جوشکاری چدن

Welding Cast Iron

مقدمه:

اولین قدم در انتخاب نوع فرایند جوشکاری و مواد مصرفی جوش برای جوشکاری چدن مشخص نمودن نوع چدن و درجه آن است.

مطالب این کتاب شامل همه انواع چدنهایی که در بازار وجود دارد نمی شود (جدول شماره یک)، اما اکثر چدنها از جمله چدن خاکستری، چدن نرم یا داکتیل چدن چکش خوار یا مالیبد، چدن سفید و چدن باگرافیت فشرده را پوشش می دهد.

چدن را می توان به عنوان یک آلیاژ برجسته از عناصر آهن، کربن و سیلیکون در نظر گرفت. از نظر تجاری کلیه فلزات شامل عنصر منگنز و شاید آلیاژی از نیکل، کرم، مس، مولیبدن، قلع، آنتیوان، وانادیوم و همچنین بعضی از عناصر دیگر که هم به صورت جداگانه و هم بصورت ترکیبی می توانند در فرایند تولید به این فلزات اضافه شوند.

چدن با افزودن مقدار زیادی کربن به یک ساختار فولاد اوستنیت تولید می شود. در حین انجماد یک بخش از این کربن اضافی از فلزات مذاب به صورت کاربید آهن[1] و یا به صورت گرافیت جدا شده و شکل می گیرد. فرمی که کربن به خود می گیرد توسط سرعت سرد شدن تعیین می گردد. بدین معنی که اگر سرعت سرد شدن مذاب زیاد و سریع باشد، کربن بصورت کاربید آهن خواهد بود و در صورتی که سرعت سرد شدن آرام و آهسته باشد کربن بصورت گرافیت (پولک)[2] خواهد بود.

1- ترکیب دوتایی عنصر کربن یا یک عنصر که دارای بار الکتریکی مثبت تر است.

2- کربن آزاد ترکیب نشده با فلز که میتواند به صورت میله یا صفات گرافینی باشد.

3- Wps

نوع کربن موجود و شکل و ترکیب آن تعیین کننده نوع و خصوصا خواص چدن خواهد بود. این خواص در هنگام تهیه یک دستورالعمل جوشکاری[1] بسیار مهم خواهند بود.

در شکل شماره یک شما دیاگرامی مشاهده می کنید که در آن ساختار انواع چدنهای تجاری و معمول را نشان می دهد در این دیاگرام همچنین عملیاتی که برای ساخت و تهیه این چدنها مورد نیاز است نشان داده شده است.

Table 1 Classification of cast iron by commercial designation, microstructure, and fracture

Commercial designation	Carbon-rich phase	Matrix(a)	Fracture	Final structure after
Gray iron	Lamellar graphite	P	Gray	Solidification
Ductile iron	Spheroidal graphite	F, P, A	Silver-gray	Solidification or heat treatment
Compacted graphite iron	Compacted vermicular graphite	F, P	Gray	Solidification
White iron	Fe_3C	P, M	White	Solidification and heat treatment(b)
Mottled iron	Lamellar Gr + Fe_3C	P	Mottled	Solidification
Malleable iron	Temper graphite	F, P	Silver-gray	Heat treatment
Austempered ductile iron	Spheroidal graphite	At	Silver-gray	Heat treatment

(a) F, ferrite; P, pearlite; A, austenite; M, martensite; At, austempered (bainite). (b) White irons are not usually heat treated, except for stress relief and to continue austenite transformation.

