



گروه آریا نورین میکا

راهنمای کاربردی تعمیر و جوشکاری چدن‌ها



الکتروود بازار

فهرست

مقدمه

تاریخچه کشف و استفاده از چدن

چدن چیست

تولید چدن

تقسیم بندی و کاربرد چدن

نقش عناصر آلیاژی در چدن

معرفی انواع چدن

چدن خاکستری

چدن سفید

چدن چکش خوار

چدن داکتیل

خواص مکانیکی چدن

جوشکاری چدن

جوشکاری چدن سفید

جوشکاری چدن چکش خوار

جوشکاری چدن خاکستری

جوشکاری چدن داکتیل

مشکلات رایج در جوشکاری چدن

فیلر های مناسب جوشکاری چدن و موارد کاربرد آنها

روشهای رایج جوشکاری ذوبی چدن

کلاس بندی الکترودهای روکش دار مناسب در جوشکاری چدن

تکنیکهای توصیه شده جهت جوشکاری چدن

الکتروود مناسب جهت جوشکاری چدن از گروه آریا نورین میکا

مثالیهای کاربردی از جوشکاری چدن

عبارات تخصصی در حوزه متالورژی و جوش

مقدمه

مسئله تعمیر و نگهداری در صنایع گوناگون یکی از اصلی ترین پایه های سیستم های مدیریت کیفیت در استانداردهای روز دنیا می باشد. عدم توجه به مسائلی چون عمر مفید و محاسبه هزینه تعمیر یا تعویض تجهیزات، می تواند خسارات جبران ناپذیری را برای صنایع به بار آورد.

در واقع کلید موفقیت در ارائه کالایی بدون نقص و با کیفیت مستمر، برنامه ریزی جهت آماده و بروز بودن ماشین آلات و تجهیزات تولیدی می باشد که این امر از طریق وجود برنامه ای منسجم و بدون نقص برای تعمیرات و نگهداری بوجود خواهد آمد. این موضوع در صناعی همچون ریخته گری، شکل دهی فلزات، مکانیک ماشین آلات، قالب سازی و... بسیار مهم است. بطور مثال هزینه تعمیر بدنه یک موتور تخریب شده بسیار کمتر از تعویض کلی آن می باشد. از طرفی دیگر چنانچه تعمیر موتور بصورت صحیح صورت نگیرد، احتمال سرایت عیب و تخریب بیشتر سیستم وجود خواهد داشت. از این رو تخصص و مهارت ویژه در تعمیر قطعات حساسی چون موتور دو چندان می گردد.

آلیاژ چدن به عنوان یکی از پر کاربرد ترین مواد، از دیر باز شناخته شده و کاربردهای فراوانی در صنایع گوناگون یافته است. مشخصاتی همچون نقطه ذوب پایین، قابلیت سیال شدن زیاد، قابلیت جذب ارتعاش خوب، مقاومت بالا در مقابل سایش، عدم حساسیت در برابر شیارهای سطحی و کم بودن میزان انقباض در زمان انجماد و سرد شدن از ویژگی هایی است که استفاده از این ماده را برای سال های متمادی در صنایع گوناگون توجیه کرده است

مسئله تعمیر و نگهداری تجهیزات چدنی از جمله نکات کلیدی در بهره‌وری و افزایش عمر مفید این دسته از مواد می‌باشد. در این میان فرآیند جوشکاری به عنوان یکی از اصلی‌ترین روشها جهت تعمیر این دسته از مواد شناخته می‌شود. از این رو گروه شرکتهای تولیدی آریا نورین میکا به عنوان یکی از بزرگترین تولید کنندگان مواد مصرفی جوشکاری در سطح خاورمیانه تصمیم به ارائه راهنمایی برای تعمیر و نگهداری قطعات چدنی مورد استفاده در صنایع گوناگون گرفت. این کتاب جهت انتقال تجربه این شرکت در زمینه ارائه راهکارهایی برای حل مشکلات صنعتگران عزیز که از قطعات چدنی استفاده دارند، ارائه گردیده است.

در بخش ابتدایی کتاب به معرفی انواع چدن و کاربردهای آن از دیدگاه کاربردی و تخصصی پرداخته شده و در ادامه انواع روشهای جوشکاری این نوع از مواد شرح داده شده است. سپس به تکنیک‌های جوشکاری تعمیراتی و مشکلات پیش‌رو در این زمینه پرداخته و در انتها نیز با ارائه مثالهای عینی از پروژه‌های تعمیراتی چدن‌ها همراه با عکسهای دقیق، سعی بر تشریح هرچه بیشتر تکنیک‌های تعمیر قطعات معیوب چدنی شده است. همچنین در بخش پایانی کتاب برای آن دسته از خوانندگان محترمی که با عبارات تخصصی در حوزه جوش و متالورژی آشنایی ندارند توضیح کوتاهی جهت آشنایی با این مفاهیم بیان گردیده است. توصیه می‌گردد آن دسته از خوانندگان محترمی که تاکنون مطالعه مرتبط در حوزه جوش و متالورژی نداشته‌اند، مطالعه این کتاب را از بخش انتهایی آن (توضیح عبارات تخصصی) آغاز نمایند.

لازم میدانم به عنوان نگارنده و عضو کوچکی از گروه آریا نورین میکا اعلام نمایم که این مجموعه آماده دریافت نظرات مشتریان گرامی جهت افزایش کیفیت محتوایی این کتاب در نسخه‌های بعدی خواهد بود.

همچنین از همکار و دوست گرامی جناب آقای محمد نظری که در طراحی و نشر کتاب کمک‌های شایانی نمودند تشکر می‌نمایم.

در پایان لازم میدانم از مدیران محترم سازمان آقای مهندس مصطفی باقرزاده و جناب آقای علی باقرزاده به جهت راهنمایی‌های فراوان و پشتیبانی‌شان برای انتشار این کتاب تشکر نمایم.

واحد تحقیقات و توسعه گروه آریا نورین میکا

میلاد بامداد مهربانی

بهار ۱۳۹۷

الکتروودبازار

تاریخچه کشف و استفاده از چدن



اجاق تولیدی جهت گرمایش با هیزم، ساخته شده از چدن بوسیله ریخته گری با قالب ماسه ای در انگلستان ۱۵۷۶ میلادی

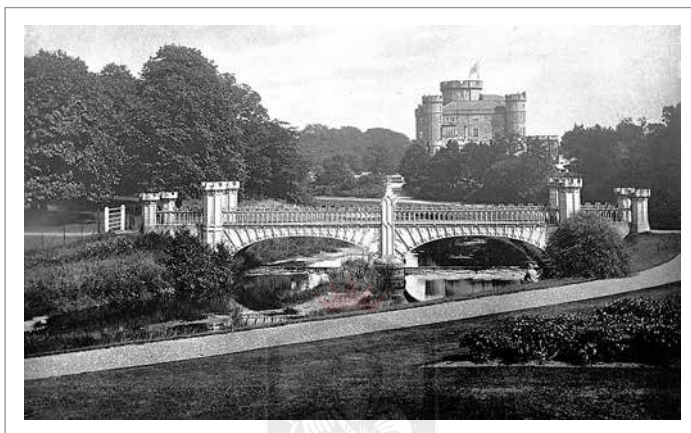
چدن و آهن می توانند در هنگام ذوب کردن مس و با اضافه کردن سنگ معدن آهن به پاتیل ذوب مس به طور کاملاً تصادفی ایجاد گردند. این حقیقت علمی شاید اولین جرقه ساخت و استخراج چدن بوده باشد. نخستین مصنوعات چدنی ساخته شده به دست بشر توسط باستان شناسان به مردمی در جنوب شرقی چین و در قرن ۵ پیش از میلاد نسبت داده شده است. این قوم برای اولین بار استفاده از چدن را از طریق ریخته گری ابتدایی در ساخت ابزارآلات کشاورزی و سلاح و حتی در ساخت خانه های خود مورد استفاده قرار دادند. با وجود خواص بهتر قطعات آهنی در ساخت قطعاتی مانند سلاح، چدن به دلیل فرآیند ساخت آسان تر و ارزان تر خود کاربرد بیشتری در چین باستان داشتند. در قرن ۱۳ میلادی دانشمندی ایرانی به نام ذکریای قزوینی که از شاگردان دانشمند بزرگ اثیرالدین ابهری بود موفق به انتقال تکنیک ذوب و ریخته گری قطعات چدنی از طریق راه ابریشم از چین به ایران گشت.



چدن استخراج شده توسط چینیان باستان در شهر خیابک سو (قرن ۵ پیش از میلاد)

در غرب استفاده از چدن از قرن ۱۵ میلادی آغاز گردید. استفاده اولیه از این ماده در ساخت توپ و گلوله های جنگی بوسیله فرآیند ریخته گری با قالب ماسه ای گزارش شده است. در زمان هنری سوم استفاده از توپهای چدنی که سنگین تر و تولید راحت تری از گلوله های برنزی داشتند بوسیله استفاده از تکنیک های جدید تر با کوره های ذوب رواج فراوانی یافت و این امر منجر به افزایش توان نظامی نیروی دریایی بریتانیا شد. با افزایش روز افزون استفاده از چدن در انگلستان شخصی به نام آبراهام داربی موفق به ریخته گری و تولید نوع خاصی از دیگ های چدنی گردید که بعدها با ساخت اجاقهای ذغالی در بین سالهای ۱۷۲۰ تا ۱۸۰۰ گسترش بیشتری یافت.

توسعه ساخت موتورهای بخار نیز کمک فراوانی به افزایش مصرف چدن نمود. زیرا استفاده از این ماده وزن کمتر و هزینه ساخت کمتری نسبت به ساخت سیلندرهای برنجی داشت. فردی به نام جان ویکنسون با ریخته گری و ساخت قطعات چدنی، نقش کلیدی در استفاده از این قطعات بوسیله مهندسين سرشناسی مانند جیمز وات در قرن ۱۷ میلادی ایفا نمود. در قرون بعدی استفاده از این آلیاژ سودمند در ساخت پل و ابنیه و ابزارآلات کشاورزی نیز توسعه فراوانی یافت.

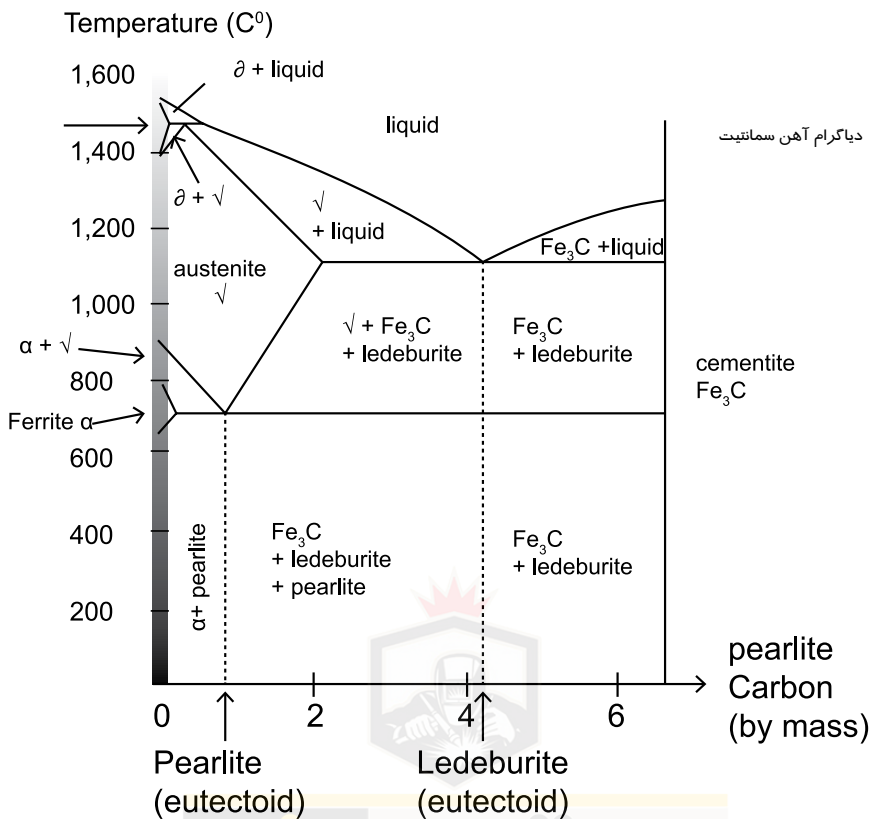


پل اکلینتون در کشور اسکاتلند. ساخته شده در سال ۱۸۲۶ از جنس چدن خاکستری

چدن چیست؟

چدن یک گروه از آلیاژهای آهن کربن است که محتوای کربن آن بیش از ۲ درصد است. جهت فهم دقیق تر خواص این آلیاژ توجه به نمودار آهن-کربن به منظور شناسایی خواص آن بسیار کاربردی است. با وجود کاهش قابل توجه در تولید چدن در طول دهه گذشته، چدن به عنوان مهمترین آلیاژهای ریختگی مورد توجه بوده اند. محبوبیت چدن به دلیل کاربرد آنها در ریخته گری اشکال پیچیده با هزینه های پایین تولید، و دست یافتن به محدوده وسیع خصوصیات دلخواه با تغییراتی در ترکیب شیمیایی و سرعت سرد کردن آنها می باشد.

یکی از مهمترین فواید این آلیاژ دمای ذوب نسبتاً پایین آن است. مطابق نمودار آهن-کربن و بر اساس درصد کربن چدن، نقطه یوتکتیک در این نمودار به عنوان محل بررسی خواص آنها شناخته می شود (محلی در نمودار آهن-کربن که پایین ترین نقطه ذوب را دارد). با توجه به این نمودار دمای ذوب چدن در محدوده ۱۱۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد و ۵۰۰ درجه پایین تر از آهن خالص قرار دارد.

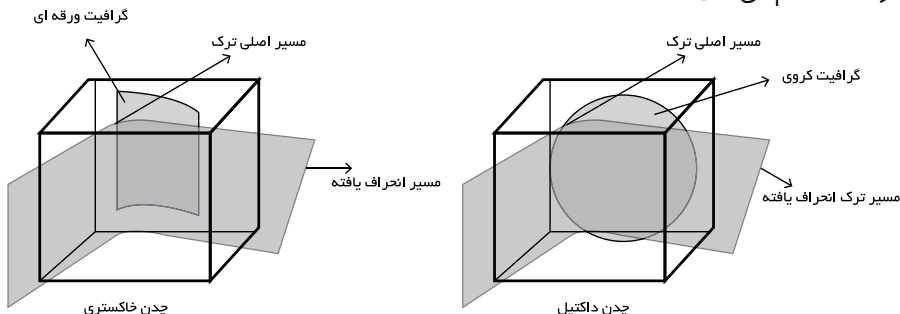


تفاوت ترکیبات آلیاژی این ماده منجر به تفاوت رنگ سطح مقطع شکست این آلیاژ و به عنوان راهی برای تقسیم بندی آن شناخته می شود.

ترکیب گرافیت که با حضور خود در اشکال مختلف خواص متفاوتی را به چدن می بخشد نقشی اساسی در تقسیم بندی و کاربرد این دسته از مواد ایفا می کند. در واقع برخلاف فولادها که به دلیل درصد کمتر کربن این عنصر همواره به عنوان بخشی از محلول جامد ایجاد شده در ساختار حضور دارد. در چدن کربن بالا به شکل گرافیت و بصورت کاملاً مجزا و در اشکال لایه ای، کروی و... در ساختار ایجاد شده و خواص متفاوتی را به چدن می بخشد. بطور مثال چدن سفید دارای ناخالصی های کاربیدی می باشد که عملاً موجب رشد ترک بدون هر گونه مقاومتی می گردد، در

حالی که چدن خاکستری دارای ورقه های گرافیتی می باشد که به عنوان سدی در برابر جوانه زنی و رشد ترک ها از طریق انحراف آنها عمل می کند و جلوی ایجاد ترک های جدیدتر جهت تخریب قطعه را می گیرد.

چدن داکتیل نیز دارای ساختار کروی گرافیتی ای می باشد که به عنوان سدی در برابر پیشرفت ترک ها اقدام می نماید .



تصویری انتزاعی از نحوه مقابله ساختار های ورقه ای و کروی گرافیت در برابر ترک

در این دسته از آلیاژها عمده ترین عناصر شامل کربن با $1/8$ تا 4 و سیلیسیم با 1 تا 3 درصد می باشند.

با اینکه چدن یک ترکیب سه تایی از آهن، کربن و سیلیسیم می باشد، تمایل به تردی چدن ها به غیر از چدن چکش خوار بالاست. اما چدن ها دارای مزایای بسیاری مانند دمای ذوب پایین، سیالیت بالای مذاب، قابلیت بالای ریخته گری، قابلیت مناسب ماشین کاری پس از ریخته گری، مقاومت به تغییر شکل و مقاومت حرارتی بسیار مناسب و مقاومت به اکسایش می باشند. چدن ها به عنوان یک ماده مهندسی کاربردهای بسیاری در صنایع گوناگون مانند ساخت لوله و خودروسازی دارند .

تولید چدن

فرآیند ریخته گری مهمترین و اصلی ترین فرآیند تولید چدن ها می باشد. تولید قطعات چدنی از آهن خام آغاز می شود. فرآیند تولید آنها بوسیله ذوب کردن سنگ معدن آهن در کوره های ذوب انجام می شود.

آهن، اغلب از سنگ های معدنی شامل اکسیدها یا کربنات ها که گوگرد، آرسنیک و غیره از آنها زدوده شده باشد با حرارت دهی تهیه می شود. کانه آهن با کک و کربنات کلسیم آمیخته شده و در یک کوره بلند که دمای بیشینه آن 1300 درجه سانتیگراد است، گرم می شود و ناخالصی های عمده اسیدی به کمک سرباره (کلسیم سیلیکات، آلومینات و غیره) خنثی می شود و توده فلزات مذاب به صورت چدن خام به بیرون جریانی می یابد. چدن خام شامل 2 الی 4 درصد کربن و اندکی گوگرد، فسفر و سیلیسیم است. چدن مذاب را به صورت خام یا پس از افزودن عناصر آلیاژی، برای بهبود

خواص در قالب هایی از ماسه یا فلز و بر حسب نوع مصرف ریخته گری می کنند. به علاوه در طی فرآیند ذوب عناصر مضرى همچون فسفر و گوگرد از مذاب خارج گشته و در عین حال عنصر مطلوبی چون کربن نیز از پاتیل خارج می شود. مهندسی دقیق مقادیر کربن و سیلیسیم با توجه به کاربرد نهایی قطعه چدنی بسیار مورد اهمیت است. علاوه بر این افزودن سایر عناصر با توجه به خواص مورد انتظار در فرآیند ذوب و پیش از ریخته گری نهایی امکان پذیر است. استفاده از کوره های ذوبی به نام کوپل نیز در تولید چدن رابچ می باشد. اما امروزه از کوره های مدرن تری مانند کوره القایی و قوس الکتریکی استفاده می شود .



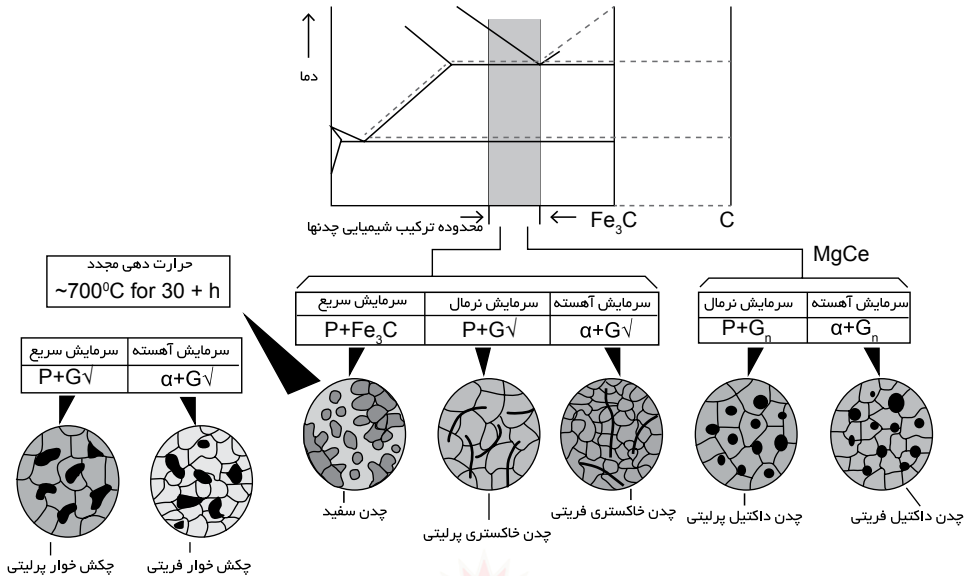
نمایی از فرآیند ریخته گری چدن



نمایی از قطعات چدنی تولید شده بوسیله فرآیند ریخته گری

تقسیم بندی و کاربرد چدن‌ها

اصلی ترین مزیت چدن‌ها را می توان ایجاد خواص متنوع بوسیله تغییر در درصد عناصر آلیاژی و اعمال عملیات حرارتی و دستیابی به چدن‌ها با خواص مکانیکی، قابلیت مقاومت حرارتی، قابلیت تحمل ارتعاشات دینامیکی و غیره نام برد. مطابق نمودار زیر با توجه به درصد کربن و اعمال عملیات حرارتی، چدنهایی با ریز ساختار متفاوت و خواص گوناگون حاصل می شود.



تقسیم بندی چدن‌ها بر اساس نحوه عملیات حرارتی اعمالی

کاربرد انواع چدن در صنایع گوناگون را می توان بصورت زیر تقسیم بندی کرد :

۱- تولید قطعات ریختگی تحت فشار از جمله شیر فلکه ها، بدنه های پمپ ماشین آلاتی که در معرض شوک و خستگی هستند، میل لنگ ها، چرخ دنده ها، غلتک ها، تجهیزات فرآیند شیمیایی، مخازن ریختگی تحت فشار و...

۲- خودرو و صنایع وابسته به آن، مانند ساخت مفصل های فرمان، دیسک ترمزها، بازوها، میل لنگ ها و چرخ دنده ها، صفحه کلاچ ها، منی فولد و...

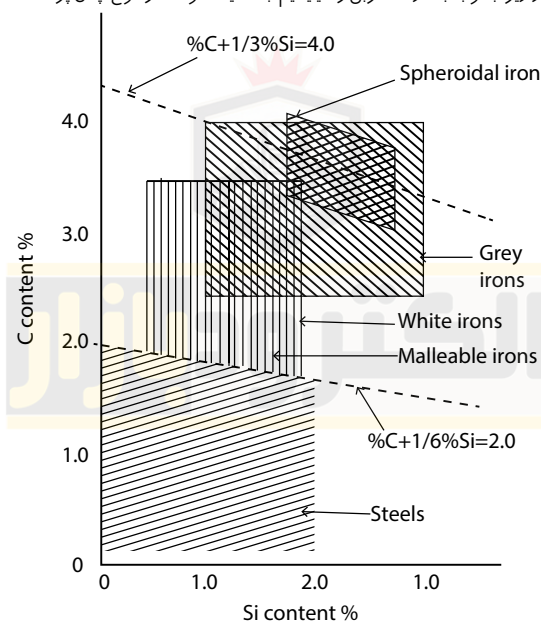
۳- راه آهن، کشتیرانی و خدمات سنگین و سایر کاربردهایی که نیازمند مقاومت به شوک می باشد، مانند تجهیزات الکتریکی کشتیها، بدنه موتور، پمپ ها، بست ها و غیره

۸- قطعات غیر فشاری برای کاربردهای درجه حرارت بالا برای مثال در ساخت قطعات و جعبه های درگیر با حرارت، میله های شبکه، قطعات کوره ها، قالب های شمش، قالب های شیشه، بوته های ذوب فلز.

