از ۲ تا ۳ سانتی متر تجاوز نکند.

-- از کوچکترین قطر الکتروود و کمترین جریان (آمپر) جوشکاری استفاده شود.

-- قطب DC منفی برای الکتروودانتخاب گردد امتزاج الکتروود بافلز اصلی  
بحد اقل ممکن کاهش یابد .

-- دمای کل قطعه در هیچ زمانی از ۱۰۰ درجه سانتی گراد تجاوز نکنند .

-- جهت کاهش و متعادل کردن تنشها از روش گام به پس BACK-STEP  
( شکل ۴ ) استفاده شود .

-- پس از انجام هر پاس در حالیکه جوش هنوز کاملاً " داغ و سرخ می باشد  
با چکش گرد به آرامی و با ضربات متوالی کوبیده PEENING شود ( از  
کوبیدن دو انتهای جوش در لبه ها خودداری گردد ) .

## جوشکاری نیمه گرم SEMI-HOT WELDING

این روش که دمای پیش گرمایش آن در حدود ۲۰۰ درجه سانتی گراد است ، عمدتاً " در رابطه با جوشکاری چدنهای نشکن DUCTILE بکارگرفته میشود . در صورتیکه دمای پیش گرمایش جهت پائین آوردن سختی نواحی اطراف جوش کافی نباشد ، از پیش گرمایش در حدود ۲۵۰ درجه سانتی گراد هم میتوان استفاده کرد . جهت اجرای جوشکاری نیمه گرم موارد ذیل توصیه میگردد .

-- دمای پیش گرمایش در تمام مدت جوشکاری ثابت نگهداشته شود .

-- جوشکاری با پاسهای کوتاه ( حداکثر ۵ میلی متر ) انجام گرفته و از حرکات زیگزاگی الکتروود خودداری شود .

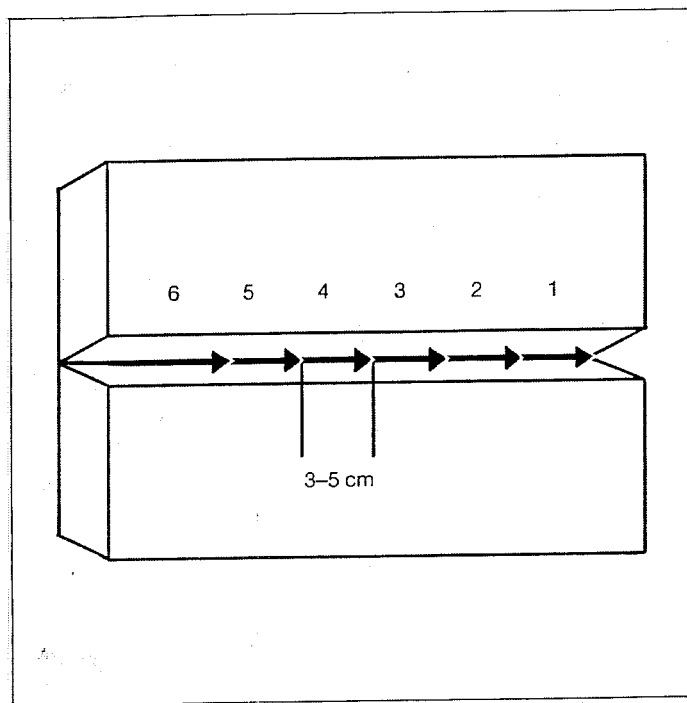
-- از روش گام <sup>پس</sup> BACK STEP ( شکل ۴ ) استفاده شود .

-- از الکتروودهای با قطر کم و جریان جوشکاری ( آمپر ) متوسط استفاده گردد .

-- پس از انجام هر پاس جوش با چکش سر گرد کوبیده PEENING شود .

-- پس از جوشکاری قطعه بنحوی نگهداری شود که سرد شدن آن به آهستگی صورت گیرد .