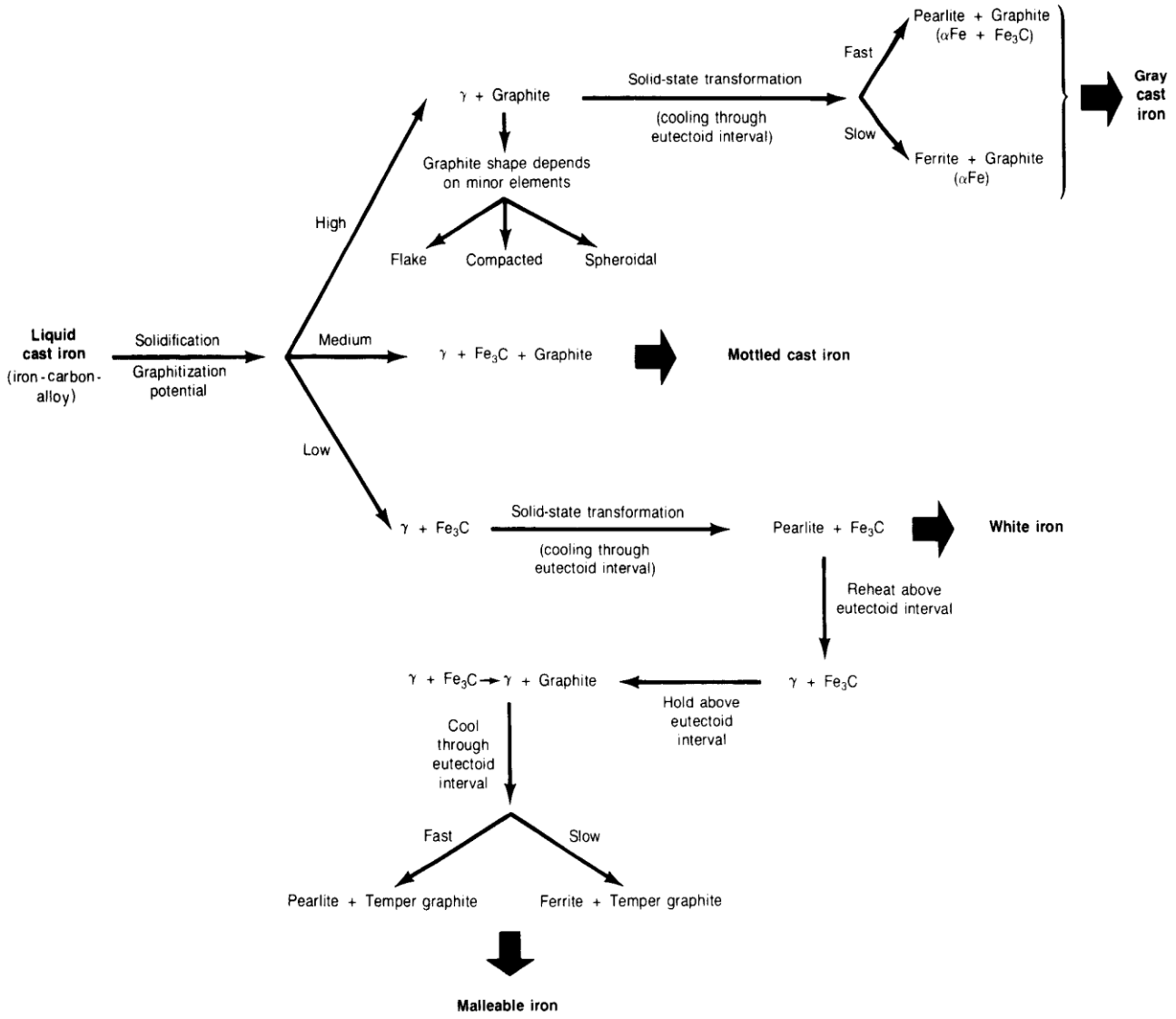


Fig. 1 Flowchart showing basic microstructures and processing steps required to obtain common commercial cast irons

طبقه بندی چدنها

از نظر تاریخی اولین طبقه بندی که برای چدن ها صورت گرفت بر اساس شکست در آنها بود و در ابتدا دو نوع چدن را معرفی نمودند.

1- چدن سفید (white Iron)

2- چدن خاکستری (Gray Iron)

1- چدن سفید: سطح شکسته شده این چدن دارای کریستال با یک درخشندگی خاص است زیرا شکست در طول صفحات کاربید آهن رخ می دهد و این در اثر و نتیجه ثبات کم در عمل انجماد است. (Fe_3CEutectic)[1]

2- *

2- چدن خاکستری: سطح شکسته شده این چدن به رنگ خاکستری است، زیرا عمل شکست در طول صفحات گرافیت رخ میدهد. واین در نتیجه ثبات و پایداری کم در هنگام انجماد است. (GR Eutectic)

با پیشرفت علم و ورود متالوگرافی در صنعت و همچنین افزایش دانش مربوط به خصوصیات چدن، دسته بندی های دیگری بر اساس این خصوصیات و نوع ساختار میکروسکوپی امکان پذیر گردید.

طبقه بندی بر اساس شکل گرافیت:

- گرافیت لایه لایه ای (پولکی)[1]
- گرافیت کروی شکل[2]
- گرافیت فشرده (متراکم)[3]
- گرافیت حرارتی[4]

که در نتیجه یک واکنش در حالت جامد بوجود می آید (پس از گرم نمودن و تاب کاری همراه با سرد کردن آرام بعضی از کربن های ترکیب در چدن سفید به گرافیت تبدیل می شود و در بعضی موارد نیز کاملا از آهن جدا می شود)

طبقه بندی بر اساس فازها (**Matrix**)

- فرینی
- پرلینی
- اربستینی
- مارفیزیتی
- بینات (بینات تغیرات فیزیکی است که در اوسنیت برای ایجاد آن صورت می گیرد)

معمولا در طبقه ریخته گران بندرت از طبقه بندی فوق استفاده می شود و معمولا دو نوع طبقه بندی است که بیشترین کاربرد را دارد.