در جدول زیر مشخصات مهندسی و کاربرد هر یک از گروه های اصلی چدن مشاهده می شود

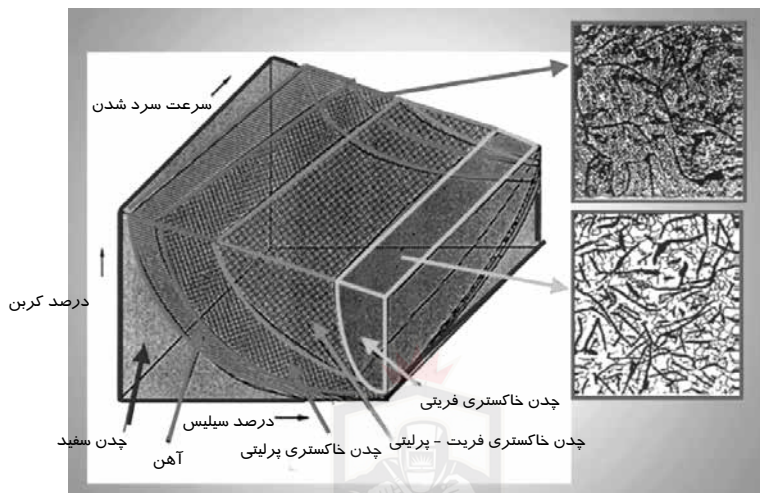
نام	ترکیب شیمیایی	نحوه تولید	استحکام تسلیم KSI	استحکام کششی	درصد ازدیاد طول	سختی	موارد کاربرد
چدن خاکستری ASTM A48	C 3.4, Si 1.8, Mn 0.5	انواع ریخته گری	-	50	0.5	260	سیلندر موتور- جعبه دنده - پایه دستگاه های ماشین کاری - چرخ لنگر
چدن سفید	C 3.4, Si 0.7, Mn 0.6	انواع ریخته گری	-	25	0	450	پاناقان
چدن چکش خوار ASTM A47	C 2.5, Si 1.0, Mn 0.55	انواع ریخته گری آبیل	33	52	12	130	میل لنک - اکسل - چرخ صنعتی
چدن داکتیل	C 3.4, P 0.1 Mn 0.4, Ni 1.0, Mg 0.06	انواع ریخته گری	53	70	18	170	دنده - بادامک - میل لنک
چدن نیکل سخت نوع دوم	C 2.7, Si 0.6, Mn 0.5 Ni 4.5, Cr 2.0	ریخته گری با قالب ماسه ای	-	55	-	550	کاربردهای مورد نیاز به استحکام بالا
چدن شامل نیکل	C 3.0, Si 2.0, Mn 1.0 Ni 20.0, Cr 2.5	انواع ریخته گری	-	27	2	140	کاربرد های مقاوم به حرارت و خوردگی

نمودار زیر، با توجه به درصد کربن و سیلیسیم، به مقایسه فولادها و انواع چدن پرداخته است.



■ نقش عناصر آلیاژی در چدن

خواص نهایی یک قطعه چدنی می تواند بوسیله افزودن عناصر آلیاژی گوناگون دچار تغییرات اساسی گردد. پس از عنصر کربن، عنصر سیلیسیم نقشی اساسی در خواص چدن ایفا می کند. این عنصر مانع حل شدن کربن در ساختار می گردد. در مقادیر کم سیلیسیم، کربن به صورت حل شده و به صورت کاربیدی در ساختار باقی مانده و چدن سفید را تشکیل می دهد. با افزایش درصد سیلیسیم، کربن از حالت حل شده در ساختار خارج گشته و ورقه های گرافیتی را تشکیل می دهد و ساختار چدن خاکستری شکل می گیرد. سایر عناصر همچون منگنز، کرم، مولیبدن، تیتانیوم و وانادیوم فعالیت سیلیس را محدود کرده و منجر به حل شدن کربن در ساختار و تشکیل کاربید آهن می گردند. نیکل و مس منجر به افزایش استحکام و قابلیت ماشین کاری قطعه نهایی می گردند اما بر روی شکل گیری گرافیت هیچگونه اثری ندارند .



اثر نرخ سرد شدن و آنالیز شیمیایی کربن و سیلیسیم بر ساختار آلیاژ چدن

در رابطه با اثر عنصر کربنی که به فرم گرافیت در آمده می توان به این مسئله اشاره کرد که این ساختار منجر به نرم شدن آهن، افزایش خاصیت ماشین کاری، کاهش استحکام و افزایش دانسیته قطعه و همچنین کاهش خطر انقباض قطعه پس از ریخته گری می گردد. عنصر دیگری که نقشی موثر اما مضر بر کیفیت نهایی قطعه دارد گوگرد می باشد. این عنصر مانع تشکیل گرافیت شده و سختی را افزایش می دهد. مشکل دیگر این عنصر ایجاد خاصیت سیالیت کم در مذاب می باشد که در نهایت منجر به بروز عیوب در حین ریخته گری و در قطعه نهایی می گردد. جهت کاهش درصد کربن با افزایش میزان منگنز، ساختار منگنز سولفید به جای ترکیب آهن سولفید ایجاد می گردد .

نیکل یکی دیگر از عناصر بسیار مهم در ساختار چدن می باشد. این فلز منجر به تصفیه پرلیت و گرافیت، افزایش چقرمگی و یکسان سازی سختی در سرتاسر قطعه می گردد. به علاوه افزودن عنصر کروم در مقدار ناچیز منجر به کاهش گرافیت آزاد در ساختار می شود. مقدار بسیار کم قلع نیز می تواند به عنوان جایگزینی تا حد ۰/۵ درصد کروم عمل نماید. همچنین افزودن مس جهت کاهش خاصیت تبریدی، تصفیه گرافیت و افزایش سیالیت مذاب موثر است.

افزودن مولیبدن منجر به افزایش خاصیت تبریدی و تصفیه گرافیت و پرلیت می گردد. به علاوه حضور این عنصر در کنار سایر عناصر مانند: نیکل، مس و کروم منجر به ایجاد شبکه مستحکم آهن می گردد.

عنصر تیتانیوم نیز به عنوان یک گاززدای قوی جهت خروج اکسیژن عمل می کند و در عین حال به عنوان عاملی جهت افزایش سیالیت مذاب نیز شناخته می شود. عنصر وانادیوم نیز به عنوان عاملی جهت پایدارسازی سمانتیت، افزایش سختی و مقاومت به سایش عمل می کند. زیرکونیوم نیز جهت تشکیل گرافیت و اکسیژن زدایی و افزایش سیالیت موثر است.

در گروه چدنهای چکش خوار، بیسموت جهت افزایش ظرفیت تحمل مذاب برای افزودن عنصر سیلیسیم کاربرد دارد.

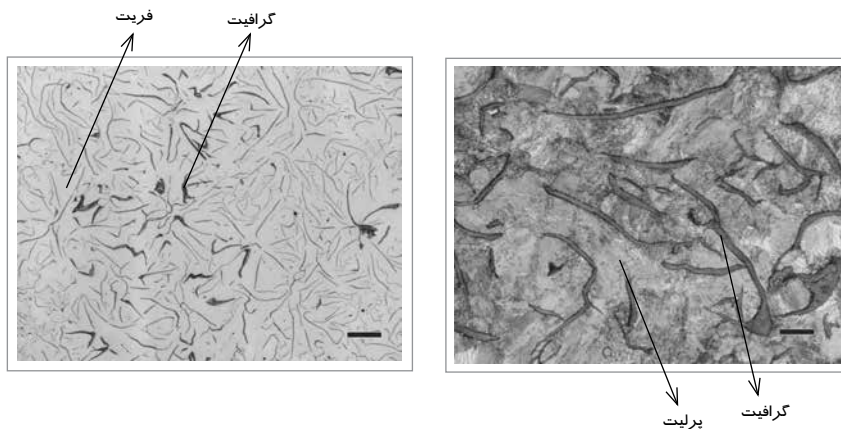
معرفی انواع چدن

چدن خاکستری

چدن خاکستری بوسیله شکل بخصوص گرافیت در ساختارش شناخته می شود (ساختار ورقه ای). نام گذاری این ماده به دلیل سطح مقطع خاکستری شکست این ماده می باشد. این نوع از چدن دارای بیشترین کاربرد در میان گروه چدن ها می باشد.



در مقایسه با فولادها، این ماده دارای استحکام کششی پایین تر و استحکام فشاری تقریباً برابری می باشد. خواص مکانیکی این ماده از طریق تغییر در شکل و اندازه ورقه های گرافیتی قابل تغییر است. کاربرد این ماده برای اجزاء پیچیده و جدار نازک با تحمل تنش مکانیکی کمتر مانند پوسته ها، محفظه ها، یاتاقان لغزشی، بوش و... به کار برده می شود و همچنین در مدل سازی از چدن خاکستری برای صفحه مدل، مدلهای کوچک و قالبهای فلزی نیز استفاده می کنند. خاصیت بسیار مورد اهمیت این ماده قابلیت مقاومت در برابر تنشهای متناوب دینامیکی می باشد که استفاده از این ماده را در کاربردهای مورد نیاز مانند پایه دستگاه های تراشکاری بسیار سودمند می سازد. مطابق نمودار فوق این خاصیت در مقایسه با سایر مواد مانند فولاد و چدنهای داکتیل و چکش خوار به خوبی نشان داده شده است.



ساختار چدن خاکستری فریتی (چپ) و پرلیتی (راست)

چدن سفید

این نوع چدن به دلیل سطح مقطع سفید رنگ شکست این ماده به دلیل حضور ترکیب سمانتیتی با این نام شناخته می شود. هرگاه ترکیب شیمیایی چدن مناسب باشد، با آهنگ سرمایش آن در حین انجماد به اندازه کافی تند باشد، چدن به گونه ای منجمد می شود که همه کربن موجود در آن با آهن به صورت کاربید آهن ترکیب می شود. این ترکیب که سمانتیت نیز نامیده می شود سخت و ترد است و ترکیب غالب در ریزساختار چدن سفید محسوب می شود. بنابراین چدن سفید سخت و ترد و مقطع شکست آن سفید و بلورین است زیرا اساساً گرافیت ندارد. استحکام فشاری چدن سفید بسیار زیاد و مقاومت آن در برابر سایش عالی است. این نوع چدن در حالت گداخته سختی خود را تا مدت محدودی حفظ می کند.

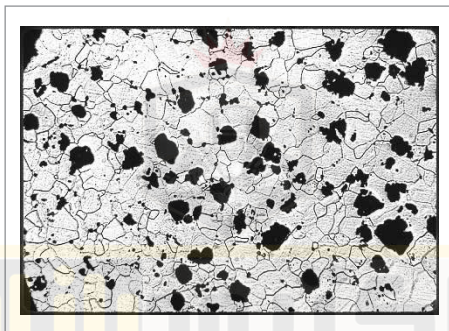
با افزایش سرعت انجماد موضعی چدن، می توان نواحی گزیده ای از قطعه ریختگی را به چدن سفید تبدیل کرد. قابلیت ریخته گری چدن سفید به خوبی چدن های دیگر نیست زیرا دمای انجماد آن معمولاً بالاتر است.

چدن سفید سخت می تواند در قطعه ریختگی از چدن نرم نیز به وجود آید. دلیل این امر سرمایش سریع مقطعی نازک یا گوشه ای تیز از قطعه یا وجود پره ای بر روی قطعه ریختگی است که از وجود درزی در قالب ناشی شده است و باعث گرماگیری و افزایش آهنگ انجماد می شود.

■ چدن چکش خوار

مشخصه این نوع چدن این است که بخش عمده کربن موجود در ریزساختار آن به صورت کره های نامنظم گرافیت دیده می شود. این نوع گرافیت کربن بازپختی نام دارد، زیرا در حالت جامد و در حین عملیات گرمایی تشکیل می شود. برای تولید چدن چکش خوار، چدن را به صورت چدن سفید با ترکیب شیمیایی مناسب می ریزند. پس از آن که قطعات ریختگی را از قالب بیرون آوردند، آنها را به مدت طولانی در دمایی بالاتر از ۹۰۰ درجه سلسیوس تحت عملیات گرمایی قرار می دهند. این عملیات کاربرد آهن را تجزیه می کند و کربن آزاد را به صورت گرافیت کروی در چدن رسوب می دهد. آهنگ سریع انجماد که برای تولید چدن سفید ضرورت دارد باعث محدودیت ضخامت مقاطع ریختگی چدن چکش خوار می شود.

با تنظیم ساختار زمینه در پیرامون گرافیت می توان به گستره وسیعی از خواص مکانیکی در چدن چکش خوار دست یافت. زمینه های پرلیتی و مارتنزیتی با سرمایش سریع در حوالی دمای بحرانی و افزودن عنصرهای آلیاژی به دست می آیند. چدن های چکش خواری که در زمینه خود مقداری کربن ترکیبی داشته باشند غالباً به عنوان چدن چکش خوار پرلیتی شناخته می شوند، اگرچه ممکن است ریزساختار آنها مارتنزیتی یا پرلیتی کروی شده باشد. به طور کلی از این چدن ها بیشتر برای اجزایی که تپیه فولاد ریختگی آنها مشکل است استفاده می کنند.

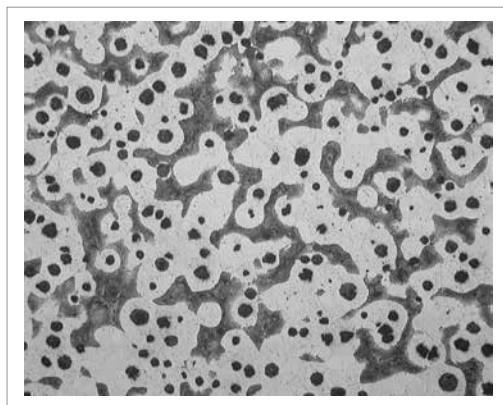


ریزساختار چدن چکش خوار با زمینه فریتی

■ چدن داکتیل

استفاده از این گروه از چدن ها پس از جنگ جهانی دوم کاربرد فراوانی یافت و این امر به دلیل خواص مکانیکی مناسب آنها می باشد. زمینه ساختار این دسته از مواد می تواند به شکل فریتی یا پرلیتی باشد. کربن موجود در این ماده به هنگام انجماد، به صورت گرافیت کروی تشکیل می شود. خواص چدن داکتیل شامل مواردی همچون نقطه ذوب پایین، ریخته گری مناسب، ماشینکاری عالی،

مقاومت سایشی خوب، و شکل پذیری مطلوب می باشد. کروی بودن گرافیت ها، باعث افزایش استحکام و چقرمگی در مقایسه با چدن های خاکستری می گردد. این چدن ها در اجزایی که نیاز به استحکام، تغییر طول و سختی بالا دارد استفاده می شود. به عنوان نمونه در ساخت چرخ دنده ها، میل لنگ، محور عقب خودرو یا در ساخت میز ماشین تراش که دارای وزن زیادی بوده و از طرف دیگر باید نیروهای براده برداری را تحمل کند از چدن گرافیت کروی استفاده می کنند.



چدن داکتیل با زمینه فریت - پرلیتی

■ خواص مکانیکی

به دلیل انعطاف پذیری پایین و چقرمگی کم چدن ها، خواص مکانیکی مطلوبی از این گروه مواد مورد انتظار نیست.

برخی از مشخصات مکانیکی چدن ها در جدول زیر ذکر شده است. بطور کلی قابلیت ماشین کاری چدن های خاکستری، نشکن و داکتیل به فولادهای کربنی برتری دارد که این امر به دلیل خاصیت روانسازی گرافیت موجود در ساختار می باشد. همچنین چدن خاکستری قابلیت مقاومت خوبی در برابر تنشهای دینامیکی داشته و از این رو در تجهیزات تحت بارگذاری دینامیکی کاربرد فراوانی دارد. در جدول زیر مشخصات انواع چدن ها کاربرد آنها مشاهده می شود.

نوع چدن	استحکام کششی (مگاپاسکال)	استحکام فشاری (مگاپاسکال)	سختی (برینل)	ازدیاد طول (%)	چقرمگی (ژول)
سفید	۲۰۰-۴۱۰	-	۳۲۱-۵۰۰	-	-
نشکن	۲۷۶-۷۲۴	۱۳۵۰-۳۶۰۰	۱۱۰-۳۲۱	۱-۱۰	۱۲-۴ در درمای ۲۰ درجه سانتیگراد
خاکستری	۱۵۲-۴۳۱	۵۷۲-۱۲۹۳	۱۵۶-۳۰۲	کمتر از ۰/۶	۱۶-۱۷ در درمای ۲۰ درجه سانتیگراد
داکتیل	۳۴۵-۸۲۷	۳۵۹-۹۲۰	۱۴۳-۳۰۲	۲-۲۰	-

■ جوشکاری چدن

چدن‌ها نیز همانند فولاد آلیاژی از آهن و کربن هستند. تفاوت اساسی این دو دسته از مواد به درصد کربن مربوط است. در فولادها حداکثر کربن ۲ درصد می باشد در حالیکه این مقدار در چدن‌ها همواره بیشتر است.

وجود درصد بالاتر کربن در این دسته از مواد، جوشکاری آنها را همواره با محدودیتهایی مواجه می سازد. از این رو جوشکاری چدن‌ها به قصد اتصال به ندرت رخ داده و عمده دلیل جوشکاری آنها به قصد تعمیر و بازسازی عیوبی مانند ترک‌ها انجام می شود.

جهت شناخت و فهم بهتر خواص این مواد برای شناسایی قابلیت جوشکاری آنها، پنج گروه اصلی مطابق آنچه پیشتر شرح داده شد وجود دارد.

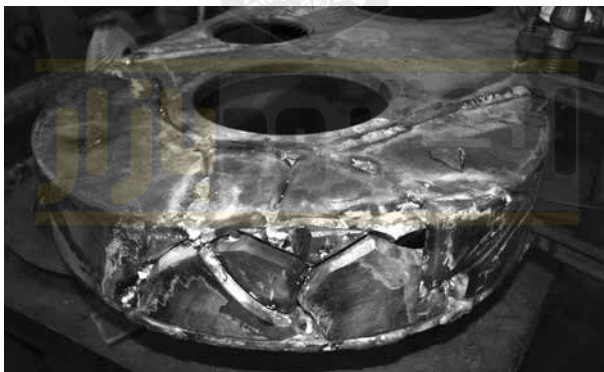
این تقسیم بندی بر اساس ترکیب شیمیایی و ساختار متالورژیکی آنها انجام می شود.

چدن‌ها گستره زیادی از آلیاژهای آهنی را در بر می گیرند. این مواد تنوع بالایی از ترکیب شیمیایی و ریز ساختار را شامل می شوند. برخی از این آلیاژها به راحتی جوش پذیر بوده، در حالیکه بخشی دیگر تحت شرایطی کنترل شده و خاص قابلیت جوشکاری دارند.

بزرگترین مشکل در جوشکاری چدن‌ها عدم خاصیت انعطاف پذیری آنها می باشد. بطور مثال اگر یک قطعه چدنی تحت نیروی کششی در محدوده استحکام تسلیم قرار گیرد، وقوع شکست قطعه قبل از هر گونه تغییر فرم دور از انتظار نیست. بنابراین میتوان نتیجه گرفت انتخاب فرآیند جوشکاری باید به گونه ای باشد تا مقدار تنش ناشی از جوشکاری به حداقل برسد.

بطور کلی الکتروود و سیم جوشهای پایه نیکلی تحت روشهایی مانند الکتروود دستی، جوشکاری با گاز محافظ، جوشکاری توپودری ترجیح داده می شود و فلز جوش با کیفیتی را تولید می کنند. دلایل جوشکاری چدن ها عبارت است از :

- تعمیر عیوب جهت بهبود خواص و یا بازایی قطعات ریختگری قبل از سرویس دهی
- تعمیر عیوب ناشی از ریخته گری
- اتصال قطعات ریختگی به یکدیگر



نمونه ای از یک قطعه تخریب شده چدن و آماده سازی آن جهت جوشکاری و تعمیرات

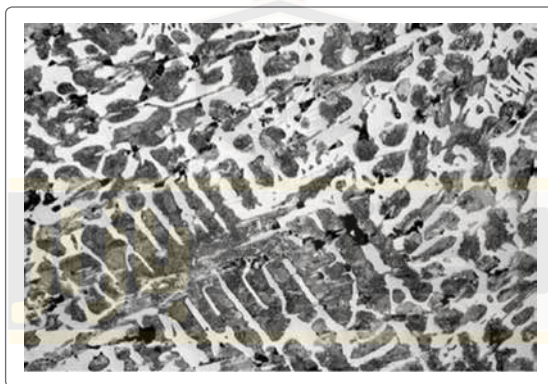
بطور کلی عیوبی همچون حفرات گازی، ناخالصی ها، سرد جوشی و عیوب ماهیچه ها براحتی قابل تعمیر است و همچنین عیوب رخ داده در حین تولید مانند خطای ماشین کاری و تخلخل به طور کامل قابل تعمیر بوسیله جوشکاری می باشد.

لازم به ذکر است به دلیل رنج گسترده آلیاژهای چدنی و ماهیت متفاوت آنها انتخاب تکنیک و روش جوشکاری بسیار مورد اهمیت است .

■ جوشکاری چدن سفید

به دلیل عدم انعطاف پذیری و تردی بسیار بالای چدن سفید این ماده به عنوان آلیاژی غیر قابل جوشکاری شناخته می شود .

این نام گذاری به علت رنگ سفید سطح مقطع شکست این ماده در قطعات ریختگی می باشد. درصد کربن این دسته از مواد همواره کمتر از $\frac{2}{3}$ درصد می باشد و مقدار کم سیلیس در آن موجب محدودیت تجمع و رسوب گرافیت می گردد. استفاده از این مواد زمانی مورد توجه است که کاربرد سایشی ماده بدون توجه به استحکام ضربه پذیری آن مورد توجه باشد. کاربردهایی از قبیل مخلوط کننده سیمان، ساچمه های آسیاب و نوع خاصی از دوزه های کششی و نازل های اکستروژن از جمله این موارد هستند .

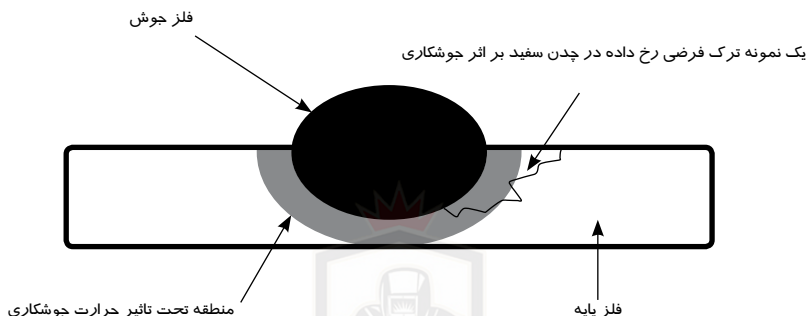


ساختار چدن سفید با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر

بطور کلی این دسته از مواد جوش پذیری مناسبی ندارند. علت این خاصیت را میتوان به نبود هرگونه انعطاف پذیری ذاتی این ماده نسبت داد. در واقع تنش ایجاد شده ناشی از جوشکاری به منطقه تحت تاثیر حرارت و فلز پایه تحمیل شده و منجر به بروز ترک در حین سرد شدن فلز جوش می گردد .



نمایی از سطح مقطع شکست یک قطعه چدن سفید



■ جوشکاری چدن چکش خوار

چدن چکش خوار بر اثر اعمال عملیات حرارتی بر روی چدن سفیدی با ترکیب شیمیایی مناسب بدست می آید. مکانیزم این فرآیند بدین صورت است که کاربید آهن در شرایط دمایی بالا و با نرخ سرد شدن مناسب و در صورت وجود درصد مناسبی از کربن و سیلیس شکسته شده و در ساختار اولیه حل می گردد و فرآیند تبدیل چدن سفید به چکش خوار رخ می دهد.

در طی جوشکاری این ماده، انعطاف پذیری منطقه تحت تاثیر حرارت به دلیل تشکیل ترکیب کاربید آهن به شدت کاهش می یابد، اگرچه میتوان به کمک عملیات حرارتی پس از جوشکاری میزان سختی را کاهش داد و انعطاف پذیری منطقه تحت تاثیر حرارت را اندکی بهبود بخشید. بنا به مباحث مطرح شده میتوان استفاده از روش جوشکاری برای این ماده را رضایت بخش و دارای توجیه

اقتصادی برشمرد. هرچند لازم به ذکر است رعایت جوانب احتیاط مانند عملیات حرارتی پیش و پس از جوشکاری ضروری است.

به دلیل ابعاد کوچکتر قطعات این گروه از چدن‌ها، پیشگرم آنها به ندرت انجام می‌شود. و در صورت نیاز، عملیات حرارتی تنش زدایی پس از جوشکاری در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد انجام می‌شود. برای قطعاتی با ابعاد بزرگتر عملیات پیش گرم تا دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد صورت می‌پذیرد. در گروه چدن‌های چکش خوار، چدن چکش خوار فریتی بالاترین کیفیت جوش پذیری را دارا می‌باشد، هرچند کاهش استحکام ضربه بر اثر جوشکاری اجتناب ناپذیر است.