## شکل [۴] : روش جوشکاری گام به پس BACK STEP



## - جوشکاری گرم HOT WELDING

چون گرم کردن و ثابت نگهداشتن درجات حرارت بالا در قطعات سنگین و حجیم اغلب دشوار می باشد، روش جوشکاری گرم معمولاً در جوشکاری قطعات کوچک و سبک چدنهای خاکستری و چدنهای CG و SG بکار می رود. اما باید در نظر داشت که پیش گرمایش چدنهای SG بالاتر از ۳۵۰ درجه سانتیگراد توصیه نمی شود. مناسبترین الکترود جهت جوشکاری گرم الکترودهای رده AWS A5.15:ENiFe-Ci می باشند. سرد کردن آهسته قطعه پس از جوشکاری الزامی است.

## الف) پس گرمایش POST WELD HEAT TREATMENT

اگرچه در بعضی از موارد بدون عملیات حرارتی پس گرمایش نیز قطعه جوش شده سالم خواهد بود، اما جهت بهبود خواص مکانیکی، مقاومت به ضربه و جوش

و ناحیه تحت تاثیر حرارت، گرم کردن اتصال پس از جوشکاری (پس گرمایش) توصیه می‌گردد. تنش زدائی پس از جوشکاری بخصوص در مواردی که از الکترودهای با پایه آهن استفاده شود الزامی است.

## ب) سرعت سرد شدن

از آنجائیکه چدن‌ها در برابر تنشهای ناشی از انقباض بسیار حساس هستند، یکی از موارد عمومی که رعایت آن در اغلب جوشهای چدن ضروری است، فراهم آوردن شرایطی است که قطعه و یا لاقطه منطقه جوش و نواحی اطراف آن به آهستگی سرد گردد. سرد کردن آهسته میتواند بوسیله پوشاندن قطعه با مواد نسوز یا قراردادن آن درون ماسه خشک و گرم و یا کوره‌های عملیات حرارتی تامین شود.

## الکترودهای مصرفی

الکترودهای روپوشدار جهت جوشکاری چدن‌ها در محدوده وسیعی از ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی تولید میشوند. بسته به ترکیب شیمیایی الکترودهای جوشکاری چدن را میتوان به گروههای زیر طبقه‌بندی کرد:

- الکترودهای فولادی MILDE STEEL COMPOSITION
- الکترودهای چدنی CAST IRON COMPOSITION
- الکترودهای نیکلی PURE NICKEL
- الکترودهای نیکل - آهن NICKEL - IRON COMPOSITION
- الکترودهای آلیاژ مس COPPER-TIN COMPOSITION

جوش حاصل از الکترودهای چدنی و فولادی بسیار سخت و شکننده بوده و نسبت به ترک برداشتن حساس میباشد. این الکترودها جهت اتصال دو قطعه به یکدیگر مناسب نیستند و کاربرد آنها عموماً محدود به تعمیرات سطحی قطعات ریختگی بزرگ نظیر پرکردن حفره‌ها و مکهای سطحی است. جوشکاری با الکترودهای فوق نیاز به پیش گرمایش بالایی دارد. الکترودهای چدنی یا فولادی همچنین در



تعمیرات اجزاء چدنی که مدت زیادی در دمای بالا کار کرده باشند نظیر مانیفولد اگزوز، درب کوره‌های کک‌سازی و غیره عملکرد خوبی دارند. رنگ جوش حاصل از این الکترودها با قطعه اصلی همخوانی دارد.

الکترودهای نیکلی E Ni-C1 : AWS: A5.15 که حاوی حدود ۹۸٪ نیکل هستند جوشی نرم و انعطاف پذیر ایجاد کرده و چون گرافیت حاصل از ذوب در حین جوشکاری قابلیت انحلال در این فلز را ندارند، در نتیجه جوش در حین سرد شدن دچار انقباض حجم نخواهد شد. رنگ جوش این الکترودها با رنگ قطعه همخوانی نداشته و این مسئله در مواردی که انطباق رنگ اهمیت داشته باشد مشکل‌ساز خواهد بود. در چنین مواردی پاس آخر جوش را میتوان با الکترودهای فولادی یا چدنی انجام داد. جوشکاری کلیه چدن‌ها بجز چدنهای حاوی گوگرد و فسفر زیاد با این الکترودها مقدور بوده و نیاز به پیش‌گرمایش متوسطی دارند.