چدن های معمولی (**Common Cast Iron**)

1- Lamellar (flake)
2- Spheroidal
3- Compacted
4- Temper Graphite

این نوع چدن برای کاربردهای عمومی است و ممکن است غیر آلیاژی و یا با مقدار آلیاژ کم باشد (آلیاژ سبک)

چدن های خاص (**Special Cast Iron**)

این نوع برای موارد خاص کاربرد دارد و عموما آلیاژ بالایی دارند. (آلیاژ سنگین)

ارتباط میان طبقه بندی تجاری و طبقه بندی ریز ساختاری نهایتا مطابق با جدول شماره یک آخرین طبقه بندی را برای چدن های معمولی ارائه می دهد چدن های خاص با چدن های معمولی دارای یک تفاوت اساسی در مقدار درصد عناصر آلیاژی (بیش از 3%) هستند.

مقادیر بالای آلیاژ که باعث افزایش خواص ریز ساختاری می گردد برای کاربرد چدن در درجه حرارت های بالا مناسب است و علاوه بر آن می تواند باعث افزایش مقاومت به خوردگی و مقاومت به سایش نیز گردند.

در این قسمت به معرفی انواع چدن های معمولی که در صنعت مورد استفاده است می پردازیم.

1- چدن خاکستری
2- چدن سفید
3- چدن چکش خوار یا مالیبل
4- چدن انعطاف پذیر یا داکتیل
5- چدن با گرافیت فشرده

1- چدن خاکستری

این چدن بیشترین کاربرد را در بین چدن ها دارد. کربن اضافی موجود در آن بصورت صفحه های گرافیتی (پولک) است. مقاومت مکانیکی آن متوسط و قابلیت ماشین کاری و براده برداری آن عالی است اما انعطاف پذیری و نرمی آن کم است.

این نوع چدن دارای 4-2 درصد کربن و 3-1 درصد سیلسیوم و حدود 1 درصد منگنز و مقاومت کششی بالای 275 مگا پاسکال یا 40 براینچ مربع می باشد.

خصوصیات و ساختار چدن خاکستری را می توان با افزایش مقدار عناصر آلیاژی آن تغییر داد. مقاومت کششی آن را می توان به بیش از 550 مگا پاسکال یا 80 پوند بر اینچ مربع افزایش داد.

با توجه به این سیستمهای آلیاژی مختلف و متغییر در هنگام جوشکاری نیاز به یک wps یا دستورالعمل جوشکاری خاص خواهیم داشت بایستی توجه نمود که افزایش عناصر آلیاژی به چدن خاکستری می تواند باعث عدم جوش پذیری آن گردد.

2- چدن سفید

در هنگام انجماد مذاب فلز در صورتی که سرعت سرد شدن افزایش یابد کربن اضافی به حالت ناپایداری کاربید آهن باقی می مانند این آلیاژ به چدن سفید معروف است. به علت وجود مقدار زیادی از این ترکیب بین فلزی است که باعث می گردد چدن سفید بسیار شکننده و همین کاهش عمده در نرمی و جوش پذیری آن به وجود آید.

ساختار کاربید آهن باعث بهبود سختی و مقاومت در برابر سایش چدن می گردد. در صورت افزایش مقدار درصد کاربید آهن (اغلب به سهنتیک معروف است) آلیاژ نهایی مستعد به ترک و همچنین کاهش جوش پذیری آن خواهد شد.

چدن سفید شامل 2/5-3/8 درصد کربن و 0/2-2/8 درصد سلسیوم و مقدار زیادی حدود 5/5 درصد شکل و 30 درصد گرم و 6/5 درصد مولیبدن و چنانچه به منظور مقاومت در برابر سایش طراحی شده باشد30 درصد منگنز می باشد مقاومت کششی آن می تواند بین 620-160 مگا پاسکال یا 90-23 پوند بر اینچ مربع متغییر باشد

3-چدن چکش خوار یا نرم (**malleable**)

چدن سفید را اگر تحت یک عملیات حرارتی مناسب قرار دهیم می تواند به یک حالت نرم برسد. این فرم انعطاف پذیر از چدن چکش خوار یا مالیبل معروف است .

کاربید آهن موجود در چدن در هنگامی که در یک درجه حرارت بالای عملیات آنیل بین 750 درجه سانتیگراد و به مدت 6 ساعت قرارگیرد می تواند تجزیه شود. در این حالت دانه های گرافیت کروی بطور نامنظم در شبکه جامد آهن شکل می گیرد.