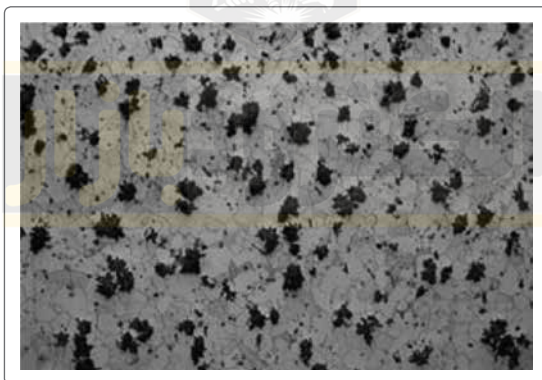
در گروه چدن‌های پرلیتی به دلیل درصد بالاتر کربن، خطر ایجاد ترک در حین جوشکاری و کاهش مقاومت ضربه پس از جوشکاری احتمال وقوع بیشتری دارد. در صورت نیاز به ماشینکاری ناحیه تعمیرشده پس از جوشکاری، لازم است جوشکاری بوسیله الکتروود و سیم‌های نیکلی صورت پذیرد. در این دسته از مواد استفاده از الکتروودهای روکش دار فولادی کم کربن و الکتروودهای کم هیدروژن با جریان جوشکاری کم، فلز جوشی با کیفیت مناسب تولید می‌کند. در صورت استفاده از این نوع الکتروودها، انجام عملیات حرارتی آنیل پس از جوشکاری جهت کاهش سختی در ناحیه جوش و تحت تاثیر حرارت توصیه می‌گردد. (افزایش سختی در این نواحی به دلیل جذب کربن در حین جوشکاری رخ می‌دهد).

■ جوشکاری چدن چکش خوار فریتی

این ماده دارای ساختاری با زمینه فریتی همراه با ذرات کروم کروی می‌باشد. استحکام و انعطاف پذیری بالای این ماده در نتیجه وجود ذرات کروم فشرده کربن مقاوم به شکست در زمینه فریتی می‌باشد. در فرآیند ماشینکاری این ماده ذرات کروم کربن به عنوان روانساز عمل کرده و منجر به سهولت قابلیت ماشینکاری این ماده می‌گردد.

کاربردهای عمده این ماده به شرح زیر است :

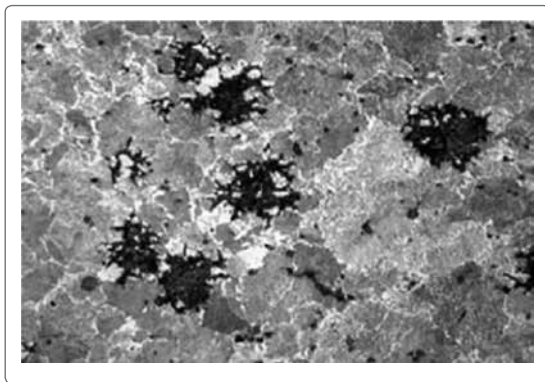
صنعت اتومبیل سازی - صنعت کشاورزی - خطوط ریلی - اتصالات قابل انبساط حرارتی - تجهیزات بالابر زنجیری - ریخته گری صنعتی - اتصالات لوله ای و



ساختار چدن چکش خوار فریتی با بزرگمایی ۲۰۰ برابر

■ جوشکاری چدن چکش خوار پرلیتی

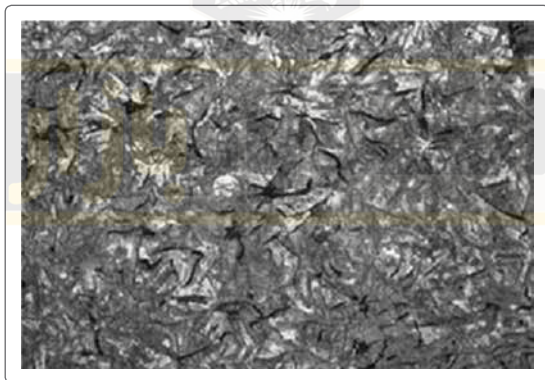
اگر فرآیند گرافیت شدن و همچنین درصد کربن باقی مانده در ساختار آهن کنترل شود، این امر منجر به توزیع ورقه های کاربید آهن در زمینه آهنی در دمای پایین خواهد شد. این اتفاق می تواند در صورت افزودن منگنز در ساختار و یا اعمال عملیات حرارتی ثانویه آنیل صورت پذیرد. به دلیل حضور کاربید آهن در ساختار، استحکام و سختی این دسته از مواد در مقایسه با چدن چکش خوار فریتی بالاتر است.



چدن چکش خوار پرلیتی با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر

■ جوشکاری چدن خاکستری

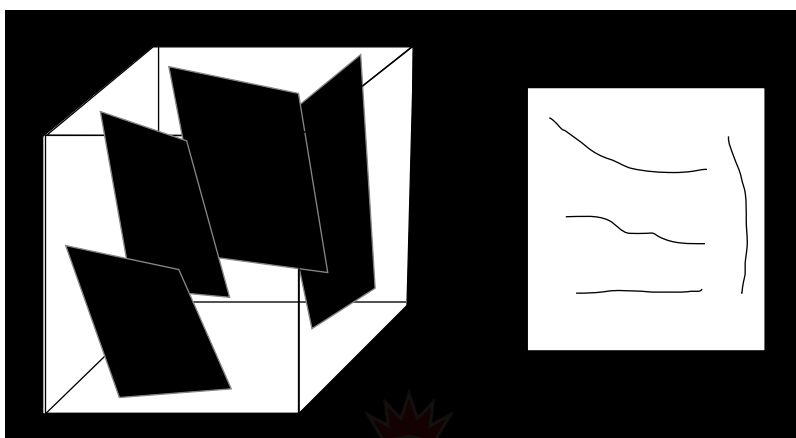
چدن خاکستری یکی از پرکاربردترین مواد در دسته چدن ها می باشد که معمولا دارای ۲/۵ تا ۴ درصد کربن و ۱ تا ۳ درصد سیلیسیم می باشد. در این دسته از مواد می توان با کنترل درصد آهن و سیلیسیم و اعمال نرخ سرد شدن مناسب، از تشکیل کاربید آهن ممانعت به عمل آورده و بدین صورت گرافیت را به شکل ورقه های کشیده شده و پیچ خورده (در متالوگرافی دو بعدی به شکل رشته های باریک و کشیده دیده می شوند) در ساختار آهن رسوب داد.



ساختار چدن خاکستری با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر

معمولا شکست قطعات با جنس چدن خاکستری در راستای ورقه های گرافیتی رخ می دهد، و نام گذاری این ماده به چدن خاکستری به علت رنگ خاکستری ناشی از این ورقه های گرافیتی در سطح مقطع شکست می باشد.

استحکام چدن خاکستری به طور مستقیم به نحوه توزیع ورقه های گرافیتی در زمینه شبکه آهنی بستگی دارد. نرخ سرد شدن آهسته و در صد بالای کربن و سیلیسم، شرایط گرافیت شدن کامل را فراهم آورده و عنصر کربن در حین سرد شدن به ورقه های گرافیتی تشکیل شده می پیوندد. در صورت قرارگیری ورقه های مذکور در زمینه فریتی، این ساختار چدن خاکستری فریتی نام دارد. اما اگر از فرآیند گرافیت شدن کربن محلول در آهن در حین سرد شدن ممانعت به عمل آید، کاربید آهن خارج از شبکه ایجاد شده و ساختار زمینه پرلیتی خواهد داشت. این ماده چدن خاکستری پرلیتی نام دارد.



تصویری انتزاعی از ورقه های گرافیتی چدن خاکستری در حالت دو بعدی و سه بعدی. زمینه سفید میتواند فریتی یا پرلیتی باشد



نمایی از شکستگی یک قطعه چدنی قابل تعمیر به وسیله جوشکاری

به دلیل وجود ورقه های گرافیتی در ساختار این آلیاژ، ورود گرافیت به حوضچه مذاب در حین جوشکاری اجتناب ناپذیر است و این امر در نهایت منجر به تردی ساختار فلز جوش می گردد. در این مورد توصیه می گردد از روشی برای جوشکاری استفاده شود که کمترین میزان امتزاج فلز جوش و پایه در آن رخ دهد تا ورود گرافیت به حوضچه مذاب به حداقل برسد.

توجه به اقدامات لازم جهت کاهش تنشهای ناشی از انجماد حوضچه مذاب ضروری است، بنابراین استفاده از الکتروود و سیم جوشهای با استحکام پایین، به کاهش خطر وقوع ترک بدون کاهش کلی استحکام طرح اتصال کمک خواهد کرد.

بطور کلی چدنهای خاکستری در حین جوشکاری به وقوع حباب های گازی مستعد هستند.

این امر میتواند بوسیله اتخاذ ۲ روش به حداقل برسد :

۱- کاهش مقدار امتزاج فلز جوش و فلز پایه.

۲- افزایش زمان انجماد، جهت فرصت دهی به حبابهای ایجاد شده برای خروج از حوضچه مذاب. عملیات پیشگرم روشی موثر جهت کاهش وقوع حفرات گازی و ترک می باشد.

از جمله پرکاربرد ترین روشها جهت جوشکاری چدنهای خاکستری، استفاده از الکترودهای روکش دار با مغزی نیکل و نیکل-آهن می باشد و استفاده از این الکترودها با یا بدون پیشگرم و پسگرم امکان پذیر است.

در صورت استفاده از الکترودهای فولادی و چدنی اعمال عملیات حرارتی پیشگرم در دمای ۵۵۰ درجه جهت جلوگیری از سخت شدن ساختار و وقوع ترک ضروری است.

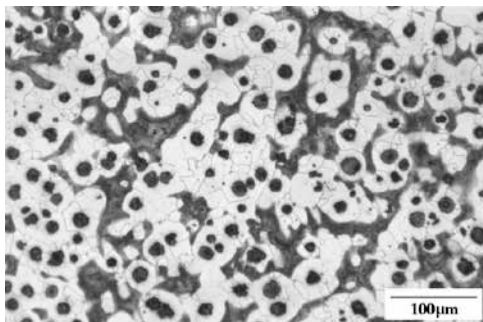
■ جوشکاری چدن داکتیل

این ماده ترکیب شیمیایی مشابهی با چدن خاکستری دارد اما گرافیت آزاد این آلیاژ برخلاف چدن خاکستری که ساختاری ورقه ای دارد به شکل کروی در زمینه رسوب می کند که این امر از طریق افزودن مقدار ناچیزی از منیزیوم یا سریوم رخ می دهد. رسوب ساختار کروی گرافیت در شبکه زمینه برخلاف گرافیت لایه ای بصورت یکنواخت نبوده و این امر منجر به افزایش چقرمگی و استحکام در یک ترکیب شیمیایی یکسان در مقایسه با چدن خاکستری می گردد.

عموماً چدن داکتیل جوش پذیری بالاتری از چدن خاکستری دارد اما انتخاب روش و فیلر مناسب در موفقیت جوشکاری مورد اهمیت است. بطور کلی در جوشکاری چدن داکتیل پرلیتی مقدار فاز مارتنزیت در منطقه تحت تاثیر حرارت در مقایسه با چدن داکتیل فریتی بیشتر است و بنابراین استعداد وقوع ترک در گروه پرلیتی بیشتر است.

در گروه چدنهای داکتیل، استفاده از الکترودهایی با مغزی نیکل رایج است. اکثر قطعات ریختگی در این گروه از آلیاژها نیازی به پیشگرم ندارند اما استفاده از پیشگرم در دمای ۳۱۵ درجه برای قطعات بزرگتر توصیه می گردد.

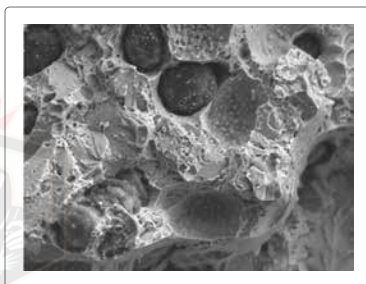
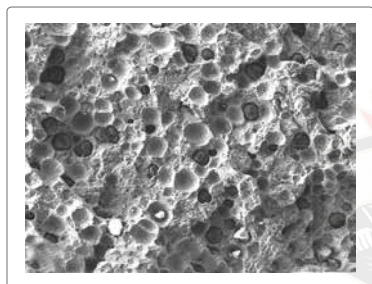
توصیه می گردد جهت کاهش خطر تردی هیدروژنی و حفرات گازی، الکترودهای روکش دار پیش از مصرف بازپخت شوند. در صورت نیاز به ماشین کاری یا بهبود خواص محل اتصال، انجام عملیات حرارتی آنبیل بلافاصله پس از جوشکاری توصیه می گردد.



نمونه ای از ریز ساختار چدن داکتیل فریت-پرلیتی (راست) - نمایی از گرافیت کروی در زمینه فریتی تصویر برداری به وسیله دستگاه SEM (چپ)

مصرف عمده این آلیاژ به شرح زیر است:

کشاورزی (ماشین آلات کشاورزی و ادوات مربوط به آن) - اتومبیل سازی (شفت - پیستون - سر سیلندر) - اتصالات الکتریکی - سویچ باکسها - پوسته موتور- مدار شکن - تجهیزات معدن (محفظه بالابر - قرقه - چرخ لنکر - سطل آسانسوری و...) - فولاد سازی (غلطکهای نورد - درب کوره- مهار ها و...) ابزار آلات و دوزه ها .



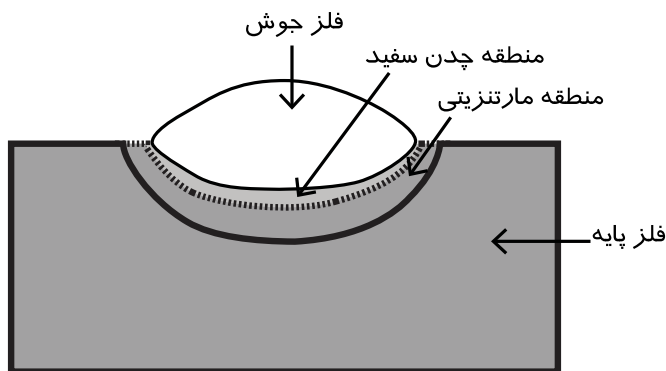
نمایی از ساختار چدن داکتیل . تصویر برداری بوسیله دستگاه SEM (ذرات کروی گرافیت در زمینه ساختار مشخص است)

الکترو د بازار

■ مشکلات رایج در جوشکاری چدن

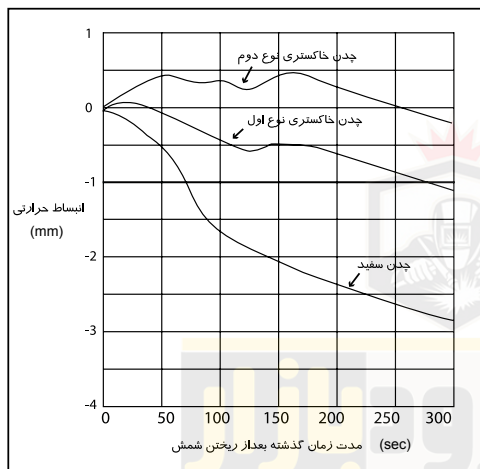
۱- ایجاد ساختارهای ترد در منطقه مجاور جوش :

بطور کلی در جوشکاری چدن فلز پایه تحت گرمایش و سرمایش بسیار شدیدی قرار گرفته و این امر منجر به رسوب کاربید آهن به منطقه خط ذوب می گردد و این منطقه ساختاری مشابه با چدن سفید می یابد. همچنین در منطقه تحت تاثیر حرارت نیز شاهد ایجاد فاز مارتنزیت هستیم.



نمونه ای از ساختارهای ایجاد شده پس از جوشکاری چدن

هر دو ساختار چدن سفید و مارتنزیت دارای ماهیتی سخت و ترد هستند. می توان با مقایسه ضریب انبساط حرارتی چدن سفید و چدن خاکستری مطابق نمودار زیر به این موضوع پی برد که به دلیل انبساط حرارتی بسیار زیاد این ماده همواره خطر وقوع ترک در منطقه تحت تاثیر حرارت بلافاصله پس از جوشکاری و یا در حین بارگذاری وجود دارد . در مجموع میتوان گفت خطر وقوع ترک به نوع چدن و همچنین فرآیند جوشکاری بستگی دارد .



مطابق نمودار روبرو مشاهده می شود برخلاف چدن های خاکستری که پس از ریخته گری دچار انبساط می گردند، چدن سفید دچار انقباض شده و این امر ماهیت متفاوت چدن سفید و بطور کلی خطر وقوع عیوبی همچون ترک در طی فرآیندهایی مانند جوشکاری و ریخته گری را نمایان می سازد.

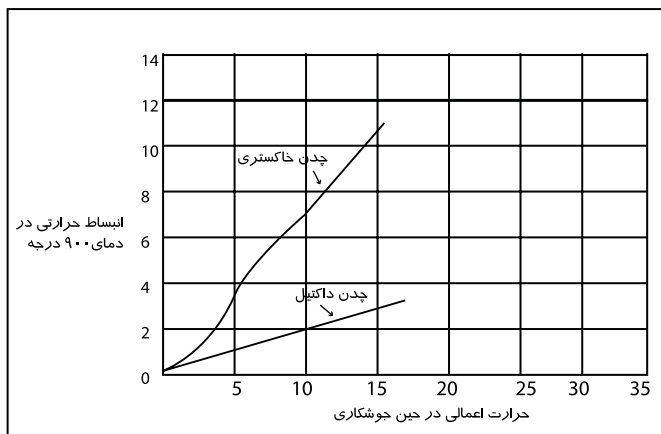
نمودار مقایسه انبساط حرارتی بر حسب زمان سپری شده پس از ریختن مذاب برای قالب گیری انواع چدن در فرآیند ریخته گری

۲- تنش ناشی از حرارت جوشکاری :

با مطالعه بر روی منطقه خط ذوب، میتوان به این نکته پی برد که گرمایش و سرمایش ناشی از جوشکاری منجر به ایجاد تنش حرارتی می گردد. در واقع با انبساط ناشی از حرارت و انقباض ناشی از سرد شدن این تنش ایجاد می گردد و ضروری است فلز پایه توانایی تغییر فرم پلاستیک جهت مقاومت در برابر این تنش را داشته باشد. در مجموع می توان گفت چدنها به دلیل عدم

انعطاف پذیری و عدم توانایی مقابله با تنشهای ناشی از سرد شدن پس از جوشکاری همواره در خطر وقوع ترک قرار دارند.

مطابق نمودار زیر مشاهده می گردد حرارت اعمالی در حین جوشکاری، منجر به انبساط بیشتر چدنهای خاکستری در مقایسه با چدنهای داکتیل می گردد. این حقیقت علمی نشان دهنده خطر کمتر وقوع عیوبی مانند ترک در حین جوشکاری برای چدنهای خاکستری می باشد.



مقایسه رابطه بین انبساط حرارتی و حرارت اعمالی در جوشکاری انواع چدن

۳- درصد بالای عناصر مضر :

درصد بالای فسفر و اکسیژن در چدن‌ها منجر به ایجاد ترکیبات فلزی سخت با وجود عناصر آهن و کربن با نام کاربید آهن می گردد. پس از آن شاهد ایجاد ساختار سخت و ترد چدن سفید هستیم. در مجموع می توان گفت حل شدن عناصری همچون گوگرد و فسفر و اکسیژن منجر به افزایش خطر وقوع ترک خواهد شد.

۴- عیوب ناشی از ریخته گری:

چدن‌ها اغلب شامل عیوبی همچون ناخالصی های ماسه ای و حفرات انقباضی میباشند که این امر منجر به عدم دوزب شدن کامل مذاب و ترشوندگی سطحی پایین فلز جوش بر سطح فلز پایه خواهد شد.

۵- آلودگی سطحی:

اغلب قطعات چدنی پس از سرویس دهی دارای سطحی آلوده به روغن هستند و این امر منجر به عیوبی همچون حفرات گازی پس از جوشکاری خواهد شد.

۶- اثر شکل گرافیت در ساختار بر جوش پذیری چدن‌ها:

جهت کاهش حضور ساختارهای کاربیدی و مارتنزیتی کربن بالا لازم است که ساختار گرافیتی به شکل کروی با نسبت پایین سطح به حجم موجود باشد. بر اثر کاهش سطح تماس گرافیت با شبکه آستنیتی، مقدار کربن در ساختار کاهش می یابد. اما در ساختار چدن خاکستری به دلیل سطح تماس

بالای ورقه های گرافیتی با ساختار آستنیتی حل شدن ورقه های گرافیتی در زمینه به راحتی رخ می دهد. بنابراین چدنهای خاکستری با ورقه های گرافیتی بلند تر، جوش پذیری کمتری از چدنهایی با ورقه های کوتاه تر را خواهند داشت.

در مجموع به دلیل وجود ساختار گرافیت کروی در چدنهای داکتیل و در نتیجه آن کاهش درصد کربن، این چدن ها قابلیت انعطاف پذیری بالاتری داشته و جوش پذیر ترند.

انتخاب فیلر مناسب جهت جوشکاری چدن ها

جوشکاری چدن ها امری مشکل اما امکان پذیر می باشد . در بیشتر مواقع جوشکاری این دسته از مواد به دلیل تعمیر قطعات ریختگی انجام گردیده و بحث اتصال آنها بوسیله جوشکاری مطرح نیست. غالباً مشکلاتی مانند عیوب رخ داده پس از ریخته گری و یا ترمیم عیوب ناشی از ماشین کاری مطرح می باشد. همچنین اتصال قطعات شکسته شده یک قطعه چدنی به دلیل ذات ترد چدن ها کاربرد فراوانی دارد.

جهت انتخاب فرآیند جوشکاری و فیلر مناسب جهت جوشکاری چدن ها توجه به نکات زیر ضروری می نماید :

۱- نوع چدن ۲- هزینه تعمیرات ۳- حساسیت قطعه به ترک و کاربرد نهایی آن
در رابطه با انتخاب فیلر مناسب جهت جوشکاری انواع چدن ها و در کلیه فرآیندهای جوشکاری، فیلرهای نیکل و نیکل - آهنی به دلیل انبساط حرارتی پایین خود مزیت بیشتری داشته و خطر وقوع ترک را کاهش خواهند داد. آلیاژهای مس- قلع با انبساط حرارتی بالاتر ولی خواص سطحی مطلوب تر در جوشکاری های سطحی مدنظر قرار می گیرند. همچنین استفاده از فیلر های نیکل- مس نیز در جوشکاری این دسته از مواد مطرح است.

از طرفی در مواردی که به دلیل خطر وقوع ترک نیاز به اعمال حرارت ورودی کمتر و بدون استفاده از فرآیند پیشگرم باشد، استفاده از فرآیندهای جوشکاری ذوبی با حرارت ورودی کنترل شده مانند جوشکاری با گاز محافظ مطرح می گردد. هرچند به دلیل نیاز به تجهیزات بیشتر و هزینه بالاتر همچنان استفاده از فرآیند الکترو دستی با الکترودهای روکش دار با مغزی نیکل به عنوان پرمطرف دار ترین روش جوشکاری چدن ها شناخته می شود.