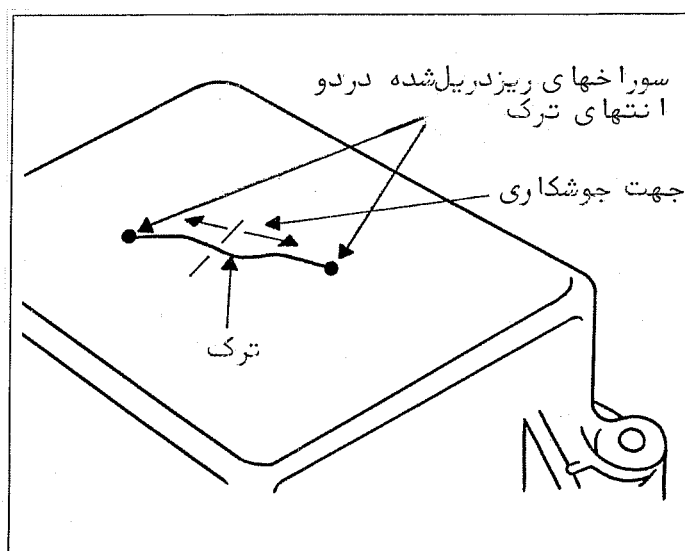
الکترودهای نیکل - آهن E Ni Fe-C1 : AWS: A5.15 که حاوی حدود ۴۵٪ آهن و ۵ تا ۵۳ درصد نیکل هستند، خواصی شبیه به الکترودهای نیکلی داشته اما از نظر کیفیت جوش و استحکام مرغوب‌ترند. بهمین دلیل در جوشکاری چدنهای نشکن DUCTILE که مقاوم‌ترند، عمدتاً از این الکترودها استفاده میشود.

الکترودهای آلیاژ مسی خود به گروه‌های مختلفی تقسیم میشوند. نوع مرغوب این الکترودها عمدتاً "آلیاژ مس - قلع" هستند. رنگ جوش حاصل از این الکترودها کاملاً با رنگ زمینه متفاوت بوده و بعلاوه نرمی زیاد ماشینکاری آن براحتمالاً امکان پذیر نیست. جوشکاری با الکترودهای مس بدون پیش‌گرمایش نیز ممکن میباشد. جوش این الکترودها در مقایسه با الکترودهای نیکلی در جوشکاری قطعات چدنی که تحت دمای بالا هستند نظیر مانیفولد اگزوز نتیجه مناسبتری دارد.

## تعمیرات اجزای چدنی

### الف) تعمیر ترک

در صورت مشاهده ترک در قطعات چدنی قبل از هر کاری می‌بایستی طول دقیق ترک را بوسیله بازرسی چشمی با ذره‌بین قوی یا آزمایش مایعات نافذ یا آزمایشات غیرمخرب دیگر تعیین کرد. اقدام بعدی ممانعت از انتشار ترک در حین تعمیر است. راه‌حل متداول در این موارد سوراخ کاری دو انتهای ترک بوسیله مت‌های بقطر ۳ میلی‌متر یا کمتر می‌باشد. پس از آن باید ناحیهٔ معیوب را همراه با مقداری از فلز سالم بوسیله سنگ زنی یا برشکاری با الکتروود ذغالی بنحو مناسبی برداشت و در صورت نیاز لبه‌های کار را جهت جوشکاری پیخ زد. اگر بخشی از ترک تا لبه‌های قطعه امتداد یافته باشد، ترتیب و جهت جوشکاری را باید بگونه‌ای انتخاب کرد که جوش از لبه کار شروع شده و بطرف وسط قطعه پایان یابد.



شکل [۵]: آماده‌سازی ترک جهت تعمیرات

ب ( بازسازی اجزای شکسته شده چدنی

قطعات و اجزای شکسته شده چدنی را میتوان به روشهای متعددی جوشکاری و بازسازی کرد. در اینجاییکی از روشهای متداول بازسازی بررسی میگردد.