در صورتی که هوای داخل کوره قابلیت اکسید نمودن را داشته باشد مقداری از این کربنها اکسید خواهند شد و چدن تولید خواهد شد که به آن چدن چکش خوار با قابلیت جوشکاری خوب گویند.
در صورتی که هوای داخل کوره یک هوای طبیعی باشد، تمام مقادیر کربن موجود باقی مانده و فلز تیره رنگی را بوجود می آورد که غیر قابل جوشکاری است و به آن چدن مالیبل یا چکش خوار سیاه گویند. چدن مالیبل یا چکش خوار شامل 2/8-2 درصد کربن و 1/7 درصد سیلسیم می باشد و مقاومت کششی آن می تواند در یک محدوده 620-310 مگاپاسکال یا 90-45 پوند بر اینچ مربع قرار گیرد و افزایش طول آن در اثر نیرو 20-2 درصد باشد.

4-چدن نرم یا داکتیل (**DUCTILE**)

با افزودن عناصر آلیاژی که باعث گره دار شدن چدن شوند مانند منگنز یا خاک های کمیاب بجای پولک جامد کربن شکل گلوله های کوچک می شوند و شکل گرافیت ها به شکل گلوله و یا کروی در می آیند که باعث کاهش وقفه در ادامه شبکه فلزی می گردد. این روش مطلوب ترین حالت برای زمانی است که به منظور دستیابی به خواص مکانیکی بخواهیم گرافیت را در سطح چدن پراکنده نماییم. چدن نرم یا داکتیل در میان انواع چدنها بیشترین مقاومت و نرمی را دارد. چدن نرم همچنین مزیت و قابلیت ماشین کاری چدن خاکستری و مقاومت بالا چقرمگی نرمی، قابلیت کار گرم و سختی پذیرش فولاد را نیز دارد.
چدن گرم یا داکتیل که معروف به گرافیت کروی یا چدن گره دار نیز می باشد دارای 4-3 درصد کربن و 1/8-2/8 درصد سیلسیم و حداکثر 0/7 درصد منگنز می باشد. مقدار زیاد منگنز در صورتی که خواص ضربه ای مهم باشد در برخی موارد می تواند این خاصیت را کاهش دهد. منگنز در ناحیه H-A-Z تاثیر خواهد گذاشت بنابراین در بعضی مواقع مقدار درصد آن را کاهش می دهند. مقدار مقاومت کششی چدن نرم بین 830-415 مگاپاکسال یا 120-60 پوند بر اینچ مربع می باشد. اضافه نمودن عناصر آلیاژی در بعضی از موارد باعث بهبود مقاومت به حرارت و خوردگی در چدن نرم می گردد. مقادیر این عناصرآلیاژی می تواند حدود 3-2 درصد

کربن، 6-1 درصد سیلسیم، 2/4 درصد منگنز، 36-18 درصد نیکل و حداکثر 5/5 درصد کرم باشند.
شبکه چدن نرم داکتیل می تواند بوسیله انجام عملیات حرارتی و تغییرعناصرآلیاژی و نحوه عملیات ریخته گری تغییر نماید.
نوع معمول این چدنها به نام چدن 12-45-65 است که این نامگذاری به معنای زیر است:
حداقل مقاومت کششی برابر با 450 مگا پاسکال یا 65 کیلو پوند بر اینچ مربع
حداقل مقاومت تسلیم برابربا 310 مگا پاسکال یا 45 کیلو پوند بر اینچ مربع
حداکثر افزایش طول برابر با 12 درصد
اگر این چدن که دارای ساختار پرلیتی 20-10 درصد می باشد آنیل شود، نوع ساختار فریتی خواهد شد و به چدن 18-60-40 تبدیل خواهد شد.
بسیاری از چدن های مختلف با مقاومت های بالاتر نیز می توانند تولید شوند بطور کلی در صورتی که مقاومت چدن افزایش یابد تشکلاتی را ایجاد خواهند نمود که در هنگام جوشکاری آنها به خوبی قابل احساس است.

6-چدن با گرافیت فشرده : Compacted Graphite

چدن با گرافیت فشرده یا کرمی شکل دارای ساختار خواصی بین چدن خاکستری و چدن نرم یا داکتیل است.
فرم به هم پیوسته گرافیت پولکی چدن گرافیتی را به وجود می آورد با این تفاوت که پولک های این چدن مقداری ضخیم تر است چدن گرافیت فشرده دارای خاصیت (چکش خواری) ضربه پذیری، و ماشین کاری بهتر نسبت به چدن نرم یا داکتیل است و نرمی آن نیز بهبود یافته است.