انتخاب فیلر مناسب جهت جوشکاری چدن ها در یک نگاه

نوع قطعه	جوشکاری الکترو دستی	جوشکاری توپودری	جوشکاری با گاز محافظ	لجیم کاری
چدن خاکستری	ENi-CI & ENiFe-CI (AWS A5.15)	سیم جوش معادل ENiFe-CI	گاز سوپر سیلیکون	فیلر منگنز برنزی فیلر نیکل برنزی فیلر روکش نیکل
چدن داکتیل	ENi-CI & ENiFe-CI (AWS A5.15)	سیم جوش معادل ENiFe-CI	گاز سوپر سیلیکون	فیلر منگنز برنزی فیلر نیکل برنزی فیلر روکش نیکل
چدن سفید	عدم امکان جوشکاری	عدم امکان جوشکاری	عدم امکان جوشکاری	عدم امکان جوشکاری
چدن نشکن	ENi-CI & ENiFe-CI (AWS A5.15)	سیم جوش معادل ENiFe-CI	گاز سوپر سیلیکون	فیلر منگنز برنزی فیلر نیکل برنزی فیلر روکش نیکل

فیلر های مناسب جوشکاری چدن ها و موارد کاربرد آنها

نوع فیلر	کاربرد فیلر
چدن	جوشکاری با روشهای اکسی استیلن و الکتروود روش دار دستی برای جوشکاری انواع چدنهای خاکستری، داکتیل و نشکن استفاده می شود . در صورت استفاده از فیلری متفاوت با فلز پایه، ایجاد گرافیت ورقه ای یا کروی در ساختار محتمل است .
نیکل	اتصال و تعمیر چدنهای خاکستری جهت سطح کاری و رسوب لایه جوشی با نفوذ بالا ایجاد فلز جوشی با قابلیت چکش خواری مناسب. الکتروودهای نیکلی جهت پر کردن کندگی قطعات و همچنین تعمیر تخلخل های ریخته گری کاربرد گسترده ای دارند.
نیکل - آهن	برای اتصال و تعمیر چدنهای داکتیل، نشکن و خاکستری استحکام بالا کاربرد دارد . همچنین این فیلر جهت اتصال چدن ها به انواع فولاد قابل استفاده است. همچنین جهت جوشکاری فولادهای آستنیتی و فولادهایی با فسفر و گوگرد بالا کاربرد دارد .
نیکل - آهن منگنز	کاربردی مشابه فیلرهای نیکل-آهن دارد اما دارای خواصی قوی تر با مقاومت به ترک بیشتری باشد.
نیکل - مس	فلز جوشی با قابلیت چکش پذیری مناسب تولید کرده و برای جوشکاری چدنهای خاکستری و نشکن کاربرد دارد. برای جوشکاری قطعاتی با فرمول شیمیایی نامشخص مناسب است.
مس - قلع	مورد استفاده جهت روش دهی بوسیله جوشکاری (پر کاربرد بر روی چدن خاکستری)
مس - آلومینیوم	خواصی مشابه فیلرهای مس - قلع با این تفاوت که قابلیت روش کاری کمتری داشته اما استحکام فلز جوش حاصله بالاتر است.
مس - منگنز نیکل - آلومینیوم	دارای خاصیتی مشابه فیلر مس - آلومینیوم با استحکام بالاتر فلز جوش حاصله

■ روشهای رایج جوشکاری ذوبی چدن

۱- جوشکاری با الکتروود روکش دار دستی (SMAW)

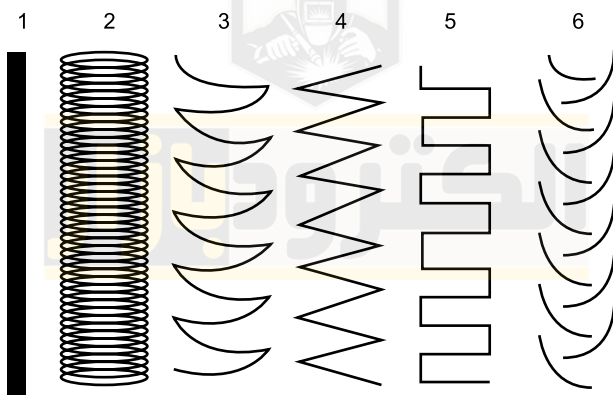
بطور کلی در ۸۰ درصد مواقع جوشکاری، استفاده از روش الکتروود دستی برای چدن کاربرد دارد. در این زمینه ۵۰ درصد استفاده جهت آماده سازی قطعه تولید شده (معمولا ریخته گری) و در ۴۰ درصد مواقع جهت تعمیر و بهبود قطعه، استفاده از الکتروود روکش دار رایج است. در ۱۰ درصد باقی مانده نیز اتصال چدن به یکدیگر یا دیگر آلیاژها مطرح است.

بطور کلی فلز جوش باید توانایی تحمل افزایش درصد کربن به دلیل امتزاج با فلز پایه را دارا باشد. به همین دلیل استفاده از الکتروودهایی با مغزی نیکل و فولادی کم کربن جهت اتصال و تعمیر چدن توصیه می گردد. مطابق استاندارد انجمن جوش آمریکا ۳ کد ENI-CI و ENIFE-CI و ESt در این زمینه پیشنهاد می شود.

حرکت الکتروود در جوشکاری قوسی به دو صورت بدون حرکت عرضی (stringer) و زیگزاکی (weave) می باشد. در حالت زیگزاکی طول حرکت نباید بیش از ۱/۵ برابر قطر الکتروود باشد. در حالت جوشکاری تخت استفاده از تکنیک stringer منجر به تولید جوشی با امتزاج کم با فلز پایه می گردد. در این حالت لازم است مسیر قوس بیشتر به سمت حوضچه مذاب قرار گیرد. همچنین در صورت جوشکاری مجدد ضروری است جوشکاری در امتداد پاس قبلی انجام شود و تمرکز قوس بیشتر بر روی فلز جوش قبلی باشد. این کار منجر به خروج و تصویه هرگونه سرباره احتمالی باقی مانده خواهد شد.

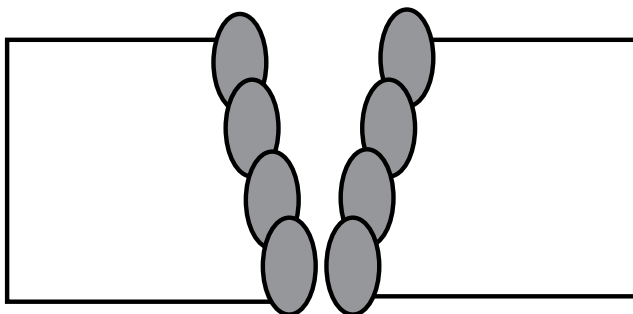
انواع تکنیکهای حرکت الکتروود در حین جوشکاری

مستقیم و بدون حرکت عرضی (۱) انواع حرکت عرضی و موج دار ۲-۳-۴-۵-۶



در هنگام نیاز به جوشکاری با طول بیشتر و یا جوشکاری بر روی قطعات ضخیم، ایجاد پاسهای کوتاه تر با گرده های کوچکتر کمک به کاهش اعوجاج بوسیله متعادل کردن تنشهای ایجاد شده می کند.

در جوشکاری قوسی قطعات ضخیم، استفاده از روش آستر کاری (Buttering) (ایجاد پاسهای جوشکاری بر روی سطح پخشکاری شده قبل از جوشکاری نهایی) مفید خواهد بود. مخصوصاً زمانی که ترکیب شیمیایی فیلر با فلز پایه نزدیک باشد این امر منجر به امتزاج بالاتر فلز جوش و فلز پایه می گردد.



نمایی از تکنیک Buttering

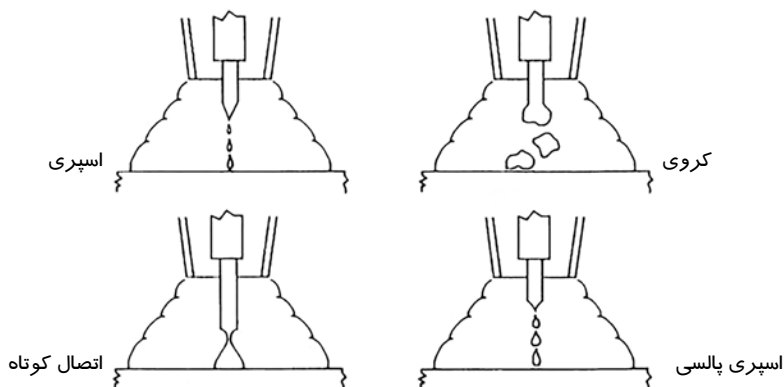
۲- جوشکاری قوسی با گاز محافظ (GMAW)

در این روش جوشکاری استفاده از روشهای انتقال مذاب اتصال کوتاه (Short Circuit) و جریان پالسی (Pulsed Current) اثر حرارتی کمی بر فلز پایه دارد و این امر منجر به کاهش شکل گیری ساختار کاربید آهن در منطقه تحت تاثیر حرارت و در نتیجه آن کاهش خطر وقوع ترک می گردد. علاوه بر این حرارت ورودی کمتر منجر به امتزاج کمتر فلز پایه با فلز جوش شده و این امر وقوع ترک را بیش از پیش ناممکن می سازد. استفاده از روش انتقال مذاب افشانه ای (spray mode) زمانی قابل استفاده است که جوشکاری بر روی چندهی با استحکام پایین و انعطاف پذیری بالا مطرح باشد.

گاز محافظ مورد استفاده برای این دسته از مواد میتواند موارد زیر باشد :

$$(98\%Ar-2\%O_2) \& (75\%Ar-25\%CO_2) \& (100\%CO_2)$$

کدهای رایج برای فیلرهای جوشکاری با گاز محافظ مطابق استاندارد انجمن جوش آمریکا عبارتند از ERNi-Cl و ERNiFeMn-Cl. همچنین فیلر توپودری رایج جهت جوشکاری با کد ENiFeT3-Cl شناخته می شود که بصورت خود محافظ نیازی به گاز محافظ خارجی ندارد و کاربردهایی از قبیل پوشش دهی طبله های حلقه چاه (Crane Hoist Drum) و قالبهای ریختگی هر دو از جنس چدن خاکستری و همچنین اتصال کلاhek های محافظ از جنس چدن داکتیل به سیلندر های فولادی کم کربن دارد.



انواع روشهای انتقال مذاب در جوشکاری با گاز محافظ

هنگامی که نفوذ کمتری نیاز باشد میتوان از روش انتقال مذاب اتصال کوتاه در جوشکاری میگ/مگ و توپودری استفاده کرد. در جوشکاری الکتروود دستی توصیه می گردد که قوس تا جای ممکن کوتاه باشد و جهت تنظیم جریان مناسب از توصیه های تولید کننده پیروی شود.

۳- جوشکاری با گاز محافظ خنثی (GTAW)

استفاده از این روش جوشکاری برای تعمیرات عیوبی چون حفرات گازی ناشی از ریخته گری کاربرد دارد و اکثر فیلرهای کاربردی این روش از جنس چدن داکتیل، نیکل، نیکل آهن و نیکل آهن منگنز می باشند .

۴- جوشکاری زیر پودری (SAW)

در این روش استفاده از فیلرهایی با کد $ENiFeT3-CI$ و $ERNiFeMn-CI$ با پودر مناسب جهت جوشکاری انواع چدن کاربرد دارد. لازم به ذکر است در این روش جوشکاری استفاده از مفتولی با قطر کم و جریان و سرعت پایین پیشنهاد می گردد. از این روش جوشکاری جهت تعمیر طبقه های نگهدارنده کابلها و هر شی ای با سطح سیلندری استفاده می شود .
در پایان مطابق جدول زیر به مقایسه مزایا و معایب جوشکاری چدن با انواع روشها می پردازیم :

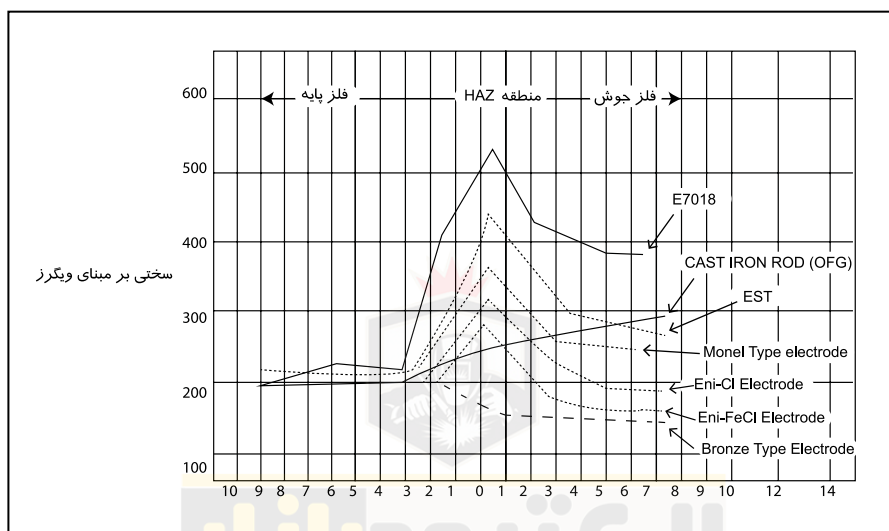
معایب	مزایا	نوع فرآیند
حرارت ورودی بالا در حین جوشکاری و متناظر با آن نفوذ بالا و افزایش منطقه تحت تاثیر حرارت که میتواند منجر به بروز مشکلات بعدی مانند ترک باشد	انعطاف پذیری بالا جهت تعمیر انواع چدن در تمامی حالات جوشکاری و قابلیت تغییر فرمولاسیون روکش مطابق نیاز	الکتروود دستی
انعطاف پذیری کمتر در انواع کاربردها در مقایسه با الکتروود دستی	مکانیزم اسان و نفوذ کنترل شده و کم در حالت اتصال کوتاه	جوشکاری با گاز محافظ
منطقه تحت تاثیر حرارت زیاد. احتمال ایجاد اعوجاج به دلیل حرارت ورودی بالا در حین جوشکاری	قابلیت استفاده از فیلرهای چدنی، قابلیت ماشین کاری بالا، نرخ سرد شدن آهسته، انطباق رنگ فلز جوش و پایه در کاربردهایی با اهمیت سطح ظاهری	جوشکاری اکسی استیلن
انطباق رنگ فلز جوش و پایه کم. استحکام ضعیف محل جوشکاری شده	امتزاج کم با فلز پایه و سختی کم منطقه تحت تاثیر حرارت به دلیل دمای ذوب پایین	جوشکاری ذوبی با فیلر برنز

■ کلاس بندی الکترودهای مناسب در جوشکاری چدن با وسیله الکتروده روکش دار

۱- الکتروده با مغزی نیکل خالص (ENI-CI)

بطور کلی الکترودهای نیکلی توانایی جذب کربن موجود در ساختار چدن و انتقال آن به فلز جوش به شکل ساختار گرافیتی را دارا می باشند. این امر منجر به ایجاد خاصیت انعطاف پذیری و قابلیت ماشین کاری مناسب در فلز جوش حاصله خواهد شد. علاوه بر این فلز جوش نیکلی قادر خواهد بود نفوذ کربن به منطقه تحت تاثیر حرارت را سرکوب کند و این امر از ایجاد ساختار چدن سفید در این منطقه جلوگیری به عمل می آورد. (در این رابطه به نمودار زیر توجه گردد)

مطابق این نمودار فلز جوش حاصله از الکتروده ENI-CI در منطقه تحت تاثیر حرارت سختی کمتری داشته و در نتیجه مقاومت به ترک بالاتری خواهد داشت.



مقایسه سختی مناطق مختلف فلز جوش برای انواع فیلرها
برای یک نمونه جوش شیاری

بطور کلی الکترودهای نیکلی جهت جوشکاری انواع چدن خاکستری، نشکن و داکتیل بکار برده می شوند. هرچند به دلیل جذب فسفر و گوگرد در حین جوشکاری خطر وقوع ترک های در حین انجام در این دسته از الکترودها بالاست، جهت حل این مشکل لازم است جریان جوشکاری تا حد ممکن کم باشد.

۲- الکتروود با مغزی نیکل – آهن (ECNiFe-CI & ENiFe-CI)

این دسته از الکتروودها نیز برای جوشکاری انواع چدن کاربرد دارد. به دلیل درصد پایین تر عنصر نیکل استفاده از آنها به صرفه تر بوده و حساسیت آنها به وقوع ترک انجمادی به دلیل جذب فسفر و گوگرد کمتر است. فلز جوش حاصله از این الکتروود دارای استحکام و سختی پایین تر و قابلیت ماشین کاری بهتری در مقایسه با نوع نیکل خالص می باشد. علاوه بر این مقدار انبساط حرارتی فلز جوش حاصله در مقدار مطلوبی قرار داشته و بدین ترتیب از وقوع ترک ناشی از انبساط نیز جلوگیری می شود.

در این دسته از الکتروودها درصد نیکل در فلز جوش خالص ۵۳ درصد است و با نزدیک شدن به منطقه نزدیک به فلز پایه که امتزاج فلز جوش و پایه کمتر است این مقدار افت خواهد کرد و به مقداری حدود ۳۵ تا ۴۵ درصد خواهد رسید. مطابق نمودار مشاهده می گردد که کاهش درصد نیکل منجر به کاهش ضریب انبساط حرارتی شده و بدین وسیله تمرکز تنش و در نتیجه آن خطر بروز ترک کاهش می یابد .

طبقه بندی فیلرهای جوشکاری چدن مطابق استاندارد انجمن جوش آمریکا و ژاپن

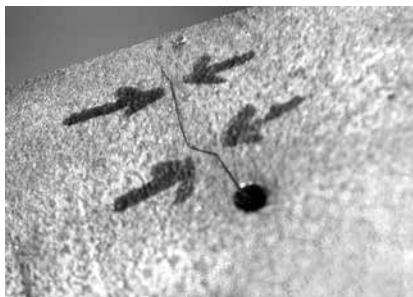
فرآیند جوشکاری	نوع فیلر	کد آلیاز فلز جوش خاص		طبقه بندی در استاندارد آمریکا		طبقه بندی در استاندارد ژاپن	
		کد آلیاز	فلز جوش خاص	کد فیلر	کد استاندارد	کد فیلر	کد استاندارد
جوشکاری با الکتروود روکش دار SMAW	الکتروود روکش دار	95Ni alloy		ENI-CI	A5.15	Z3252	ECNi-CI
		53Ni-45Fe alloy		ENiFe-CI	A5.15	Z3252	ECNiFe-CI
		40Ni-44Fe-12Mn alloy		ENiFeMn-CI	A5.15	Z3252	ECNiFeMn-CI
		65Ni-30Cu-4Fe alloy		ENI-Cu-B	A5.15	Z3252	ECNi-Cu-B
		Low Carbon Steel		ESi	A5.15	Z3252	ECSt
جوشکاری با گاز محافظ GMAW	سیم جوش معمولی سیم جوش نئوپدیری	Cast Iron		-	-	Z3252	ECFeC-3
		93Ni alloy		ERNiFe-CI	A5.15	Z3252	ECNi-CI
		40Ni-45Fe-12Mn alloy		ERNiFeMn-CI	A5.15	Z3252	ECNiFe-CI
		52Ni-40Fe-4Mn alloy		ENiFeT3-CI	A5.15	Z3252	ECNiFeT3-CI
		55Ni-42Fe alloy		ENiFe-CI	A5.15	Z3252	ECNiFe-1

آنانیز شیمیایی و خواص مکانیکی فلز جوش الکتروودهای چدنی

کد الکتروود مطابق استاندارد آمریکایی		آنانیز شیمیایی %										استحکام مکانیکی	
کربن	سیلیسیم	منگنز	گوگرد	آهن	نیکل	مس	آلومینوم	سایر عناصر	استحکام تسلیم (مکاپاسکال)	استحکام کششی (مکاپاسکال)	درصد از پیاد طول ٪	سختی HRC	
0.2max	0.4max	2.5max	0.03max	8max	85max	2.5max	1max	1max	262-414	278-448	3-6	135-218	
0.2max	0.4max	2.5max	0.03max	rem	45-60	2.5max	1max	1max	296-434	400-579	6-18	165-218	ENiFe-CI
0.15max	0.15max	0.6max	0.04max	rem	-	-	-	p=0.4	-	490	33	250-400	Est

تکنیکهای توصیه شده جهت جوشکاری چدن‌ها

۱- آماده سازی فلز پایه



ترک ایجاد شده در قسمتی از گیربکس خودرو (تصویر راست). پیش از عملیات جوشکاری سوراخ ایجاد شده در مسیر ترک مانع از اشاعه و رشد آن شده (تصویر چپ)

آماده سازی قطعه ریختگی پیش از عملیات جوشکاری بسیار مورد اهمیت است. در واقع ضروری است تمام عیوب موجود در قطعه پیش از شروع جوشکاری بوسیله روشهایی مانند تراشکاری، سنگ زنی و گوجینگ قوسی یا مشعلی برطرف گردد. انجام آزمون مایعات نافذ جهت اطمینان از نبود عیوب احتمالی توصیه می گردد. به علاوه تمیزکاری محل اتصال و منطقه مجاور آن پیش از عملیات جوشکاری به جهت اطمینان از عدم وقوع عیوبی همچون حفرات گازی توصیه می گردد. بطور معمول قطعات ریختگی ای که در حین سرویس دهی هستند، دارای سطحی آغشته به روغن های صنعتی می باشند، این ماده میتواند منبع مناسبی برای ایجاد هیدروژن در طی فرآیند جوشکاری باشد. هیدروژن ایجاد شده به داخل حوضچه مذاب نفوذ کرده و در نهایت باعث وقوع حفرات گازی می گردد. بنابراین تمیز کاری و زدودن هرگونه روغن از سطح قطعه پیش از عملیات جوشکاری ضروری می باشد.

همچنین ممکن است قطعات ریختگی ای که در سرویس دهی برای مدتی طولانی بوده اند نیازمند عملیات گاز زدایی به جهت خروج گازهای مضر نفوذ کرده به داخل قطعه باشند. این امر بوسیله گرم کردن قطعه در دمای ۳۷۰ درجه به مدت ۳۰ دقیقه و یا در زمانی کمتر در دمای ۵۴۰ درجه انجام می شود. اینکار می تواند بوسیله کوره هایی با اتمسفر هوا برای قطعات بزرگ و یا مشعلهای اکسی استیلن برای قطعات کوچک صورت پذیرد.

همچنین یکی دیگر از روشهای کاربردی و ارزان جهت گاز زدایی، جوشکاری در محل اتصال پیش از انجام فرآیند اصلی جوشکاری می باشد. انجام این روش بدین گونه است که با ایجاد پاسهای جوشکاری، حرارت ایجاد شده منجر به خروج گازهای مضر در محل اتصال می شود. معمولا جوش حاصله به شدت متخلخل است. ضروری است پس از ایجاد هر پاس، با سنگ زنی کرده های جوش از بین برده شوند و جوشکاری مجددا انجام پذیرد. این عمل تا ایجاد فلز جوشی بدون تخلخل و با ظاهری مناسب ادامه می یابد. پس از آن عملیات سنگ زنی انجام شده و سطح ایجاد شده در محل اتصال جهت انجام فرآیند اصلی جوشکاری آماده خواهد بود.

ممکن است قطعه تازه دارای عیوبی همچون ماسه های سوخته (ناشی از ریخته گری با قالب ماسه ای) و یا سایر ناخالصی های فرآیند ریخته گری باشد، زدودن این دسته از ناخالصی ها نیز بسیار ضروری است. به علاوه اگر قطعه ریختگی دارای اجزایی مونتاژ شده از جنس پلاستیک باشد استفاده از فرآیند جوشکاری به دلیل ایجاد گازهای بیشتر در حین جوشکاری و خطر وقوع حفرات گازی توصیه نمی گردد.

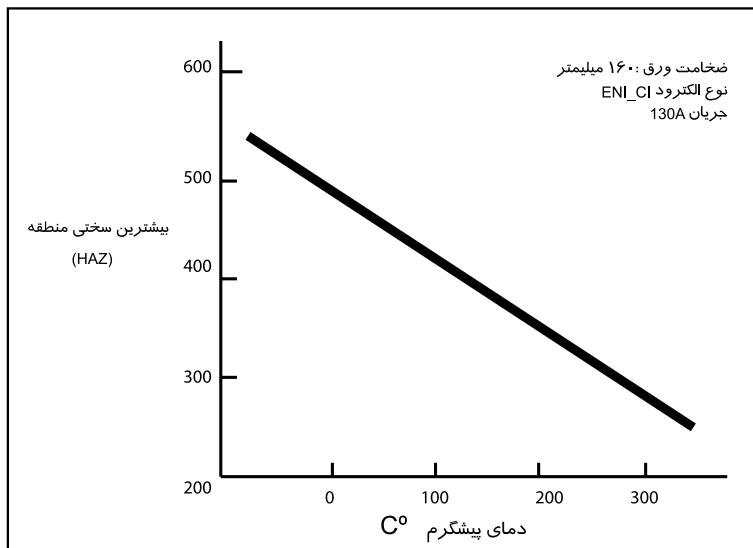
همچنین ضروری است پیش از انجام عملیات جوشکاری تمامی سطوح قطعه بوسیله حلالی مانند استون جهت از بین بردن گرافیت باقی مانده در سطح تمیز کاری شوند. این امر از آن جهت ضروری است که وجود این ماده قابلیت تر شونده گی سطح را کاهش داده و مانع از ذوب کامل و اتصال محل جوشکاری می شود.