- پس از بازرسی دقیق نواحی معیوب، این نواحی باید تا رسیدن به فلز سالم سنگ زده شود.

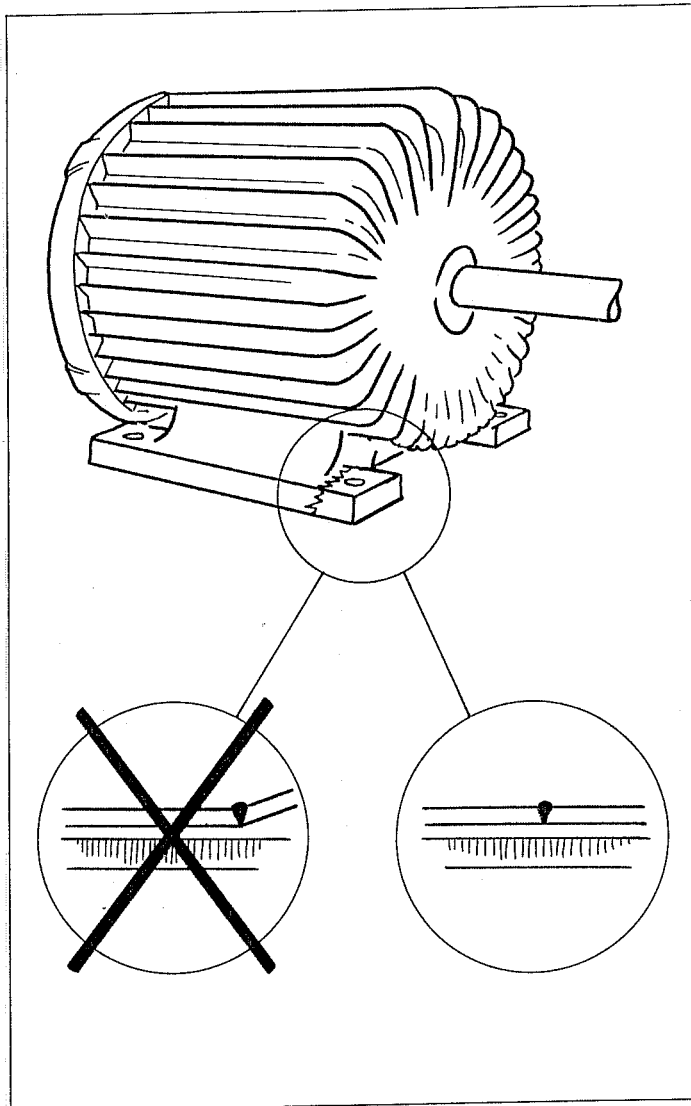
- کلیه گوشه‌ها و لبه‌های تیز بنحومناسبی گرد شده و دارای انحناکردد.

- در صورت نیاز به پخ کاری لبه‌ها حداقل با زاویه ۴۵ درجه شیب داده شوند و پس از آن لبه‌های پخ زده شده (شیب دار) حداقل یک لایه بوسیله الکترودهای نیکلی AWS A5.15: E Ni-Ci یا الکترودهای نیکل-آهن AWS A5.15: E Ni Fe-Ci روکش کاری BUTTERING شوند.

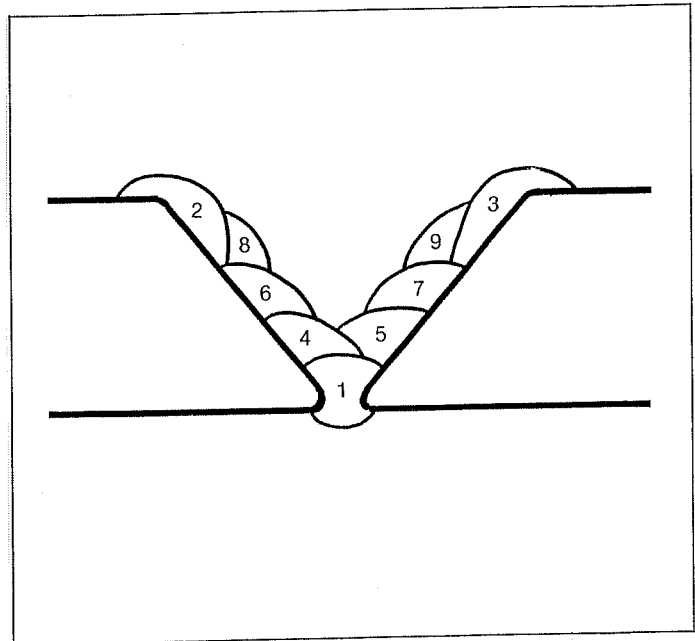
- از یک قطعه ورق فولادی نرم مشابه جزئی شکسته شده چدنی ساخت شود (ورق فولادی با قطعه چدنی باید بگونه‌ای تنظیم گردد که ریشه درز اتصال ROOT حداقل ۲ میلی متر فاصله از آزاد داشته باشد).