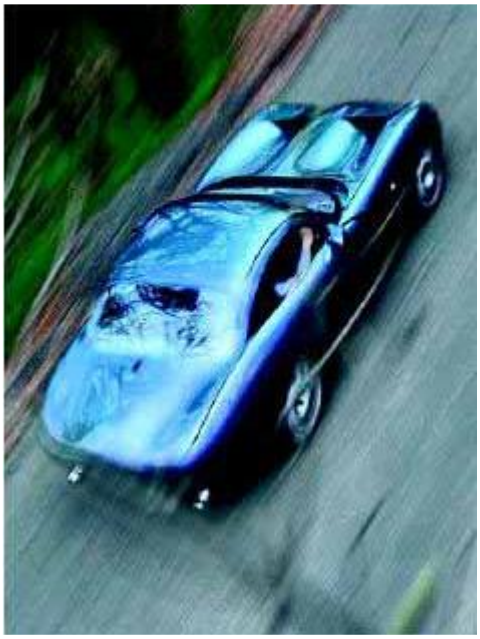
چدنهای داکتیل آستمپر شده:

این نوع چدنها از انواع چدنهای داکتیل می با شد که دارای ساختار زمینه جدیدی بنام آسفریت**(Ausferrite)** است.این ساختار زمینه دارای خواص بسیار مطلوبی است که در ساختارهای زمینه معمول در چدنها(فریت وپرلیت ومارتنزیت تمپر شده) این خواص مشاهده نمی شود. به همین هت

این نوع چدنهای داکتیل تحت عنوان جدیدی (چدنهای داکتیل آستمپر شده ADI Austempered Ductile Iron)نامگذاری شده اند وشماره های استاندارد مخصوصی (گرید 1تا 5)را به خود اختصاص داده اند لازم به ذکر است که ساختار زمینه آسفریت تنها در چدنهای داکتیل وخاکستری قابل دستیابی است.

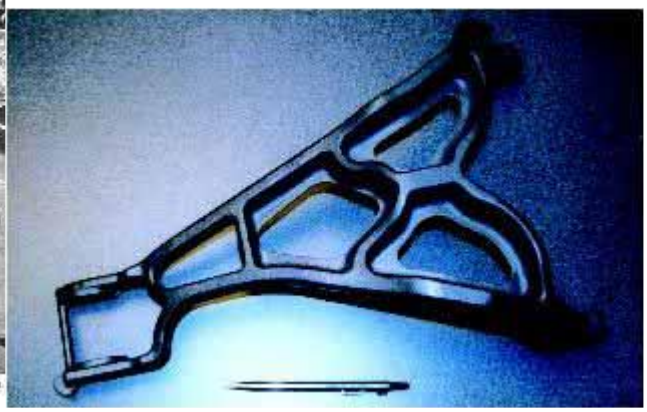
چدنهای داکتیل آسفریت شده (**ASI**) **Austempered Ductile Iron :**

علت اصلی این افزایش فوق العاده خواص ریشه در حضور زمینه FCCهمراه با توزیع تیغه های ریز فریت در آن را دارد. گرید های ASTM نشان دهنده حداقل استحکام کشش وداکتیلیتی می باشند و منطقه خاکستری تیره تر نشان داده شده در منطقه بالای گریدهای تعیین شده در استاندارد خواص قابل دست یابی در این نوع چدن ها را نشان میدهد.واضح است که چدنهای ADI فرصت های جدیدی را برای کاربرد در چدنهای داکتیل ایاد میکند. در حقیقت چدنهای ADI با توجه به استحکام و داکتیلیتی بالا در بسیاری کاربردها رقیب فولاد های فورج شده وفولادهای ریختگی شده اند. واین موضوع یاعث افزایش مصرف روز افزون این نوع چدنها گردیده است.



میل لنگ ماشین اسپورت tvr از جنس چدن نشکن استمپر شده

ماشین اسپورتtvr شش دنده با میل لنگ با چدن داکتیل استمپر شده



محور تعلیق ماشین کبرای موستنگ فورد از جنس چدن داکتیل استمپر شده

محور تعلیق کامیون تریلی از جنس چدن داکتیل استمپر شده

نحوه عملیات حرارتی (روش تولید)چدن:

ریخته گری چدنهای ADI مشابه ریخته گری چدنهای داکتیل می باشد. پس از ریخته گری چدن ها تحت عملیات حرارتی آستمپرینگ که شامل حرارت دادن در دمای استنیته وسپس کوانچ کردن در مذاب حمام نمک میباشد قرار می گیرند تا تحول تبدیل استنیت به آسفریت (مخلوط فریت و آستنیت) انجام پذیر وساختار زمینه مطلوب بدست می آید.برای درک بهتر این عملیات حرارتی وشناخت پارامترهای آن توضیحاتی در این

زمینه ارایه میشود .به این منظور یک دیاگرام ITT بصورت شماتیک در شکل زیر نشان داده شده است .چدن داکتیل در دمای Ty که در حدود 840 تا 950 درجه سانتیگراد است آستنیته میشود ودر دمای TA (230تا400 درجه سانتیگراد) آستمپر میگردد. چهار مرحله طی این عملیات حرارتی وجود دارد
که بصورت شماتیک در شکل نیز نشان داده شده است ودر زیر توضیح داده می شود.