جهت حل مشکل کاهش ترشوندگی سطح پیشنهادات زیر مطرح می گردد:

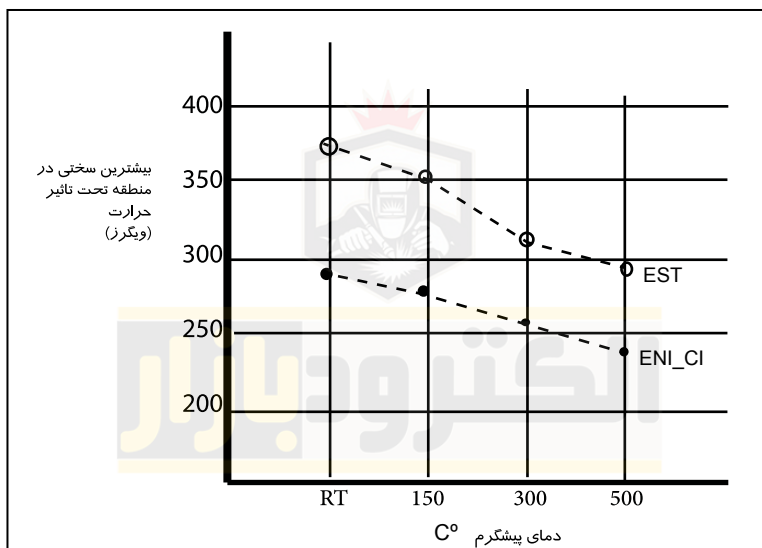
- تمیز کاری الکترومکانیکی در حمام نمک مذاب در یک وان فولادی در دمای ۴۵۵ تا ۵۱۰ درجه. با اعمال جریان الکتریکی در حمام، تمامی ناخالصی های سطحی مضر مانند گرافیت، ماسه، سیلیس و انواع اکسیدها زدوده می شوند .
- استفاده از فرآیند شات پلاست جهت تمیز کاری چدنهای گروه داکتیل و نشکن. این روش برای چدنهای خاکستری کاربرد ندارد .
- خشک کردن سطحی محل اتصال بوسیله مشعل های اکسید کننده و یا حرارت دادن قطعه در دمای ۹۰۰ درجه در اتمسفر شدیداً دکرپوره

۲- پیشگرم قطعات چدنی پیش از جوشکاری

بطور کلی در قطعات چدنی در صورت شکل گیری منطقه تحت تاثیر حرارتی با ساختار سخت و ترد احتمال وقوع ترک حتمی است . هدف از پیشگرم قطعه این است که با این کار نرخ سرد شدن منطقه تحت تاثیر حرارت کاهش یافته و بدین صورت سختی این منطقه کاهش می یابد . علاوه بر آن جلوگیری از تشکیل فازهایی مانند مارتنزیت و کاربید آهن در نتیجه عوامل فوق الذکر نیز از دیگر اثرات سودمند پیشگرم قطعات می باشد. نمودار زیر اثر پیشگرمایش بر کاهش سختی منطقه تحت تاثیر حرارت برای فلز جوش الکترود ENI-CI را به خوبی نمایان می سازد .

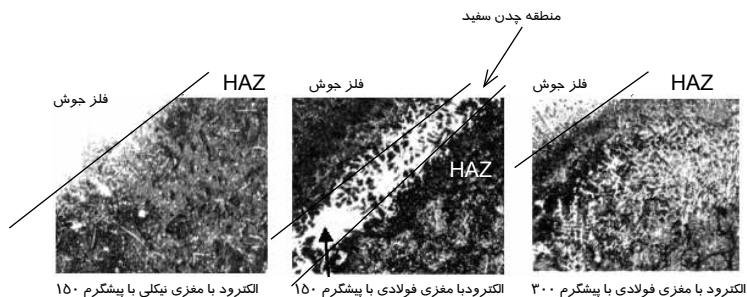


اثر دمای پیشگرم بر سختی منطقه تحت تاثیر حرارت، برای دو الکترود با مغزی نیکل و آهن خالص



نمودار مقایسه اثر دمای پیشگرم بر سختی منطقه تحت تاثیر حرارت برای فلز جوش ۲ الکترود با مغزی نیکل و آهن

مطابق نمودار فوق مشاهده می گردد که سختی منطقه تحت تاثیر حرارت الکترودهای نیکلی مقدار بسیار کمتری در مقایسه با الکتروده فولادی می باشد. این اتفاق به این دلیل است که فلز جوش نیکلی مانع نفوذ عنصر کربن به منطقه جوش گردیده و از تشکیل ناحیه چدن سفید در حاشیه فلز جوش جلوگیری به عمل می آورد. ذکر این نکته ضروری است که جهت جلوگیری از تشکیل منطقه چدن سفید، پیشگرم قطعه جهت جوشکاری با الکتروده نیکلی ۱۵۰ درجه و الکتروده فولادی ۳۰۰ درجه می باشد. شکل زیر بخوبی اثر فرآیند پیشگرم را بر ایجاد ساختار چدن سفید نمایان می سازد .



اثر پیشگرم بر ساختار فلز جوش و منطقه تحت تاثیر حرارت برای الکترودهای نیکلی و فولادی
اثر افزایش دمای پیشگرم بر کاهش منطقه چدن سفید برای الکتروده فولادی مشهود است

دمای صحیح پیشگرم قطعات جهت جلوگیری از وقوع ترک به نوع چدن و فلز جوش بستگی دارد.
دمای پیشنهادی مناسب جهت این کار، توصیه شده از شرکت الکتروده میکا، مقادیر زیر می باشد :

نام الکتروده		دمای پیشگرم °C
مطابق کد AWS	مطابق کد JIS	
ENI-CI	ENI-CI	100 - 300
ENiFe-CI	ENiFe-CI	150 - 350
Est	ECSt	350 - 400 ⁽¹⁾

جدول پیشنهادی برای پیشگرم قطعات با الکترودهای نیکلی و فولادی

وقوع ترک در صورت پیشگرم متمرکز و ناحیه ای یک قطعه ریخته گری بسیار محتمل است. از این رو لازم است به توزیع یکنواخت حرارت در سراسر قطعه توجه ویژه ای گردد.

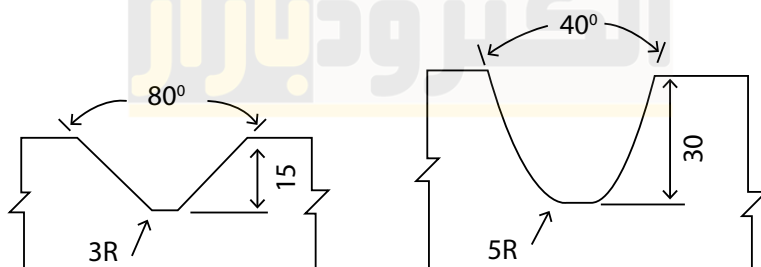
علاوه بر توجه به فرآیند پیشگرم، دقت به دمای بین پاسی در حین جوشکاری نیز بسیار مورد اهمیت است. به طور معمول دمای بین پاسی همواره برابر یا اندکی بیش از دمای پیشگرم می باشد. از طرفی کنترل دمای قطعه و جلوگیری از افزایش بیش از حد آن در حین جوشکاری از نکات ضروری می باشد. بطور مثال در صورت افزایش دمای قطعه به بیش از ۶۰۰ درجه امکان تبدیل ساختار سمانتیت (Fe_3C) در فلز پایه مطابق واکنش $Fe_3C = Fe + C$ به ساختار گرافیتی و انبساط بیش از حد قطعه و وقوع ترک وجود دارد.

۳- آماده سازی محل جوشکاری

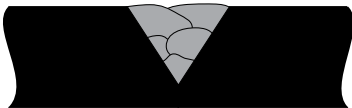
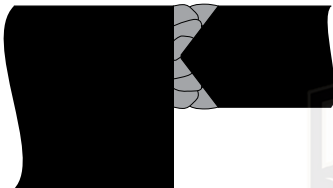
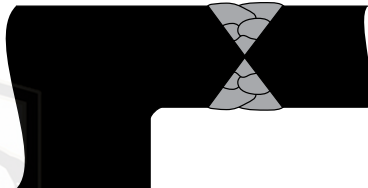
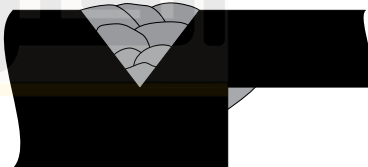
عیوب رایجی در قطعات ریختگی چدن مانند حفرات انقباضی، چسبندگی ماسه های قالب، حفرات گازی و ترکها وجود دارد. یکی از راه حل های ارزان و سریع جهت رفع این عیوب جداسازی مکانیکی آنها و بر کردن محل بوسیله جوشکاری می باشد. جهت خارج کردن این عیوب استفاده از روشهایی مانند سنگ زنی، قلم های پنوماتیکی و اره های مخصوص رایج است. استفاده از روش گوجینگ جهت این کار به دلیل گرم شدن و سرمایش سریع قطعه کار پیشنهاد نمی شود. شیار ایجاد شده در محل عیب باید دارای زاویه باز و لبه گرد در انتهای خود باشد. این امر به دلیل افزایش سهولت جوشکاری و افزایش عمق نفوذ ضروری است.

همچنین در مواقعی که در محل عیب آلودگی روغنی وجود دارد پیشنهاد می گردد پیش از ایجاد شیار، محل عیب به روغن پارافین آغشته شده و در دمای ۴۰۰ درجه جهت سوزاندن روغن حرارت داده شود.

در شکل زیر مثالی از شیار زنی مناسب قطعه با زوایای صحیح آن نشان داده شده است.

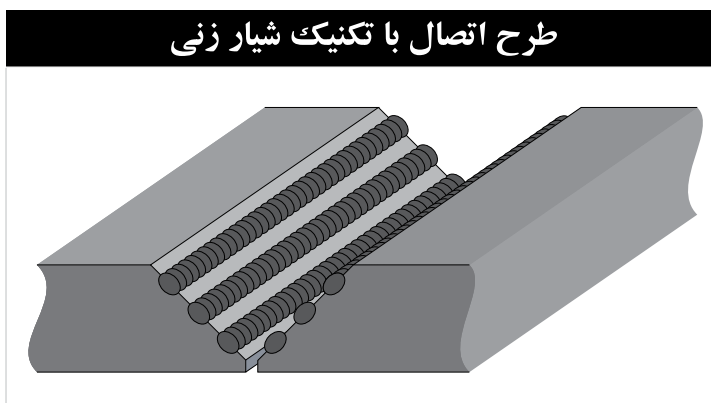


بطور کلی نفوذ بالاتر در محل اتصال همواره ترجیح داده می شود زیرا یک شکاف باقی مانده ذوب نشده می تواند با تمرکز تنش به عنوان محلی مستعد برای وقوع ترک قلمداد شود. بنابراین توصیه می گردد همواره طرح اتصال بگونه ای آماده سازی گردد که بیشترین امکان نفوذ فراهم آید. علاوه بر این تفاوت ضخامت دو طرف اتصال منجر به انبساط غیر یکنواخت و تمرکز تنش ناشی از جوشکاری می گردد و جهت رفع این مشکل، یکنواختی ضخامت دو طرف اتصال پیشنهاد می گردد. در صورت عدم امکان یکنواخت شدن ضخامت، اعمال جوش پشت بند گوشه جهت محافظت از پاسهای ایجاد شده در مقابل تمرکز تنش پیشنهاد می گردد.

اتصال نامناسب	اتصال مناسب
جوش با نفوذ ناقص	جوش با نفوذ کامل
	
عدم یکنواختی ضخامت دو طرف اتصال	یکنواختی ضخامت دو طرف اتصال
	
بدون اعمال جوش پشت پشت بند گوشه	اعمال جوش پشت پشت بند گوشه
	

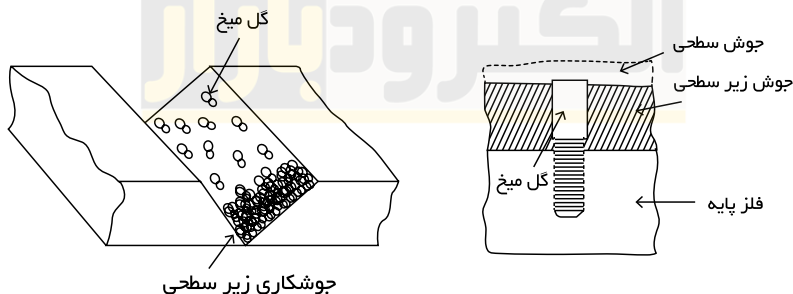
بهبود طرح اتصال جهت کاهش تمرکز تنش و در نتیجه آن کاهش خطر جواهر زنی و رشد ترک بسیار موثر خواهد بود.

شیار زنی سطح اتصال و پر کردن آن بوسیله جوشکاری یکی دیگر از روشهای آماده سازی محل جوشکاری می باشد. در این تکنیک بوسیله روش سنگ زنی یا گوجینگ بر روی پخ ایجاد شده شیارهایی ایجاد کرده و بوسیله جوشکاری این شیارها را پر می کنیم، سپس فرآیند اصلی اتصال دهی جهت پر کردن درز اتصال انجام می شود (مطابق شکل). این تکنیک منجر به انحراف مسیر رشد ترک احتمالی خواهد شد و از رشد بیشتر آن جلوگیری می کند. علاوه بر این انجام این تکنیک منجر می شود منطقه تحت تاثیر حرارت از حالت یکنواختی خارج شده و به چندین منطقه تبدیل شود و این امر در بهبود خواص مکانیکی این ناحیه بسیار موثر است .

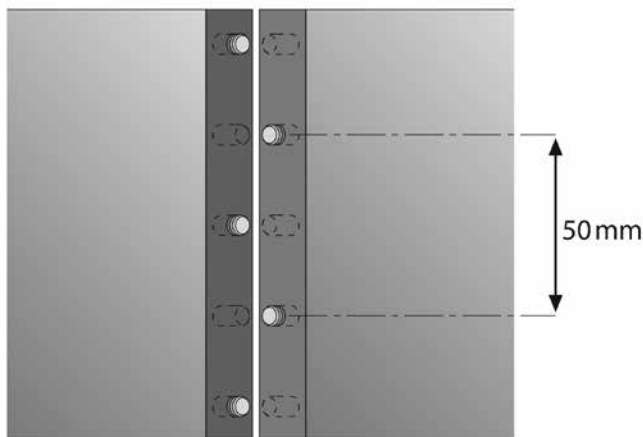


۴- تکنیک گل میخ زنی و ماهیچه گذاری

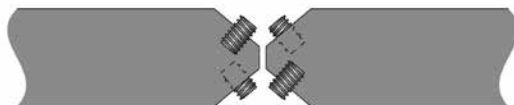
در این روش استحکام محل اتصال بوسیله قرارگیری پیچهای یک سر یا دو سر رزوه بر سطح پخ ایجاد شده بهبود می یابد. این عمل پیش از انجام جوشکاری و مطابق شکل به نحوی انجام می شود که محل قرارگیری پیچها در دوطرف اتصال متقارن نیستند. لازم است پیچ انتخابی جنسی مشابه الکتروود یا سیم جوشکاری داشته باشد . همچنین روش دیگر استفاده از گل میخ ها به نحوی است که پس از جوشکاری و لایه نشانی فلز جوش بر سطح فلز پایه، عمل گل میخ زنی انجام گرفته و پس از آن لایه دهی بر روی گل میخها بوسیله جوشکاری ادامه خواهد یافت. استفاده از این تکنیک باعث کاهش خطر وقوع ترکهای زیر سطحی در منطقه تحت تاثیر حرارت و خط ذوب خواهد شد .



تکنیک گل میخ بر روی یک اتصال (نمای بالا)

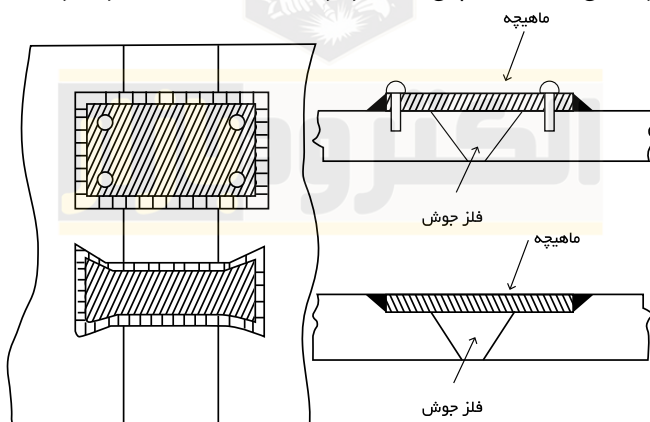


تکنیک گل میخ بر روی یک اتصال (نمای جانبی)



تکنیک ماهیچه گذاری:

در این روش یک ورق از جنس فولاد به عنوان ماهیچه به محل جوشکاری وصل می گردد. این عمل باعث استحکام دهی به محل جوشکاری و جلوگیری از وقوع ترک در منطقه ذوب و تحت تاثیر حرارت می گردد. این تکنیک اغلب پس از تعمیر ترکها در قالبهای ریخته گری بزرگ انجام می شود.



۵- تکنیک چکش کاری

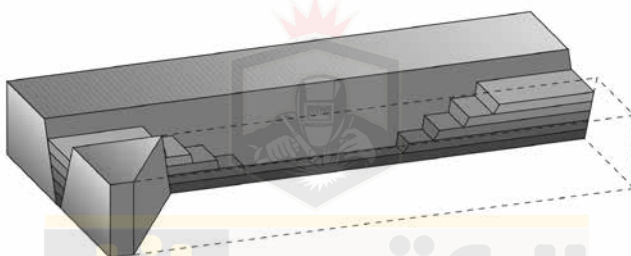
استفاده از این روش باعث می‌گردد که تنش فشاری ناشی از ضربه ی چکش منجر به خنثی کردن تنش کششی ناشی از انبساط حرارتی گردد و این امر منجر به کاهش ریسک ترک در فلز جوش و نواحی اطراف آن می‌شود. این تکنیک نیازمند فلز جوشی انعطاف پذیر است و میتوان گفت که الکتروود و سیم جوشهای نیکلی این وظیفه را بخوبی انجام می‌دهند و این خاصیت بخوبی در جوشکاری آنها بر روی چدن های خاکستری ترد مشهود است. در صورت نیاز به فلز جوشی با استحکام بالاتر استفاده از الکتروود و سیم جوشهای نیکل-آهن پیشنهاد می‌گردد. در این حالت چکش زنی در دمای بالاتر و در حالتی که گرده های جوش همچنان سرخ هستند و دمای بالایی دارند کاربرد دارد.

عملیات چکش زنی میتواند بصورت دستی و یا با دستگاه اتوماتیک صورت پذیرد. در حالت دستی از چکشی با سطح ضربه ۱۳ تا ۱۹ میلیمتر استفاده میشود و در حالت اتوماتیک با نیرویی معادل ۶۲۰ کیلو پاسگال و با سرعت ۷۵۰ تا ۱۰۰۰ میلیمتر در دقیقه صورت می‌پذیرد. سطح ضربه زننده چکش نباید بیش از پهنای گرده های جوش باشد.

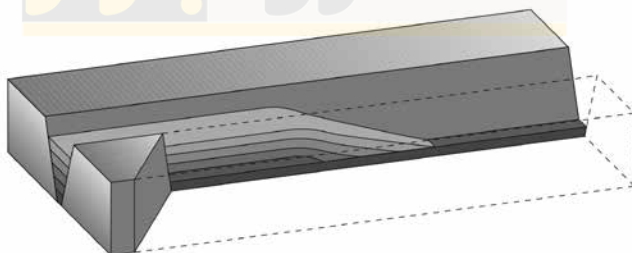
۶- اجرای صحیح توالی پاسهای جوشکاری

در جوشکاری با گاز محافظ بوسیله فیلر چدنی دو روش توالی جوشکاری پیشنهاد می‌گردد. در روش Block sequence مطابق شکل فلز جوش بصورت لایه لایه از دوطرف رسوب داده می‌شود و این امر تا ایجاد فاصله ۲/۵ سانتیمتری بین دو طرف لایه دهی شده ادامه می‌یابد. در روش توالی Cascade sequence مطابق شکل لایه های نازکی از فلز جوش روی یکدیگر رسوب داده می‌شوند بدین صورت که پاس جوش ایجاد شده از پاس قبلی طول بیشتری دارد.

جوشکاری به روش توالی Block Sequence

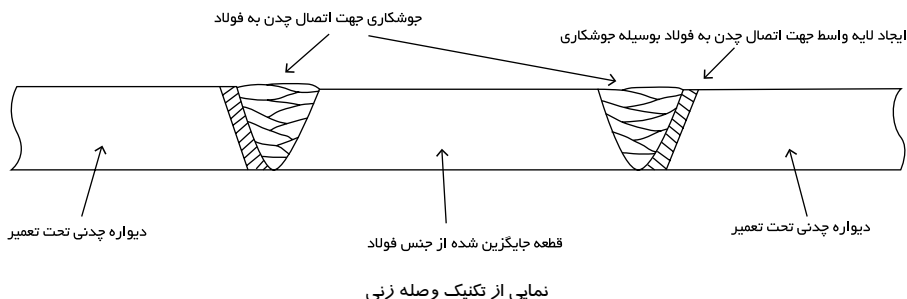


جوشکاری به روش توالی Cascade Sequence



۷- تکنیک وصله زنی

این روش در تعمیر قطعاتی که دارای چندین ترک هستند کاربرد دارد. در این روش مقطع ترک دار به طور کامل برداشته شده و قطعه ای واسط معمولاً از جنس فولادی جایگزین محل بریده شده میگردد و بوسیله جوشکاری به دو طرف قطعه چدنی اتصال می یابد. این روش در جوشکاری بلوکهای سیلندر موتور در محل ترک خوردگی مقطع شکسته شده کاربرد دارد.



۸- پسگرم قطعات چدنی پس از جوشکاری

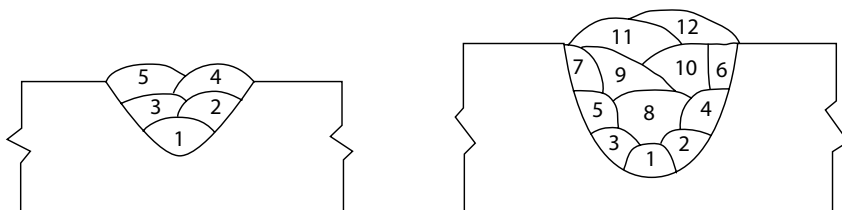
مسئله کنترل سرعت سرد شدن قطعات چدنی پس از جوشکاری و تنظیم این مورد جهت جلوگیری از رخ دادن شوک حرارتی و متعاقب آن بروز ترک، بسیار مورد اهمیت می باشد. در این زمینه جریان جوشکاری همواره پایین بوده و حرارت ورودی به قطعه کار نیز متعاقباً در مقایسه با فرآیندهای جوشکاری اتصالی پایین تر است. جهت تنظیم صحیح نرخ سرد شدن این قطعات تکنیکهای زیر پیشنهاد می شود:

۱ - جوشکاری به نحوی باشد که گرده های جوش همواره کوچک باشد و طول پاس جوشکاری بیش از ۳۰ تا ۵۰ میلیمتر نباشد.

۲ - جوشکاری با جریان کم و با الکترودی با قطر پایین انجام شود.

۳ - در حین جوشکاری تا جای ممکن از حرکت الکتروود جلوگیری شود و در صورت استفاده از تکنیک موجی (Weaving Bead) عرض فلز جوش نباید بیش از ۱/۵ برابر طول الکتروود باشد.

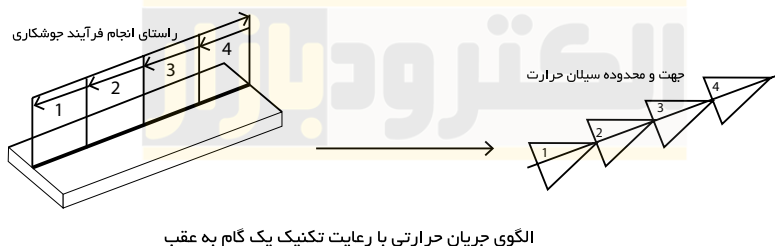
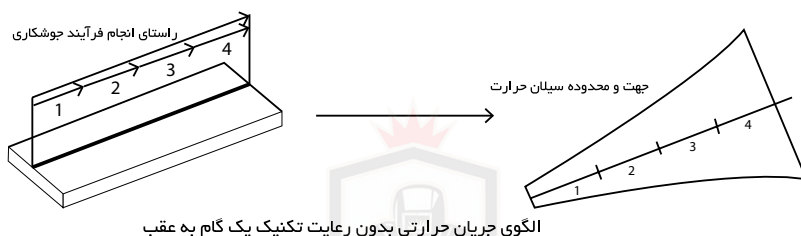
۴ - استفاده از تکنیک رسوب دهی فلز جوش و جوشکاری چند پاسه در قطعاتی با مقطع شیاری مطابق شکل صفحه بعد انجام می شود. رعایت ترتیب صحیح اجرای پاسهای جوشکاری جهت جلوگیری از توزیع نامناسب حرارت و جلوگیری از سخت شدن منطقه تحت تاثیر حرارت ضروری است.