- ورق فولادی به قطعه چدنی خال جوش گردد.

- جوشکاری با پاسهای حتی المقدور کوتاه شروع شده و ترتیب پاسها بگونه‌ای تنظیم شود که حداقل تنش ایجاد گردد. (شکل ۷)



شکل [۶]



شکل [۷] ترتیب جوشکاری

- پس از انجام هر پاس (بجز پاسهای اول و آخر) در حالیکه جوش هنوز سرخ و داغ میباشد بایستی با ضربات متوالی و آرام کوبیده PEENING شود .

چدنهایی که مدت طولانی در دماهای بالاتر از ۴۰۰ درجه سانتی گراد کار کرده باشند بمرور دچار اکسیداسیون عمقی خواهند شد، اینگونه چدنها دارای خواص و مشخصات ذیل می باشند:

- ۱- دارای لایه سطحی کاملاً آشکار اکسیدی هستند.
- ۲- سختی آنها بیشتر از حد معمول است.
- ۳- کمابیش دچار اکسیداسیون عمقی هستند.

اکسیداسیون عمقی چدنها با مکانیسمهای مختلفی اتفاق می افتد. با نفوذ اکسیژن بداخل فلز در طول ورقه های گرافیتی از یکطرف گرافیت بصورت گازهای CO و CO<sub>2</sub> تجزیه میگردد و در صورت ادامه حرارت و دخول اکسیژن بیشتر گرافیت کاملاً می سوزد و در داخل چدن فضاهای خالی ایجاد خواهد شد. از طرف دیگر ممکن است که ابتدا لایه های آهن اطراف ورقه های گرافیتی اکسیده شوند. این لایه های اکسیدی گرافیت را در بر گرفته و آنرا از اکسیداسیون حفظ میکنند اما چون حجم مخصوص اکسید از آهن خالص بیشتر می باشد. تشکیل لایه های اکسیدی با افزایش حجم و ایجاد فشار داخلی همراه خواهد بود که در اینصورت چدن متورم میگردد.

به علل فوق جوشکاری چدنهای سوخته بسیار سخت و مشکل می باشد. توصیه میشود که جهت جوشکاری این چدنها مناطق فرسوده بوسیله الکتروود ذغالی یا سنگ زنی تا رسیدن به چدن سالم و بدون عیب برشکاری گردد. پس از پاک کردن منطقه فرسوده از بقایای سنگ زنی یا برشکاری در صورتیکه هنوز فلز اصلی باقیمانده باشد، منطقه مذکور باید با الکتروودهای از نوع فولاد نرم روکشکاری گردد. در غیر اینصورت با قرار دادن یک قطعه ورق از فولاد نرم در محل برش شده، جوشکاری اصلی با الکتروودهای نیکل - آهن یا الکتروود آلیاژ مس با رعایت ملاحظات که در فصول قبل ذکر شد انجام گیرد.

## منابع مراجعه

۱- WELDING HANDBOOK VOLUME 4 (AWS)

۲- راهنمای جوشکاری چدن و آلومینیم - امیرحسین کوکبی (جامعه ریخته گران)

۳- THE PRECEDURE HAND BOOK OF ARC WELDING (LINCOLN CO.)

۴- اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها و چدن‌ها - محمد علی گلغدار -  
(دانشگاه صنعتی اصفهان)