مرحله اول – آستنیته کردن چدن در طول زمان مشخصی که تمام زمینه آستنیتی شود وکربن نیز بصورت هموژن در آن توزیع گردد. زمان مناسب نگهداری در دمای آستنیته یک ساعت برای هر اینچ)2.5سانتیمتر(ضخامت می باشد. دمای آستنیته به ترکیب شیمیایی چدن بستگی دارد.

مرحله دوم- سرد کردن تا دمای آستمپرینگ با سرعتی که دماغه پرلیت را قطع نکند . این امر بوسیله کوانچ کردن در حمام مذاب حاصل میگردد. در ضخامت های زیاد ضروری است که عناصری مثل مس ونیکل و مولیبدن به ترکیب اضافه گردد. افزودن این عناصر باعث انتقال دیاگرام ITT به سمت راست میگردد واجازه نمی دهد که پرلیت در ساختار ایجاد گردد.

مرحله سوم- نگهداری چدن در دمای آستمپرینگ می باشد تا اینکه تحول تبدیل آستنیت به آسفریت انجام شده وتکمیل گردد.

مرحله چهارم - سرد کردن تا دمای محیط. در این مرحله لزومی به سریع سرد کردن نمی باشد . بیشتر بایستی توجه داشت که قطعه بصورت یکنواخت سرد شود تا در آن تنش های پسماند به حداقل برسد.

جوش پذیری (**weld ability**)

بسیاری از خواص ماشین کاری و ساختاری مناسب را می توان از یک چدن بدست آورد. بنابراین گستره وسیعی برای جوش پذیری اعضا وجود دارد چدن سفید معمولا به عنوان یک چدن غیر قابل جوشکاری شناخته می شود. در صورتی که چدن نرم برای جوشکاری عموما از چدن خاکستری راحت تر است در هنگام جوشکاری چدن طیف کاملی از شیب حرارتی در ناحیه جوش و ناحیه متاثر از حرارت وجود دارد که می تواند باعث ایجاد ساختار و خواص مختلف بسیاری در آن گردد.

ساختارهای مختلف را در نواحی و مناطق مختلف شکل شماره 2 نشان داده شده است.

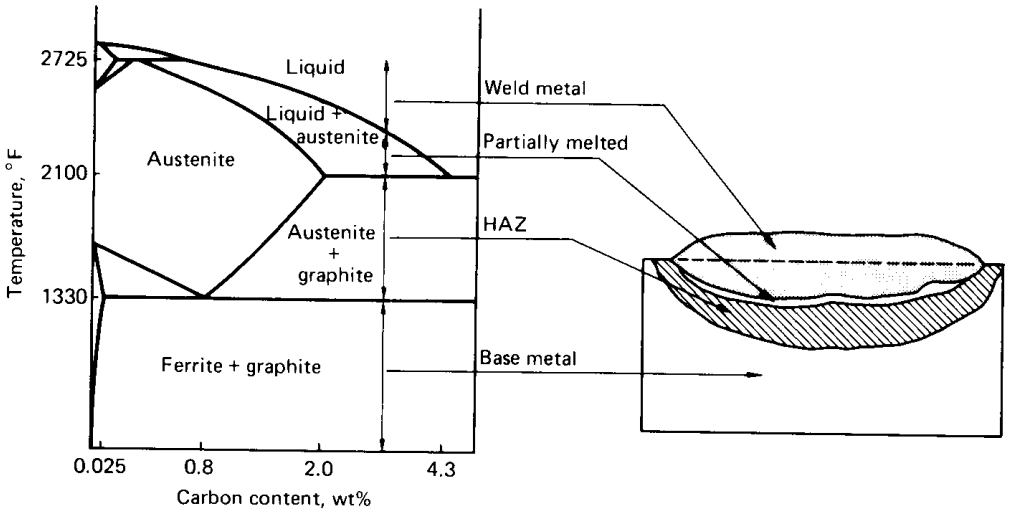


Fig. 2 Schematic representation of the temperature zones in a typical cast iron welding

ماهیت و مقادیر اندازه مربوط به این نواحی بوسیله حرارت ایجاد شده در هنگام جوشکاری، ترکیب شیمیایی چدن و مواد جوشکاری مصرفی تعیین می گردد.

در اینجا برای تفهیم بهتر هر منطقه از جوش را بطور جداگانه توضیح خواهیم داد و تاثیر یک دستورالعمل جوشکاری را که چگونه می تواند روی جوش تاثیر گذار باشد ملاحضه خواهید نمود.