اجرای صحیح پاسهای جوشکاری جهت جلوگیری از گرم شدن بیش از حد قطعه و افزایش سختی منطقه HAZ

۵- یکی از راه های کاربردی و مقرون به صرفه، کنترل و کاهش سرعت سرد شدن قطعه جوشکاری شده از طریق قراردادن قطعه بلافاصله پس از جوشکاری در ظرف شنی می باشد. این کار مانع بروز شوک حرارتی ای می شود که از طریق تماس قطعه داغ با اتمسفر هوا ایجاد خواهد شد.

۶- تکنیک یک گام به عقب: استفاده از این تکنیک در کنترل توزیع حرارت جوشکاری در سراسر قطعه و کاهش تنشهای انقباضی طولی و عرضی بسیار موثر است. در شکل زیر اثر این تکنیک و مقایسه جریان حرارتی سیلان شده در صورت استفاده یا عدم استفاده از آن را می بینید.



مقایسه جریان حرارتی ایجاد شده در صورت استفاده از تکنیکهای جوشکاری مستقیم و یک گام به عقب

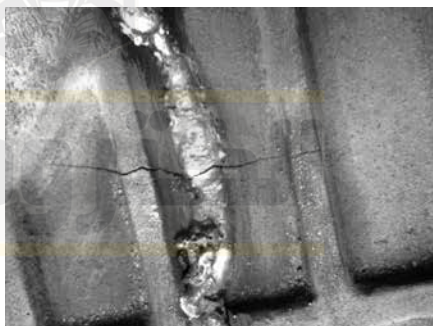
۹- پسرگرم قطعات با رویکرد کاهش فازهای مضر

تمامی چدن‌ها به دلیل درصد بالای کربن دارای محدودیت‌هایی در جوشکاری هستند. جوشکاری چدن‌ها تحت تاثیر سرعت سرد شدن بالای فلز جوش و فلز پایه قرار دارد و این امر در حالی رخ می‌دهد که در ریخته گری این قطعات نرخ سرد شدن بسیار آهسته است. علاوه بر این ایجاد ترکیبات نامناسبی مانند کاربید آهن و مارتنزیت در وقوع ترک همواره مورد توجه است. دو ترکیب یاد شده عامل اصلی ایجاد تردی در ساختار جوش بوده و منجر به وقوع ترک می‌گردند. میزان خطر وقوع ترک وابستگی زیادی به درصد این دو ترکیب دارد. ایجاد این دو ترکیب تحت تاثیر ترکیب شیمیایی و درجه حرارت فرآیندهای ساخت و جوشکاری می‌باشد. وجود ساختار مارتنزیتی در منطقه تحت تاثیر حرارت، خطر وقوع ترک هیدروژنی را نیز افزایش می‌دهد.

می‌توان با انجام راهکارهایی فاز مارتنزیت را کنترل نمود. این امر از طریق انجام عملیات حرارتی پسرگرم منجر به کاهش استحکام مارتنزیت و یا استحاله کامل و تبدیل به ساختاری با نرمی بیشتر می‌گردد. همچنین می‌توان با اعمال نرخ سرد شدن بسیار آهسته از ایجاد ساختار مارتنزیتی جلوگیری به عمل آورد. به همین جهت می‌توان با اعمال پاسهای جوشکاری با طول کمتر و به حداقل رساندن دمای پیشگرم و پسرگرم ایجاد فاز مارتنزیت را کنترل نمود. علاوه بر این کاهش ضخامت ناحیه تحت تاثیر حرارت در کاهش وقوع ترک نیز بسیار موثر است.

بطور کلی میتوان ۴ روش را به جهت کاهش خطر فاز مارتنزیت برشمرد

- ۱ - کاهش حرارت ورودی
- ۲ - استفاده از الکترودهایی با قطر پایین
- ۳ - استفاده از فیلرهایی با دمای ذوب کم
- ۴ - انجام عملیات حرارتی پیشگرم با دمای پایین و زمان بیشتر



نمایی از ترک در فلز جوش ناشی از ایجاد فاز ترد مارتنزیت (راست) - ساختار فاز مارتنزیت (چپ)

MICA ENi-CI

الکتروود مناسب جهت جوشکاری چدن‌ها از گروه آریا نورین میکا

■ زمینه کاربرد

الکتروود با مغزی نیکل جهت جوشکاری انواع چدن و همچنین اتصال این دسته از مواد به فولاد، مس و آلیاژهای آن. این الکتروود بطور تخصصی جهت انواع امور تعمیراتی طراحی گردیده است.

■ مشخصات جوشکاری

این الکتروود دارای کیفیت بسیار بالایی در اپراتوری جوش و همچنین خواص متالورژیکی می باشد. قوس این الکتروود پایدار بوده و رسوب دهی جوش بر سطح قطعه بدون هرگونه پاشش، مک و بریدگی کنار جوش انجام می پذیرد. امکان جوشکاری با کمترین جریان ممکن و همچنین تمامی موقعیت های جوشکاری وجود دارد و جدایش سرباره به راحتی امکان پذیر است

خواص مکانیکی فلز جوش

مقاومت به گسیختگی (N/mm ²)	سختی (HB)
220	180

آنالیز شیمیایی فلز جوش

کربن	آهن	نیکل
1.2	0.5	Rest

نوع جریان AC & DCEP

مشخصات جوشکاری

جریان (A)	طول الکتروود (mm)	قطر الکتروود (mm)
60-80	300	2.5
80-120	300	3.25
110-140	400	4
140-170	400	5



مثالهایی کاربردی از انواع تکنیکهای تعمیر قطعات چدنی بوسیله جوشکاری و سایر روشهای اتصال دهی

■ جوشکاری تعمیراتی جهت اتصال بخش شکسته شده از یک گیره آهنگری از جنس چدن خاکستری

بوسیله الکتروود ENI-CI قطر 3.2mm

تصویری از محل جداشتگی که پیشتر بوسیله انجام فرآیند نادرست جوشکاری اتصال داده شده بود در شکل زیر مشخص است. شکستگی و کنده شدن این قطعه دقیقاً در محل جوشکاری شده رخ داد. ابتدا پیش از انجام هر گونه اقدامی نسبت به سنگ زنی و آماده سازی لبه جوشکاری اقدام شد. پس از آن بوسیله جوش نقطه ای محل اتصال ثابت گردید و سرتاسر قطعه بوسیله مشعل اکسی استیلن پیشگرم شد. پس از اینکار فرآیند جوشکاری با آمپر پایین آغاز گشته و بلافاصله پس از آن فرآیند چکش زنی انجام شد. پس از فرآیند جوشکاری جهت کنترل سرعت سرد شدن و جلوگیری از ایجاد شوک حرارتی، قطعه در یک ظرف شنی قرار داده شد.



نمایی از شکستگی محل اتصال که پیشتر بوسیله فرآیند جوشکاری نادرست اتصال داده شده بود



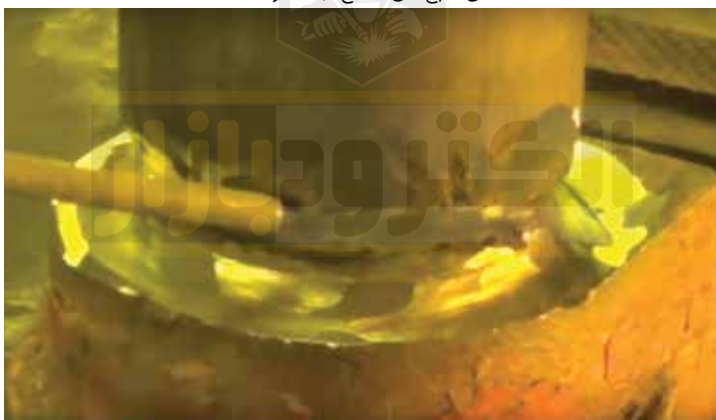
جداسازی کامل جهت اجرای صحیح پخ زنی، پیشگرم و جوشکاری و پسگرم قطعه



نمایی از یخ زنی صحیح جهت جوشکاری



نمایی از یخ زنی صحیح جهت جوشکاری



فیکس کردن صحیح قطعه پیش از پیشگرم



پیشگرم قطعه با مشعل اکسی استیلن



پیشگرم قطعه با مشعل اکسی استیلن



چکش کاری اتوماتیک پس از جوشکاری



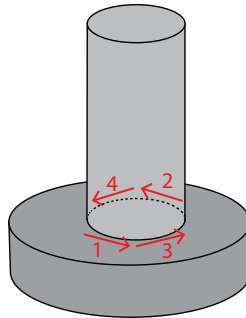
قراردادن قطعه در ظرف شن جهت کنترل نرخ سرد شدن



نمایی از محل جوشکاری شده



نمایی از محل جوشکاری شده



رعایت اصل توالی اجرای پاسهای جوشکاری جهت جلوگیری از اعوجاج

■ جوشکاری تعمیراتی بر روی قطعه ریختگی از جنس چدن خاکستری بوسیله الکتروود ENI-CI.

پس از شکست و کندگی بخشی از این قطعه، ترکی ایجاد گردید که ابتدا پیش از انجام جوشکاری، با ایجاد یک سوراخ از رشد ترک جلوگیری به عمل آمد. سپس کل مسیر ترک بوسیله فرآیند سنگ زنی پرداخت گردید و شیاری در محل ترک ایجاد شد. پس از آن متناسب با ابعاد محل کندگی و ضخامت آن، یک قطعه از جنس فولاد انتخاب گردیده و در محل کندگی قرارداده شد. پیش از شروع فرآیند جوشکاری، پیشگرم سراسری قطعه انجام گردید و پس از آن با ایجاد جوشهای نقطه ای، بطوری که شوک حرارتی کمی به قطعه وارد شود قطعه فولادی در محل کندگی محکم شد (محل جوشهای نقطه ای در عکس نشان داده شده است). پس از آن جهت سهولت انجام جوشکاری در حالت تخت، موقعیت قطعه عوض شد و اجرای پاسهای جوشکاری نیز مطابق شکل انجام پذیرفت و پس از ایجاد هر پاس جوشکاری عملیات سنگ زنی انجام گرفت. در نهایت با اتمام فرآیند جوشکاری جهت کاهش سرعت سرد شدن و جلوگیری از ایجاد شوک حرارتی، قطعه در یک کیسه عایق قرارداده شد تا پس از گذشت زمان به دمای محیط برسد و عملیات پایان یابد.



نمایی از قطعه تحت تعمیر و تکه فولادی تعبیه شده در محل کندگی



قطعه فولادی تعبیه شده در محل کندگی



ایجاد سوراخ در مسیر ترک جهت جلوگیری رشد و اشاعه آن



ایجاد جوش نقطه ای جهت فیکس کردن قطعه فولادی



تغییر محل قطعه به جهت جوشکاری در حالت تخت



جوشکاری با رعایت اصل توالی پاسها



جوشکاری با رعایت اصل توالی پاسها



قرار دادن آستر بر روی قطعه جهت کنترل نرخ سرد شدن پس از جوشکاری



نمایی از محل جوشکاری شده



نمایی از محل جوشکاری شده

■ جوشکاری تعمیراتی قطعات مربوط به ماشین آلات کشاورزی توسط الکتروود روکش دار با

مغزی نیکلی

استفاده از الکتروود روکش دار با مغزی نیکلی یکی از بهترین، آسانترین، و مطمئن ترین روش ها جهت تعمیر قطعات شکسته شده و آسیب دیده چدنی می باشد. اهمیت این موضوع از آن جهت است که در صورت عدم تعمیر این قطعات، نیاز به نوسازی بخش بزرگتر تجهیز می باشد که مطمئناً هزینه بسیار بالایی خواهد داشت. در تصاویر زیر نمونه ای از جوشکاری یک ماشین کشاورزی که قسمتی از لبه ساینده آن شکسته شده و توسط الکتروود ENI-CI تعمیر گردیده نشان داده شده است. این پروژه با حداقل امکانات انجام گردید اما به علت رعایت اصولی چون پیشگرم قطعه شکسته شده و همچنین چکش زنی محل جوشکاری و استفاده از الکتروود با کیفیت، نتیجه مطلوبی حاصل گردید.



ودبازار



■ جوشکاری تعمیراتی منی فولد یک خودرو از جنس چدن خاکستری بوسیله الکتروود ENI-CI

قطر 3.2mm

در این قطعه پس از مشاهده ترک سطحی ابتدا بوسیله فرآیند سنگ زنی محل ترک بطور کامل برداشته شده و در دو سر آن بوسیله ایجاد سوراخ از رشد بیشتر مسیر ترک جلوگیری به عمل آمد. پس از آن با انجام پیشگرم بوسیله مشعل اکسی استیلن نسبت به پر کردن محل درز بوسیله جوشکاری اقدام شد. در ادامه پس از انجام چکش کاری بوسیله چکش اتوماتیک (استفاده از چکش اتوماتیک در مقایسه با نوع دستی به علت اعمال ضربه هایی با قدرت یکسان و قابلیت استفاده از سری های ظریف یا بزرگ توصیه می گردد)، پس از اتمام چکش کاری قطعه جهت جلوگیری از شوک حرارتی در ظرف شنی قرار گرفت. پس از آن بوسیله فرآیند سنگ زنی سطح گردنه های جوش پرداخت گردیده و به علت کیفیت مناسب فلز جوش، این عمل به راحتی انجام شد. قابلیت سنگ زنی و بطور کلی ماشین کاری فلز جوش حاصله بر روی قطعات چدنی از ویژگی های ضروری یک فیلر با کیفیت می باشد.



پرداخت و از بین بردن محل ترک و ایجاد سوراخ در دو طرف آن جهت جلوگیری از اشاعه آن



پیشگرم قطعه توسط مشعل اکسی استیلن



پیشگرم قطعه توسط مشعل اکسی استیلن



جوشکاری با الکتروود روکش دار



چکش کاری اتوماتیک بلافاصله پس از جوشکاری



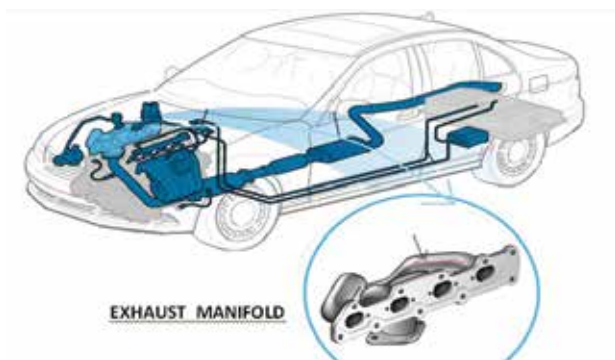
قرار دادن قطعه در ظرف شنی بلافاصله پس از چکش کاری جهت کنترل نرخ سرد شدن



نمایی از محل جوشکاری شده



سنگ زنی محل جوشکاری شده و هم سطح شدن با فلز پایه



محل قرار گرفتن قطعه تعمیر شده در تجهیزات خودرو



تصویری انتزاعی از نحوه شکل گیری قوس الکترود ENi-Ci

■ اتصال چدن مالیبیل به پایه فولادی جهت ساخت یک CLAMP با ابعاد دلخواه بوسیله جوشکاری توسط الکتروود E7018 قطر 3.2mm

در این پروژه پس از جداسازی قسمت معیوب یک کلمپ کار کرده، قسمت سالم بوسیله الکتروود به پایه فولادی اتصال یافت. پیشگرم و پسگرم انجام نشده و تنها پس از جوشکاری عمل چکش زنی محل جوش به دقت انجام گرفت.



نمایی از محل اتصال



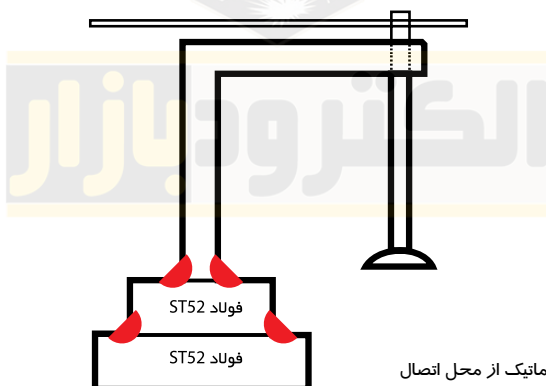
جوشکاری در محل اتصال



چکش کاری محل اتصال جهت تنش زدایی



نمایی از محل جوشکاری شده



نمایی شماتیک از محل اتصال

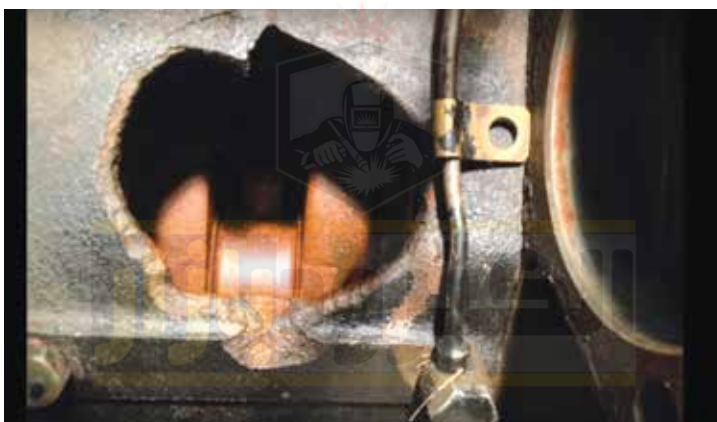
■ تعمیر پوسته موتور دیزلی از جنس چدن خاکستری بوسیله تکنیک وصله زنی توسط فرآیند جوشکاری تیگ با فیلر نیکل ۹۹ درصد

در این پروژه پس از تمیز کاری و پرداخت لبه های محل کندی متناسب با ابعاد و محل کندی یک ورق فولادی جهت وصله زنی انتخاب گردید و جهت آماده سازی اتصال، پخ زنی بر روی پوسته و ورق انجام شد. انتخاب ورق فولادی از آن جهت اهمیت دارد که در صورت انتخاب ورق چدنی، به دلیل تنش حرارتی ایجاد شده، احتمال بروز ترک و وقوع خرابی مجدد وجود خواهد داشت. همچنین انتخاب فرآیند تیگ از سه جهت در این پروژه موفقیت آمیز بود:

۱- بطور کلی در فرآیند جوشکاری تیگ، قوس کنترل شده تر و حرارت ورودی ملایم تری در صورت تنظیمات درست بر روی قطعه ایجاد خواهد شد که این امر برای قطعات چدنی بسیار مهم است.

۲- در صورت ایجاد عیوبی همچون حفرات گازی و همچنین عدم همپوشانی گره های جوش بر روی یکدیگر می توان با ذوب کردن مجدد آنها و بدون استفاده از فیلر این عیوب را برطرف ساخت.

۳- به دلیل حرارت ورودی کمتر و قوس کنترل شده تر میزان شوک حرارتی اعمالی کمتر بوده و نیازی به فرآیندهای کاهش سرعت سرد شدن (مانند قرار دادن قطعه در ظرف شنی یا پوشاندن قطعه با ژاکت مخصوص، پیشگرم و پسگرم و...) نمی باشد.



نمایی از محل کندی پوسته موتور



نمایی از ماشین کشاورزی با موتور تحت تعمیر



آماده سازی محل کندی پوسته



نمایی از قطعه فولادی و پوسته موتور پخ سازی شده جهت آماده سازی محل جوشکاری



جوشکاری نقطه ای ایجاد شده جهت فیکس کردن قطعه فولادی در محل کندی



انجام جوشکاری با رعایت اصل توالی پاسها به جهت کاهش اعوجاج



انجام جوشکاری با رعایت اصل توالی پاسها به جهت کاهش اعوجاج



انجام جوشکاری با رعایت اصل توالی پاسها به جهت کاهش اعوجاج



بازرسی محل جوشکاری شده به جهت تشخیص میزان نفوذ



نمایی از موتور پس از تعمیر نهایی

■ جوشکاری تعمیراتی قطعه چدنی با رعایت اصل توالی پاسهای جوش جهت توزیع یکنواخت حرارت در سراسر قطعه بوسیله الکتروود ENI-CI قطر 3.2mm

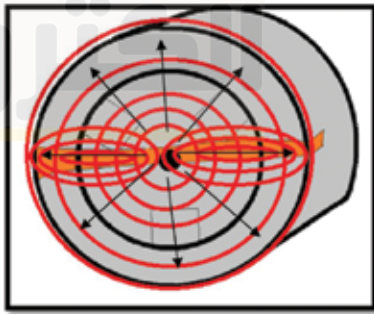
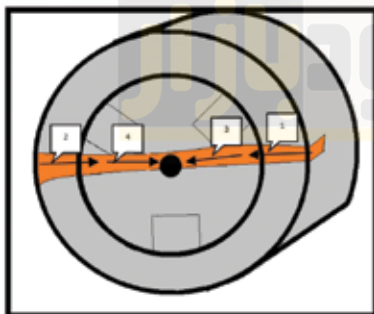
در این پروژه پس از مشاهده ترک بر سطح قطعه ابتدا بوسیله فرآیند سنگ زنی ترک برداشته شده و با ایجاد زاویه ۳۰ درجه در محل شکاف، آماده سازی سطح انجام شد. پس از آن با انجام پیشگرم سراسری قطعه بوسیله مشعل نسبت به آماده بودن قطعه جهت شروع جوشکاری اطمینان حاصل شد. پس از آن با رعایت اصل توالی پاسها مطابق شکل جوشکاری انجام گرفت. همچنین مطابق شکل چنانچه رعایت ترتیب اعمال پاسهای جوشکاری به شکل صحیح انجام شود، سیلان حرارت در تمامی جهات یکنواخت خواهد بود (خطوط قرمز نشان دهنده مسیر سیلان حرارت می باشند). و در نتیجه تراکم و انبساط ناشی از حرارت نیز یکنواخت خواهد بود و خطر وقوع ترک بسیار کاهش می یابد.



نمایی از قطعه پس از سنگ زنی و از بین بردن ترک



پیشگرم قطعه پیش از انجام جوشکاری



نمایی از نحوه سیلان صحیح حرارت با رعایت ترتیب پاسهای جوشکاری (سمت راست) و نحوه اجرای صحیح پاسهای جوشکاری (سمت چپ)

■ جوشکاری تعمیراتی پوسته موتور بوسیله الکتروود روکش دار ENI-CI بدون اعمال پیشگرم و با رعایت توالی جوشکاری و کنترل حرارت

در این پروژه پس از مشاهده ترک و انجام تست مایعات نافذ (PT) حدود دقیق موقعیت ترک بر روی سطح پوسته مشخص گردید و جهت جلوگیری از رشد و اشاعه آن سوراخ هایی در ابتدا و انتهای آن ایجاد شد. پس از آن بوسیله سنگ زنی ترک برداشته شده و با ایجاد شیار، محل جوشکاری آماده گردید. در این پروژه از الکتروود قطر $3/2$ میلیمتر با جریان ۹۵ آمپر مستقیم با قطبیت مثبت استفاده شد. ترتیب ایجاد پاسهای جوشکاری مطابق شکل بگونه ای اجرا شد که حداقل شوک حرارتی مطابق شکل به قطعه وارد شود. همچنین نکته بسیار مهم در جوشکاری این قطعه، ایجاد پاسهای جوش بگونه ای بود که حرارت محل جوشکاری از حد تحمل دست تجاوز ننماید و پس از ایجاد هر پاس با فرآیند چکشکاری انوماتیک و توقف جهت خنک سازی، پاسهای بعدی ایجاد گردید. در انتها، فرآیند سنگ زنی نهایی جهت مسطح کردن گرده های جوش با فلز پایه انجام شد.