منطقه متاثر از حرارت: **HAZ**

فرایند های جوشکاری با ماهیتشان وقتی که با روشهای ریخته گری مقایسه می شوند بوسیله سرعت سرد شدن آنها را توصیف می نمایند. بنابراین با مطالعه مقاطع یک چدن می توان خواص یک جوش را بررسی نمود و به خوبی می توان نشان داد که در مقاطع مختلف بدلیل وجود درجه حرارت های مختلف نواحی H.A.Z نیز متفاوت است.

در هنگام عملیات جوشکاری کربن می تواند در درون اوتسنیت نفوذ نماید و در هنگام سرد شدن این فاز اوتسنیت می تواند به مارتنزیت تبدیل شود این ساختار مارتنزیتی بسیار ترد و شکننده و مستعد به ترک است.

مقدار درصد مارتنزیت بستگی به ترکیب شیمیایی چدن و سوابق عملیات حرارتی آن دارد.

ساختار شکننده مارتنزیت می تواند بوسیله عملیات حرارتی که توسط دمای پیش گرم و کنترل دمای بین پاسی در جوشکاری چند پاسه (یعنی جوشکاری مستقیم و بدون حرکت عرضی دست) و یا بوسیله عملیات حرارتی پس از جوشکاری (PWHT) اصلاح نمود.

ناحیه ذوب جزئی: **(THE PARTIALLY MELTED REGION)**

این ناحیه بعد از ناحیه H-A-Z بوده و جائیست که حرارت به مقدار کافی برای ذوب موضعی فلز پایه وجود دارد. به عبارت دیگر این ناحیه نزدیک خط ذوب (FUSION LINE) یا مرز بین فلز ذوب شده و فلز پایه ذوب نشده است این ناحیه حساس ترین ناحیه جوشکاری است چون به محض پایان عملیات جوش و سرد شدن این ناحیه منجمد شده و تشکیل چدن سفید را می دهد (یعنی چون به مقدار کافی در یک درجه حرارت بالا به منظور انحلال کربن در آن باقی می ماند و بعد سریع سرد می شود).

مطالعه این ناحیه از جوش و ساختار آن بسیار پیچیده است و ممکن است شامل تعداد زیادی از ساختارهای مختلف باشد. در صورتی که در هنگام جوشکاری مقدار گرافیت حاضر زیاد و به مقدار کافی باشد ممکن است به صورت یک فاز مذاب به هم پیوسته شکل گرفته که این همان شبکه کاربیدی خواهد بود و می تواند در جوشکاری شکلاتی را ایجاد نماید.

ناحیه ذوب جزیی دارای سختی نسبتا بالایی است بنابراین این ناحیه را به عنوان سخت ترین ناحیه جوش می شناسند. سختی بالا و در نتیجه ایجاد چقرمگی پایین این ناحیه را برای بسیاری از مشکلات مکانیکی که در هنگام جوشکاری چدن تجربه شده است مستعد می سازد. بهترین راه برای پیشگیری و کاهش ترک های ناشی از سختی به حداقل رساندن درجه حرارت ورودی و مدت زمان قرارگیری در این درجه حرارت است برای این منظور می توان با کنترل حرارت ورودی انجام عملیات پیشگرم مناسب و کنترل درجه حرارت بین پاسی و همچنین انتخاب فلز پر کننده مناسب به این مهم دست یافت.

استفاده از یک فلز پر کننده با نقطه ذوب پایین تر به کاهش درجه حرارت مربوط به ناحیه ذوب موضعی کمک خواهد کرد. در صورتیکه برای یک جوش با یک ناحیه کوچک از یک حرارت ورودی بالا استفاده شود ممکن است باعث بالا رفتن درجه حرارت فلز پایه و ایجاد مشکل در ناحیه خط ذوب گردد. این مطلب زمانی شدیدتر خواهد بود که عملیات پیش گرم هم به کار نرفته باشد.

اگر از طرفی دیگر عملیات پیشگرم بالایی برای جلوگیری از تشکیل فاز مارتنزیت در ناحیه HAZ و تنش زدایی به کار رود ترک هایی مربوط به خط ذوب می تواند حتی با یک حرارت ورودی پایین رخ دهد. بنابراین ممکن است روش های مناسب آزمایش و خطا برای تعیین درجه حرارت پیشگرم لازم به نظر رسد. تهیه یک WPS یا دستورالعمل جوشکاری که بتواند هم به شرایط ناحیه ذوب جزئی و ناحیه H.A.Z توجه نماید می تواند باعث ایجاد یک جوش موفق گردد.

ناحیه ذوب:

خصوصیات و ساختار ناحیه ذوب بوسیله مواد جوشکاری بکار رفته تعیین خواهد شد.