نمایی از محل شناسایی شده ترک بوسیله آزمون pt و ایجاد سوراخ در دو طرف ترک جهت جلوگیری از رشد آن



سنگ زنی و آماده سازی محل ترک



سنگ زنی و آماده سازی محل ترک



سنگ زنی و آماده سازی محل ترک



نمایی از محل تعمیر شده پس از چکش زنی و سنگ زنی نهایی

■ جوشکاری تعمیراتی قطعه از جنس چدن خاکستری بوسیله فرآیند جوشکاری TIG با فیلر از جنس چدن چکش خوار با قطر 6mm

در این پروژه جوشکاری تکه ای جدا شده از قطعه بکار رفته در یک ماشین سنگ زنی بجای تعویض کلی آن مدنظر قرار گرفت. در واقع در صورت انتخاب روش صحیح جوشکاری چدن‌ها، این روش بسیار مقرون به صرفه تر و حتی مطمئن تر از تعویض قطعه می باشد. ابتدا عمل فیکس کردن قطعه شکسته شده بوسیله یک گیره انجام شد. پس از آن با آماده سازی لبه های ترک، جوشکاری نقطه ای در دوسر قطعه جهت محکم کردن پارت شکسته شده صورت پذیرفت و پس از آن فرآیند سنگ زنی جهت خارج کردن ترک انجام شد. رعایت ترتیب صحیح اعمال پاسهای جوشکاری جهت جلوگیری از بروز هرگونه اعوجاج به دلیل سیلان نامناسب حرارت مورد توجه قرار گرفت (به تصویر مربوطه توجه شود). با توجه به استفاده از فرآیند جوشکاری تیگ و حرارت ورودی ملایم و کنترل شده این فرآیند، نیازی به کنترل سرعت سرد شدن پس از جوشکاری نبود. در پایان نیز فرآیند سنگ زنی منجر به مسطح شدن گرده های جوش گردید. در این پروژه از فیلر چدنی با کد استاندارد AS1167.2 RC11 استفاده کردید. این فیلر با استحکام مناسب خود قابلیت اتصال دهی قطعات شکسته شده را دارا می باشد و همچنین قابلیت ماشین کاری مناسبی جهت فرآیندهای تکمیلی مانند سنگ زنی و ماشین کاری دارد.



نمایی از قطعه شکسته شده



نمایی از محل شکستگی



فیکس کردن صحیح قطعه جهت آماده سازی محل اتصال و جوشکاری ضروری می باشد



فیکس کردن صحیح قطعه جهت آماده سازی محل اتصال و جوشکاری ضروری می باشد



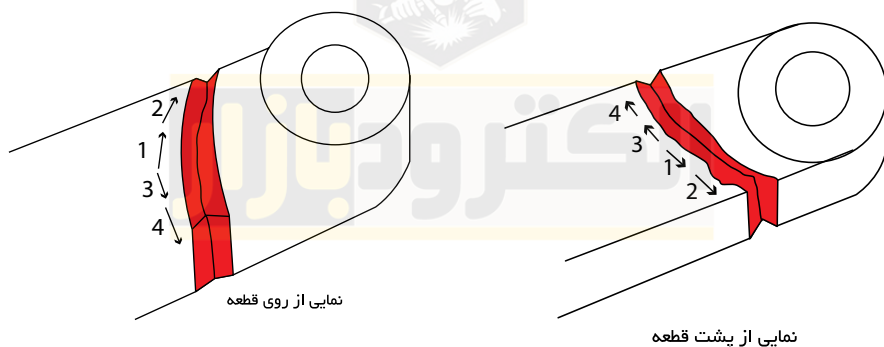
ایجاد جوش نقطه ای پیش از انجام جوشکاری نهایی و جهت استحکام دهی به محل شکست پیش از عملیات سنگ زنی



سنگ زنی جهت آماده سازی جوشکاری نهایی



نمایی از محل جوشکاری شده با رعایت اصل توالی پاسها



نمایی از ترتیب ایجاد پاسهای جوشکاری در دو طرف قطعه

تعمیر کلگی ترک خورده یک موتور بوسیله الکتروود ENI-CI قطر 3.2mm با پیشگرم و کنترل نرخ

سرد شدن

در این پروژه پس از مشاهده ترکهای عمقی بر روی کلگی، این قسمت از پوسته موتور جدا شده و پس از تمیزکاری مشاهده گردید که اثر ترک خوردگی بسیار عمیق بوده و امکان ترمیم آن با جوشکاری سطحی وجود ندارد. به همین دلیل تکه معیوب با اعمال حرارت منبسط گردیده و این امر منجر به رشد ترکهای موجود و جداسدن خود به خود قطعه گردید (در قطعات ترک خورده به هیچ عنوان اعمال ضربه یا کشش جهت جداسازی تکه معیوب مجاز نمی باشد زیرا به دلیل ماهیت انعطاف ناپذیر قطعات چدنی خطر تخریب بیشتر و غیرقابل جبران قطعه وجود دارد). با بررسی تکه جدا شده مشاهده گردید که بوسیله پخ زنی و اتصال مجدد آن به قطعه اصلی نیازی به وصله زدن یک تکه جدید نیست. به دلیل هندسه محل کندگی و خطر متلاشی شدن تکه معیوب توجه ویژه ای به پیشگرم اولیه شد. بدین صورت که قطعه پس از ثابت شدن درون یک گیره داخل یک ظرف شنی قرارداده شد و بر روی یک اجاق کارگاهی و زیر پوشش یک آستر عایق، پیشگرم گردید. فرآیند جوشکاری نیز با رعایت ترتیب اعمال پاسهای جوشکاری مطابق شکل با نهایت دقت انجام گرفت و پس از پایان هر پاس عمل چکش کاری انجام شد و پس از اتمام کار قطعه برای مدتی جهت ملایم سازی سرعت سرد شدن درون ظرف شنی باقی ماند و پس از آن از محفظه خارج شده و سنگ زنی نهایی انجام گرفت.



نمایی از قطعه با ترک اولیه مشاهده شده



اعمال حرارت موضعی جهت انبساط و جداشدن تکه معیوب از قطعه اصلی



نمایی از قطعه پس از جدا شدن تکه معیوب



پخ زنی قطعه و تکه جدا شده و فیکس کردن این دو بوسیله گیره مخصوص



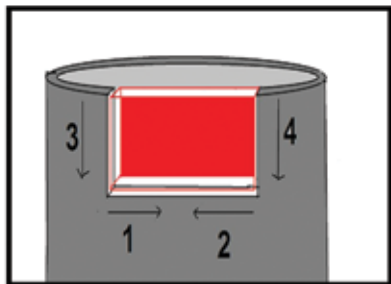
قرار دادن قطعه در ظرف شنی و قراردادن آن بر روی اجاق جهت پیشگرم ملایم و یکنواخت



جوشکاری با رعایت اصل ترتیب پاسها



جوشکاری با رعایت اصل ترتیب پاسها



تصویر شماتیک از ترتیب ایجاد پاسهای جوشکاری شده

■ تعمیر قطعه ریختگی چدنی با ابعاد بزرگ بوسیله تکنیک گل میخ زنی

در این پروژه با مشاهده ترک رشد یافته از یکی از سوراخهای تعبیه شده بر سطح قطعه، نسبت به مطالعه بر روی انتخاب بهترین روش تعمیر اقدام شد. با وجود امکان استفاده از روش جوشکاری ذوبی به شرط رعایت پیشگرم و پسگرم مناسب قطعه، به دلیل ابعاد بزرگ آن و نیاز به تجهیزات مناسب جهت پیشگرم و پسگرم، عملاً استفاده از این روش منتفی گردید و بحث استفاده از تکنیک گل میخ زنی با پیچهای رزوه دار فولادی مطرح شد. در این روش به دلیل نبود هر گونه تنش حرارتی خطر رشد ترک وجود نخواهد داشت و مسئله مورد اهمیت استفاده از تجهیزات مناسب جهت سوراخ کاری و ابعاد دقیق آنها و همچنین رعایت اصل توالی ایجاد سوراخ ها به جهت کنترل انبساط محل ترک خوردگی می باشد. در این فرآیند تعمیراتی با توجه به سطحی بودن ترک با انجام آزمون مایعات نافذ نسبت به شناسایی دقیق ابتدا و انتهای ترک اقدام شد و با شناسایی انتهای مسیر ترک سوراخکاری اولیه انجام شد. نکته قابل تذکر و بسیار مهم، استفاده از گیج راهنمای مخصوص مته دریل کاری به جهت تنظیم دقیق محل سوراخکاری و فاصله مناسب سوراخ ها و عمق یکسان آنها می باشد. مراحل انجام این پروژه به ترتیب شامل موارد زیر می باشد:

- ۱- انجام تست مایعات نافذ به جهت شناسایی محل دقیق ترک
- ۲- ایجاد سوراخ اولیه در انتهای مسیر ترک بوسیله دریل و گیج راهنمای مخصوص (مطابق تصویر)
- ۳- ایجاد سوراخ های بعدی با فاصله یکی در میان تا ابتدای مسیر ترک (مطابق تصویر)
- ۴- رزوه کردن محل سوراخ و قرار دادن پیچها به ترتیب از انتها تا ابتدای ترک درون سوراخهای ایجاد شده (مطابق تصویر) (مرحله اول)
- ۵- سوراخکاری و رزوه کاری فاصله مابین پیچها و قراردادن پیچهای مربوطه داخل سوراخها (مطابق تصویر) (مرحله دوم)
- ۶- سوراخکاری و رزوه کاری مابین پیچهای تعبیه شده مرحله اول و دوم (مرحله سوم)
- ۷- چکش زنی، سنگ زنی و پرداخت نهایی پیچها به جهت یکسان سازی با سطح قطعه (مطابق تصویر)



شناسایی مسیر ترک



سوراخ کاری در مسیر ترک



سوراخ کاری سراسری در مسیر ترک با استفاده از گیج مخصوص



سوراخ کاری سراسری در مسیر ترک با استفاده از گیج مخصوص



قرار دادن پین در سوراخها بصورت یکی در میان



قرار دادن پین در سوراخهای باقی مانده



قراردادن پین در سوراخهای باقی مانده



ماشین کاری پینها و مسطح سازی پینها با سطح قطعه کار



سوراخ کاری و تعبیه مجدد پینها در حدفصل پینهای قبلی

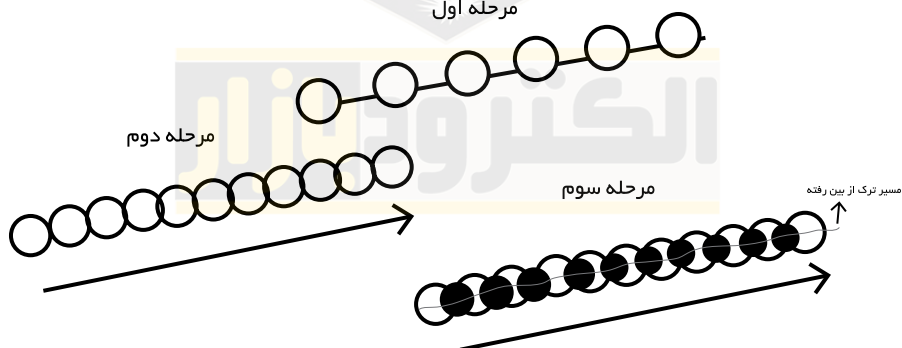


سنگ زنی و چکش کاری نهایی



نمایی از قطعه تعمیر شده

مرحله اول



تصویر شماتیکی از مراحل سه گانه سوراخ کاری و تعبیه پین

■ جوشکاری تعمیراتی قطعه چدنی متعلق به ماشین کشاورزی با استفاده از الکترود ENI-CI قطر 3.2mm با رعایت اصل توالی پاسها و پیشگرم و پسگرم مناسب

در این پروژه جهت اتصال مجدد قطعه کنده شده ابتدا با ایجاد پخ مناسب، زمینه نفوذ هرچه بهتر جوش در محل اتصال فراهم گردید، سپس قطعه جهت آماده سازی پیش از جوشکاری تحت پیشگرم سراسری (مطابق تصویر) قرار گرفت و با انجام جوشکاری با رعایت اصل توالی پاسها فرآیند اتصال دهی انجام شد. پس از آن جهت کنترل نرخ سرد شدن، قطعه مجدداً بر روی اجاق حرارتی قرار گرفت و با کاهش حرارت ملایم شعله تا دمای اتاق از ایجاد شوک حرارتی جلوگیری به عمل آمد. مرحله نهایی در این پروژه ماشین کاری محل جوشکاری بود. زیرا به دلیل اتصال قطعه بر روی ماشین امکان سنگ زنی با دست فراهم نبود و پرداخت مناسب برآمدگی محل جوشکاری ضروری به نظر می رسید.



نمایی از قطعه معیوب و محل شکستگی



نمایی از محل شکستگی



پرداخت سطحی قطعه شکسته شده جهت آماده سازی برای جوشکاری



قرار دادن قطعه بر روی اجاق کارگاهی جهت پیشگرم مناسب



انجام فرآیند جوشکاری



قراردادن قطعه در معرض حرارت پس از جوشکاری، جهت پسگرم مناسب و کنترل سرعت سرد شدن



نمایی از محل جوشکاری شده



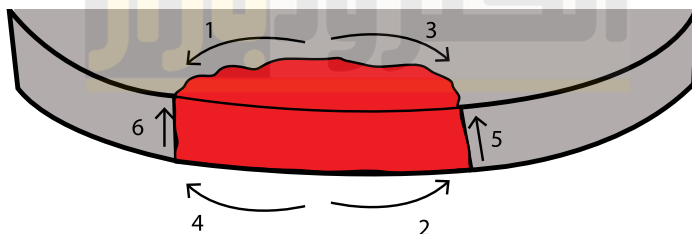
بستن قطعه به ماشین تراش جهت تراشکاری محل جوشکاری



تراشکاری جهت پرداخت پاسهای جوشکاری



نمایی از محل تعمیر شده پس از تراشکاری



تصویر شماتیکی از ترتیب اجرای پاسهای جوشکاری جهت جلوگیری از ایجاد اعوجاج

■ اتصال شکستگی قطعه آسیب دیده چدنی از یک موتور با استفاده از الکتروود ENI-CI با پخ زنی مناسب و اصل توالی پاسها

نکته مورد توجه در این پروژه اهمیت پخ زنی مناسب با زاویه صحیح و از دو طرف محل اتصال می باشد که جهت استحکام محل تعمیر شده بسیار ضروری است.



نمایی از محل شکستگی قطعه



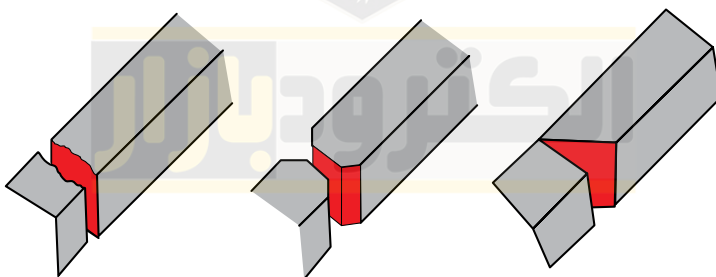
سنگ زنی مناسب و ایجاد زاویه صحیح پیش از جوشکاری



بستن دستگاه به گیره جهت ثابت کردن قطعه



نمایی از قطعه تعمیر شده



شکستگی اولیه

پخ زنی مناسب پیش از جوشکاری

پخ زنی نامناسب

تصاویر شماتیکی از نحوه صحیح پخ زنی در این پروژه

■ - تعمیر اساسی پایه چدنی یک پمپ بوسیله جوشکاری با الکتروود ENI-CI

در این پروژه به دلیل تخریب اساسی پایه پمپ چدنی مشکلات زیادی در رابطه با جوشکاری و اتصال مجدد قطعات وجود داشت. در ابتدا با استفاده از فیکسچر نسبت به اتصال دقیق محل شکستگی با استفاده از جوش نقطه ای اقدام شد. سپس آماده سازی محل اتصال بوسیله فرآیند سنگ زنی انجام گرفته و با پیشگرم موضعی و دقیق محل اتصال، فرآیند جوشکاری انجام پذیرفت و پس از پایان جوشکاری به جهت کنترل نرخ سرد شدن، قطعه بطور کامل در ظرف شنی قرار داده شد.



نمایی از قطعه تخریب شده



انجام جوش نقطه ای جهت آماده سازی اولیه



نمایی از قطعه پس از انجام جوشکاری



نمایی از قطعه پس از انجام جوشکاری و سنگ زنی نهایی

تعمیر ترک سطحی ایجاد شده بر روی پیستون با قطر ۲۵ سانتیمتر از جنس چدن خاکستری متعلق

به یک دستگاه تراکتور کشاورزی

در این پروژه به دلیل جرم بالا و خطر عدم یکنواختی در نرخ گرمایش و سرمایش قطعه در فرآیندهای پیشگرم و پسگرم از انجام جوشکاری با الکتروود دستی صرف نظر شد و انجام جوشکاری بوسیله فرآیند TIG مدنظر قرار گرفت. ابتدای امر با دقت فراوان نسبت به خارج کردن ترک بوسیله فرآیند سنگ زنی اقدام گردید و پس از آن با رعایت اصل توالی پاسهای جوشکاری به پر کردن محل کندگی اقدام شد و در نهایت پس از چکش کاری محل جوش بوسیله فرآیند سنگ زنی محل برآمدگی جوش پرداخت گردید.



نمایی از محل ترک بر سطح قطعه



سنگ زنی و جداسازی ترک



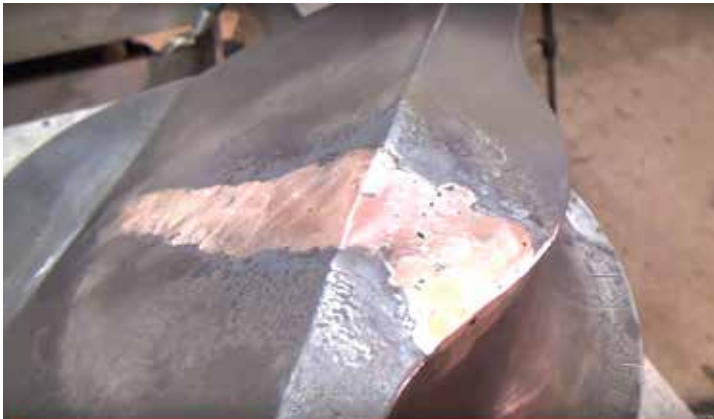
نمایی از تکه معیوب جدا شده



انجام عملیات جوشکاری



انجام عملیات جوشکاری



نمایی از قطعه تعمیر شده

■ جوشکاری پوسته تخریب شده از جنس چدن خاکستری یک موتور دیزلی بوسیله الکتروود ENI-CI قطر 3.2mm

در این پروژه پس از مشاهده کندی با ابعاد بزرگ بر روی سطح موتور و با توجه به امکان اتصال مجدد تکه چدنی جدا شده، برخلاف پروژه پیشین که قطعه فولادی جهت پوشش محل کندی انتخاب شده بود، از همان تکه معیوب جدا شده استفاده گردید و با رعایت اصول پیشگرم و پسگرم قطعه و رعایت اصل توالی پاسها، فرآیند تعمیر انجام گرفت.



نمایی از قطعه تخریب شده



نمایی از محل عیب بر روی سطح موتور



انجام جوشکاری نقطه ای پیش از انجام فرآیند اصلی اتصال دهی



فیکس کردن محل جدا شده بر روی قطعه اصلی بوسیله جوش نقطه ای



نمایی از قطعه تعمیر شده پس از جوشکاری چکش زنی و سنگ زنی نهایی

■ جوشکاری و اتصال مجدد قسمتی از کلاچ یک خودرو بوسیله فرآیند جوشکاری تیگ با فیلر نیکل ۹۹، همراه با پیشگرم قطعه و رعایت اصل توالی پاسها

در این پروژه به دلیل حساسیت قطعه به نرخ حرارت ورودی به محل اتصال و خطر تخریب بیشتر محل به دلیل ضخامت کم، از فرآیند جوشکاری تیگ استفاده شد. ابتدا محل اتصال با فرآیند سنگ زنی جهت اتصال مناسب پخ کاری شده و پس از آن بوسیله مشعل کاملاً پیشگرم گردید و بلافاصله فرآیند جوشکاری انجام شد. در انتها نیز فرآیند سنگ زنی انجام گرفت.



نمایی از محل آسیب دیده



نمایی از محل آسیب دیده و تکه جدا شده



پخ سازی تکه جدا شده و قطعه اصلی پیش از انجام جوشکاری



پیشگرم قطعه پیش از آغاز فرآیند جوشکاری



نمایی از قطعه پس از جوشکاری نهایی



الکتروود بازار



الکتروود بازار

ضمیمه

معنی عبارات تخصصی در حوزه متالورژی و جوش بکار رفته در متن کتاب

۱- ریخته گری:

علمی در شاخه متالورژی که در آن بوسیله ذوب کردن فلزات و ریختن آنها در یک قالب و انجماد فلز درون قالب، قطعاتی با ابعاد مختلف تولید می گردد .

۲- آلیاژهای آهن کربن:

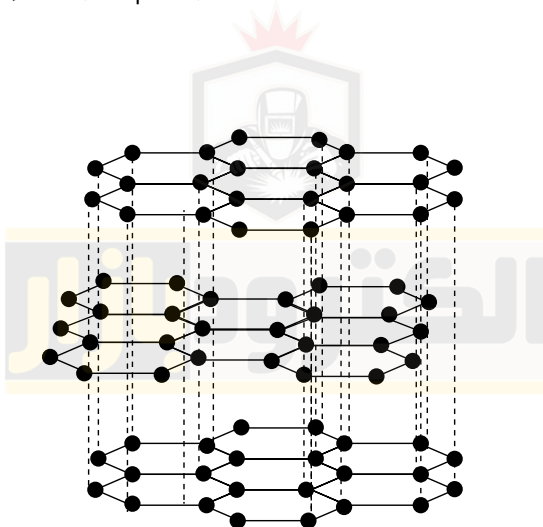
به محلول جامدی که حداقل یکی از اجزای آنها فلز بوده و خواص فیزیکی و شیمیایی فلزی داشته باشند آلیاژ گویند. آلیاژ های آهن-کربن مخلوط یا محلول جامد فلزی متشکل از فلز اصلی(آهن) که آن را فلز پایه می گویند با یک یا چند عنصر فلزی یا غیرفلزی(در اینجا فقط یک عنصر: کربن) است. فولاد و چدن هر دو از آلیاژهای آهن - کربن هستند و تفاوت آنها در میزان کربنشان می باشد .

۳- کاربید:

کاربید (انگلیسی: Carbide) به یک ترکیب شیمیایی گفته می شود که از کربن و یک عنصر با الکترون گاتیویته کمتر تشکیل شده باشد. ترکیب Fe_3C یکی از مهمترین ساختارهای کاربردی می باشد.

۴- گرافیت:

گرافیت یکی از دگرشکلیهای کربن است که به جهت نرم بودن و رنگ سیاه و رسانایی بالایش شناخته می شود. گرافیت ساختار لایه-لایه داشته و از قرار گرفتن ۶ اتم کربن به صورت ۶ ضلعی منتظم پدید آمده است.



۵- جوانه زنی و رشد ترک:

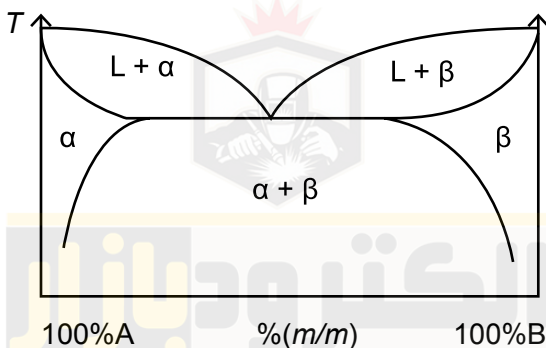
شکست عبارت است از جدا شدن یک جسم به دو یا چند تکه در واکنش به تنش اعمالی که به صورت استاتیکی (یعنی تنشی که به صورت ثابت یا با تغییر آهسته نسبت به زمان) وارد می شود. شکست در دمایی که نسبت به دمای ذوب پایین تر است اتفاق می افتد. تنش اعمالی ممکن است کششی، فشاری و یا پیچشی باشد. هر شکست ۲ مرحله دارد. پیدایش ترک (جوانه زنی) و اشاعه ترک در یک یا چند مسیر (رشد ترک).

۶- نمودار آهن-کربن:

نمودار آهن-کربن (Fe-C) راهنمایی است که به کمک آن میتوان روشهای مختلف عملیات حرارتی، فرآیندهای انجماد، ساختار فولادها و چدن‌ها و... را بررسی کرد. در این نمودار محور افقی درصد کربن موجود در آلیاژ و محور عمودی دمای آلیاژ است. مطابق این نمودار با توجه به دما و درصد کربن می توان ساختارهای آلیاژی ایجاد شده را بررسی نمود.

۷- نقطه یوتکتیک:

نقطه یوتکتیک در نمودار فازی نقطه ای است که فاز مایع L مسقیماً با فاز جامد $\alpha + \beta$ هم مرز می شود و می تواند با گذشتن از این دمای مرزی به فازهای جامد α و β تبدیل شود (فاز $\alpha + \beta$ یک مخلوط جامد همگن است که هم شامل عنصر A هست و هم شامل B).



۸- تک:

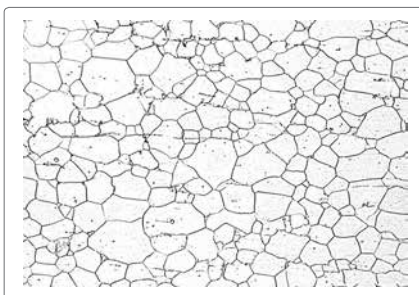
تک یک جامد پر کربن می باشد که در اثر تقطیر آهسته زغال سنگ تشکیل می شود. این ماده با عیار کربن ۸۰ تا ۹۰ به عنوان سوخت مورد استفاده قرار می گیرد و به طور گسترده به عنوان یک جایگزین برای ذغال سنگ محسوب می شود.

۹- کوره بلند:

کوره ای عمودی است که در کارخانه های ذوب فلز برای استخراج فلز، به ویژه آهن، از سنگ معدنی استفاده می شود. کوره بلند به عنوان اصیل ترین روش جداسازی آهن از سنگ آهن شمرده می شود. به همراه سنگ آهن، کک و آگلومره هم داخل کوره بلند ریخته می شود.

۱۰- فریت:

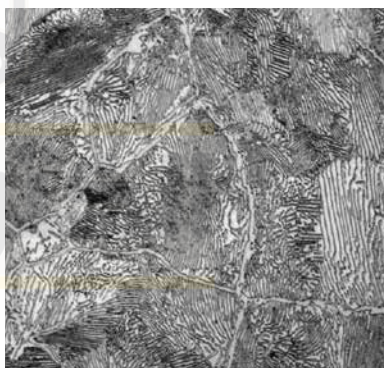
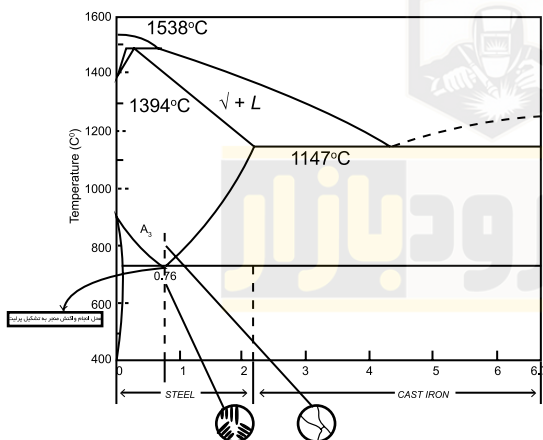
به محلول جامد از نوع بین نشینی کربن در آهن آلفا (آهن با ساختار کریستالی مکعبی با مرکز توپر) فریت گفته می شود. حداکثر غلظت کربن در فریت حدود ۰/۲ درصد وزنی و در دمای ۷۲۷ درجه سانتیگراد است.



نمایی از ریزساختار فریت

۱۱- پرلیت:

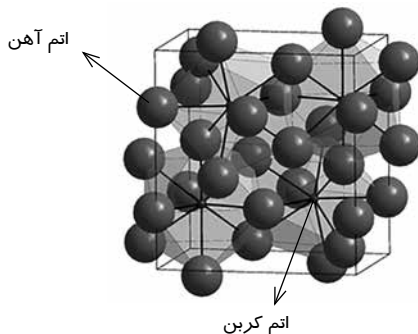
پرلیت به مخلوط فریت و سمنتیت گفته می شود. پرلیت تحت یک استحاله از آهن گاما با ۰/۸ درصد کربن در ۷۲۳ درجه سانتیگراد حاصل می شود. پرلیت در مطالعه دو بعدی با شکل راه راه خود شناخته می شود.



نمایی از ریز ساختار پرلیت (راست) - استحاله منجر به تشکیل پرلیت در نمودار آهن-کربن (چپ)

۱۲- سمانتیت:

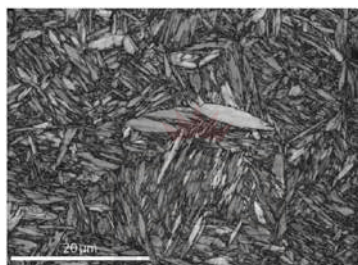
سمانتیت یا کاربید آهن یک ماده مرکب شیمیایی به فرمول شیمیایی Fe_3C دارای ۶/۶۷ درصد کربن با ساختار کریستالی به نام ارتورومبیک است. سمانتیت فازی بسیار سخت و شکننده می باشد.



نمایی از شبکه کریستالی سمانتیت

۱۳- مارتنزیت:

مارتنزیت به شکل بسیار سختی از ساختار کریستالی فولاد اطلاق می شود اما می تواند به هر ساختار بلوری که توسط استحاله ی بدون نفوذ به وجود آمده، گفته شود. مارتنزیت برخلاف سایر فازهای متالورژیکی مانند فریت که توسط حرکت آهسته نفوذی اتمها ایجاد شده اند بوسیله حرکت ناگهانی اتمها ایجاد می شود.



ریز ساختار مارتنزیت

۱۴- تنش ناشی از جوشکاری (تنش پسماند):

تنش پسماند تنشی است که پس از برداشته شدن تنش اعمالی به یک جسم جامد، در آن باقی می ماند. برای نمونه، گرمای ناشی از جوشکاری ممکن است باعث انبساط موضعی قطعه شود، و یا پس از پایان جوشکاری، ممکن است بخشی از قطعه با سرعت بیشتری سرد شود و انقباض بیشتری پیدا کنند. این پدیده منجر به ایجاد تنش پسماند محلی می شود.

۱۵- منطقه تحت تاثیر حرارت:

منطقه مجاور در حوضچه جوش را که تحت تاثیر مستقیم و غیر مستقیم حرارت ناشی از جوشکاری حوضچه جوش قرار دارد منطقه حرارت دیده یا منطقه H.A.Z گفته می شود. در این ناحیه براساس گرم و سرد شدن سریع، ضمن عملیات جوشکاری فقط ساختار فلز تغییر کرده و ترکیب شیمیایی آن بدون تغییر می ماند.

۱۶- فلز جوش :

قسمت اصلی یک قطعه جوشکاری شده که از ترکیب بخشی از فلز پایه و فلز پرکننده ایجاد می گردد. در واقع حرارت ناشی از جوشکاری باعث ترکیب شدن فلز پرکننده (الکتروود- سیم جوش و...) با بخشی از فلز پایه گردیده و منجر به تشکیل فلز جوش می شود.

۱۷- فلز پایه:

فلزی که جوشکاری بر روی آن انجام می شود. بر اثر جوشکاری ذوبی بخشی از آن با فلز پرکننده ترکیب شده و فلز جوش را ایجاد می نماید.



۱۸- خواص مکانیکی :

شامل سختی، استحکام، مدول الاستیسیته و چقرمگی شکست، رفتار خستگی و خزشی، خواصی هستند که تعیین کننده رفتار مواد در برابر نیروهای وارده هستند (جهت فهم هر یک از واژه های فوق به کتب مرجع مراجعه شود).

۱۹- چقرمگی :

در علم مواد به مقاومت مواد در برابر شکست در اثر اعمال تنش گفته می شود. چقرمگی بصورت میزان انرژی جذب شده قبل از وادادگی در واحد حجم مواد تعریف می شود. در علم مواد، چقرمگی شکست یا تافنس شکست (به انگلیسی: Fracture toughness) خاصیتی است که مقاومتی را که اجسام دارای شکاف در برابر شکست نشان می دهند توصیف می کند. این پارامتر برای همه کاربردهای طراحی جامدات مهم است و با K_{IC} نشان داده می شود. چقرمگی شکست یک روش محاسباتی برای شکست ترد است در زمانی که در ماده ترک وجود داشته باشد. اگر چقرمگی شکست یک ماده کم باشد، آن ماده به صورت ترد می شکنند و هرچه چقرمگی شکست بالاتر رود احتمال شکست نرم افزایش می یابد.

۲۰- منحنی تنش - کرنش :

منحنی تنش-کرنش (به انگلیسی: Stress-strain curve) یکی از روش های نمایش گرافیکی ارتباط تنش (نیرو بر واحد سطح) با کرنش (تغییر ابعاد ناشی از اعمال نیرو) است که از بارگذاری اجسام و اندازه گیری میزان تغییر شکل حاصل در آزمون کشش بدست می آید. شکل این منحنی به ترکیب، ریزساختار دمای آزمون، سرعت بارگذاری، نحوه بارگذاری، اندازه نمونه و شکل نمونه وابسته است.

۲۱- استحکام کششی :

مقاومت کششی نهایی یا مقاومت کششی یا کشش نهایی عبارت است از بیشینه تنش که یک جسم در هنگام کشیده شدن از طرفین، تا قبل از این که مقطع نمونه به صورت قابل توجهی باریک شود، می تواند تحمل کند. مقاومت کششی، متضاد مقاومت فشاری بوده و مقادیرشان نیز ممکن است کاملاً متفاوت باشد.

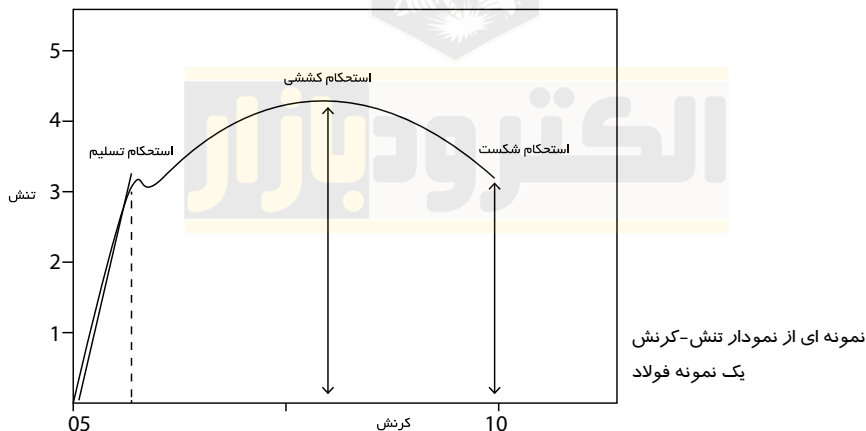
مقاومت کششی نهایی با استفاده از نتایج آزمایش کشش و ثبت میزان تنش و کرنش نمونه مورد آزمایش به دست می آید. بالاترین نقطه نمودار تنش-کرنش، همان مقاومت کششی است. میزان مقاومت کششی یک نمونه، به اندازه آن بستگی ندارد. اگرچه به عوامل دیگری همچون آمادگی نمونه، سطح نمونه و دمای محیط آزمایش و نمونه ارتباط دارد.

۲۲- استحکام تسلیم :

بیشترین مقدار تنش قابل تحمل توسط یک آلیاژ پیش از خروج از حالت الاستیک (تغییر فرم برگشت پذیر) و ورود به حالت پلاستیک (تغییر فرم برگشت ناپذیر) را تنش تسلیم گویند.

۲۳- قابلیت کشسانی :

کشسانی یا الاستیسیته (Elasticity) خاصیت تغییر شکل بازگشت پذیر (ارتجاعی) محیط و مواد است.



۲۴- استحکام ضربه پذیری :

مقاومت مواد در برابر اعمال نیروی ضربه لحظه ای که از طریق آزمونهایی چون ایزود و چارپی بدست می آید .

۲۵- تنش دینامیک:

تنشی که بصورت متناوب بر روی یک قطعه اعمال میگردد . در علم متالورژی، در بحث مقاومت به خستگی فلزات، مطالعه بر روی تنشهای دینامیکی بسیار رایج است .

۲۶- حفرات انقباضی وگازی(ریخته گری):

اکثر فلزات در هنگام انجماد دچار کاهش حجم می گردند. این کاهش حجم باید به گونه ای جبران گردد. به همین دلیل حفرات انقباضی به وجود می آیند. به وجود آمدن حفره های گازی به این صورت می باشد که گازهای محلول در مذاب در هنگام انجماد فلز از حالت اتمی به مولکولی تبدیل شده و حفره گازی به وجود می آید. وقوع این حفرات می تواند بصورت سطحی و یا در داخل قطعه ایجاد گردد.

۲۷- ناخالصی(ریخته گری):

وجود هر گونه ماده مضر در مذاب که از طرقی همچون دیواره قالب، ناخالصی مذاب و... وارد قطعه شده باشد.

۲۸- سرد جوشی(ریخته گری):

سردجوشی عبارت است از برخورد دو جبهه از فلز مذاب اکسید شده که باعث ناپیوستگی در قطعه ریخته شده می شود.

۲۹- عملیات حرارتی:

گرم کردن و سرد کردن زمان بندی شده فلزات، سرامیک ها و آلیاژها را به منظور بدست آوردن خواص مکانیکی و فیزیکی مطلوب، عملیات حرارتی می نامند. این فرآیند برای تغییر خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و به ویژه متالورژیکی مواد استفاده می شود. عملیات حرارتی برای مواد غیرفلزی مانند شیشه ها و شیشه-سرامیکها نیز بکار می رود.

۳۰- عملیات حرارتی تنش زدایی :

تنش زدایی یا تنش گیری که در اصطلاح به آن PWHT یا پسگرم نیز می گویند فرآیندی است جهت از بین بردن تنش های موجود که در عملیات و فرآیند تولید به وجود آمده است. اعمال نیرو و یا تغییرات دمایی می تواند در قطعه تنش ایجاد کند که ممکن است بسیار زیان بار باشد. این تنش ها که «تنش های پسماند» نامیده می شوند، می توانند سبب تاب برداشتن، ترک برداشتن و یا شکست زود هنگام در حین تولید یا در حین کار شوند. هدف از عملیات تنش گیری آن نیست که تغییرات عمده ای در خواص مکانیکی قطعه اتفاق بیفتد. از عوامل تشکیل چنین تنش هایی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- وجود شیب حرارتی یا درواقع عدم سرد شدن یکنواخت قطعه
- ماشینکاری و کارسرد

۳۱- عملیات حرارتی آنیل :

آنیل بازپخت کامل (به انگلیسی: Annealing) یا آنیلینگ یا آنیل کردن کامل، حرارت دادن فولاد در درجه حرارت مناسب برای تبدیل کامل به آستنیت و سپس سرد کردن آهسته، ترجیحاً در کوره می باشد. آنیل کردن کامل عمدتاً به منظور نرم کردن فولادها قبل از عملیات شکل دادن به منظور ریز کردن دانه های ساختار صورت می گیرد. آنیل کردن شامل تغییر خواص فولادها بعد از عملیات حرارتی می باشد و به چند نوع آنیل کامل، آنیل ناقص و... تقسیم می شود. در آنیل کردن، فولاد را تا دماهای مختلف بسته به نوع فولاد گرم کرده و مدتی در این دما نگهداری می کنند و سپس سرد می کنند. این کار باعث افزایش استحکام و چقرمگی و بالا رفتن نقطه تسلیم فلز آنیل شده می شود.

۳۲- سختی :

سختی (به انگلیسی: Hardness) یکی از معیارهای مقاومت مواد جامد در برابر تغییر شکل پلاستیک است. سختی معادل واژه Hardness در زبان انگلیسی است و با سختی stiffness در زبان انگلیسی تفاوت دارد.

Hardness به معنای سختی شیمیایی یک ماده است و عاملی شیمیایی می باشد که ناشی از ترکیب بندی و فرمول شیمیایی ماده و از خواص و ذات یک ماده می باشد. اما stiffness به معنای سختی فیزیکی است و درمورد یک ماده به کار نمی رود و مربوط به یک جسم یا المان یا مازول است و با شکل سطح مقطع و طول جسم و دیگر پارامترهای فیزیکی و همچنین مدول الاستیسیته در ارتباط است.

معیارها و آزمونهای مختلفی برای سختی شیمیایی مواد وجود دارد اما تمام آنها از مقاومت ماده در برابر یک فرورونده یا خراشنده با اعمال نیروی مشخص بر ابزاری با شعاع یا قطر مشخص، سختی ماده را ارزیابی می کنند.

۳۳- حوضچه مذاب :

در فرآیند جوشکاری ذوبی در هنگام ذوب شدن هم زمان فلز پرکننده (سیم جوش و الکتروود و...) و فلز پایه منطقه ای ایجاد می گردد که در حالت مذاب قرار داشته و با طی کردن فرآیند انجماد به فاز جامد می رسد و فلز جوش را ایجاد می کند. به این منطقه تا هنگامی که همچنان در حالت مایع قرار دارد حوضچه مذاب گویند .

۳۴- تنش ناشی از انجماد حوضچه مذاب :

در فرآیند جوشکاری ذوبی همواره پس از انجماد، فلز جوش به دلیل تغییر از فاز مایع به جامد دچار انقباض می گردد و این اتفاق منجر به ایجاد تنش در قطعه و به عنوان علتی جهت وقوع ترک گرم شناخته می شود.

۳۵- تردی هیدروژنی :

تردی هیدروژنی (به انگلیسی: Hydrogen Embrittlement) پدیده ای است که در فولادهای با استحکام بالا دیده می شود و در اثر آن استحکام کششی فولاد کاهش زیادی می یابد. حلالیت هیدروژن در ساختار بلوری (FCC) بیشتر از (BCC) است. از این رو اگر بدلالی مانند جوشکاری یا عملیات گرمایی، فولاد وارد منطقه آستنیت که ساختارش (FCC) است شود، هیدروژن زیادی می تواند در آن حل گردیده و پس از سرمایش و تبدیل ساختار به (BCC)، هیدروژن از حلالیت خارج شده و به مرز دانه می رود که این مسئله به دلیل ایجاد تمرکز تنش در مرز دانه ها تردی ایجاد خواهد کرد. عنصرهای آلیاژی نیز می توانند با هیدروژن در مرز دانه ترکیب شده و فاز ترد ایجاد کنند.

۳۶- تمرکز تنش:

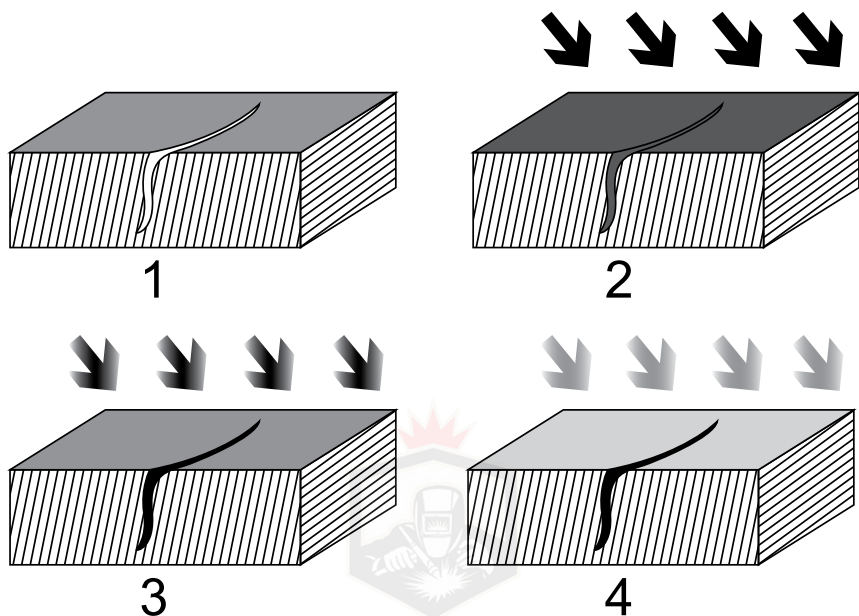
محل تمرکز تنش در یک جسم، موقعیتی است که شدت تنش در آن بیشتر از تنش متوسط توزیع شده در سرتاسر قطعه باشد. وجود ناپیوستگی های هندسی در یک جسم مانند ترک، گوشه های تیز، تغییر سطح مقطع، سوراخ و یا حتی تغییر در جنس ماده می تواند عامل ایجاد تمرکز تنش در یک بارگذاری شود. اگر مقدار این تنش از استحکام شکست تئوری تعیین شده برای ماده موردنظر بیشتر شود، ماده دچار شکست می شود.

۳۷- وقوع ترک در حین انجماد در جوشکاری :

ترک گرم در جوشکاری یک ناپیوستگی از نوع شکست است که حین انجماد فلز جوش یا سرد شدن آن در منطقه متأثر از حرارت رخ می دهد. بر اساس محل و دماهای تشکیل آن دارای سه نوع ترک انجمادی (Crack Solidification)، ترک ذوبی (Crack Liquation) و ترک افت انعطاف پذیری (DDC) است.

۳۸- آزمون مایعات نافذ :

آزمون مایعات نافذ (به انگلیسی: Dye penetrant inspection) یکی از روشهای آزمونهای غیر مخرب است. در این روش سطح قطعه با مایعی رنگی قابل مشاهده یا فلورسنت پوشیده می شود. پس از مدتی این مایع در درون شکافها و حفره های سطحی قطعه نفوذ می کند. پس از آن مایع از سطح جسم زدوده می شود و ماده ظاهر کننده به روی سطح پاشیده می شود. اختلاف روشنایی مایع نافذ و ظاهر کننده باعث می شود که عیوب سطحی به راحتی مشاهده شوند (جهت شناخت سایر روشهای بازرسی غیر مخرب به کتب مرجع مراجعه شود).



۱. سطح قطعه دارای ترک غیر قابل مشاهده با چشم غیر مسلح.

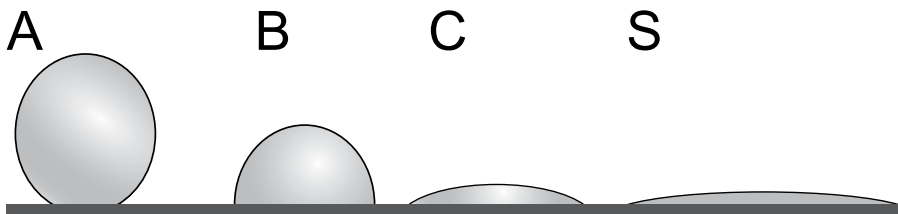
۲. سطح قطعه با مایع نافذ پوشیده شده.

۳. مایع از سطح جسم زدوده شده است.

۴. ماده ظاهر کننده به روی سطح پاشیده شده است.

۳۹- قابلیت ترشوندگی:

ترشوندگی (انگلیسی: Wettability) توانایی یک مایع در برقراری تماس با سطح جامد است و ناشی از نیروهای بین مولکولی می باشد. درجه ترشوندگی از تعادل میان نیروهای پیوستگی و چسبندگی تعیین می شود. تر شدن تمایل به کسب حداکثر سطح تماس برای یک مایع با سطح جامد خود است. در علم مهندسی جوش همواره جهت ایجاد فلز جوش با کیفیت، لازم است ترشوندگی حوضچه مذاب با فلز پایه در مقدار مطلوبی قرار داشته باشد.



A: ترشوندگی بسیار کم B: ترشوندگی متوسط C: ترشوندگی بالا S: ترشوندگی بسیار بالا

۴۰- گویچنگ:

گویچنگ در واقع ایجاد قوس الکتریکی بین قطعه کار و الکترود است که هدف آن برشکاری یا ذوب قسمتی از فلز پایه می باشد.

۴۱- حرارت ورودی در حین جوشکاری:

حرارت ورودی در حین جوشکاری (به انگلیسی heat input) میزان انرژی گرمایی وارد شده به محل جوشکاری می باشد که توسط پارامترهای کلیدی مانند آمپر، ولتاژ، سرعت و... قابل تغییر است. در این رابطه فرمولهای متعددی بیان گردیده است (جهت اطلاعات بیشتر به کتب مرجع مراجعه شود).

۴۲- ترتیب صحیح اجرای پاسهای جوشکاری (اصل توالی پاسهای جوش):

منظور از ترتیب صحیح اجرای پاسهای جوشکاری، ایجاد پاسهای فلز جوش به نحوی است که حرارت توزین شده ناشی از جوشکاری در قطعه بصورت یکنواخت و بدون هرگونه شوک حرارتی ایجاد گردد.