این ناحیه بوسیله مذاب فلز پر کننده جوش و همچنین مقداری از مذاب فلز پایه یا چدن تشکیل می گردد.

بدلیل اغتشاش حوضچه جوش، فلز جوشی که رسوب داده می شود دارای یک ترکیب نسبتا غیر یکنواخت می باشد.

در جوشکاری چدن بایستی همه تلاش و کوشش بر این باشد که مقدار درصد رقت کاهش یابد.

تعیین و شناسایی نوع چدن:

بسیار مهم است که بدانیم چه نوع چدنی قرار است جوشکاری شود و پس از شناسایی بایستی بخوبی آنرا شناخت. این مهم به منظور دستیابی به یک جوش سالم می باشد. در صورتی که نوع چدن مشخص نباشد لازم است اقدامات لازم جهت شناسایی آن صورت گیرد و اطلاعاتی از آن بدست آید.

اطلاعات مربوط به سازنده چدن می تواند در این زمینه موثر باشد. در صورت وجود عدم اطلاعات سازنده چدن می توان با قرار دادن قطعه نمونه در زیر میکرسکوپ و از طریق متالوژیکی می توان ساختار آن را شناسایی نمود.

بعضی از انواع چدن هایی که امروزه در دسترس هستند شناسایی آنها مشکل و نیاز به تجربه زیاد برای تشخیص آنها می باشد.

به منظور دسته بندی چدن ها اطلاعات مربوط به نوع آنالیز شیمیایی و مقدار سختی آنها می تواند کمک خوبی نماید.

در صورتی که کلیه اقدامات انجام شده جهت شناسایی نوع چدن ناموفق باشد بایستی بطور فرضی چدن را خاکستری در نظر گرفت و پیش بینی های لازم را برای این شرایط در نظر گرفت.

جوش پذیری چدن:

به منظور تعیین جوش پذیری چدن در راهنمای جوشکاری چدن ها انجمن جوشکاران آمریکا(AWS) در بخش DLL.2-89 یک روش معرفی شده است. این روش تکنیکی است که بوسیله آن درجه حرارتی که در چدن ترک رخ نمی دهد را تعیین می نماید و با توجه به عدد برابر کربن(CE) این درجه حرارت تعیین میگردد و فرمول برابری کربن برای بدست آوردن یک عدد صحیحبه شکل ذیل می باشد:

CE=C+0.31SI+0.33P+0.45S+0.028MN+MO+CR-0.02NI-0.01CU

درجه حرارتی که در آن ترک رخ نمی دهد را برای چدن های خاص می توان با استفاده از دیاگرام شکل 3 تعیین نمود. این دیاگرام ارتباط میان عدد برابری کربن CEو درجه حرارت عدم تشکیل ترک را مشخص می نماید.

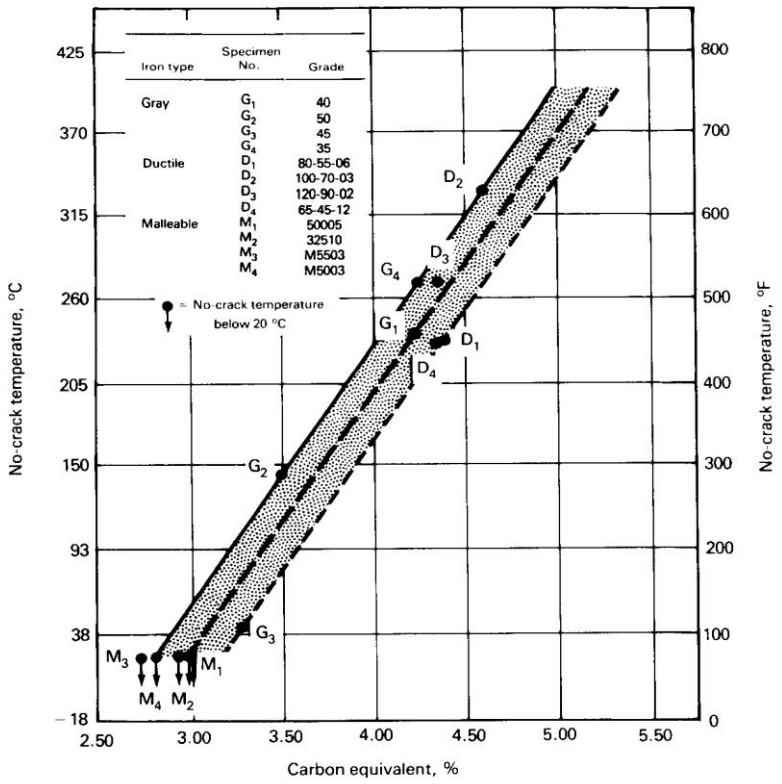


Fig. 3 Effect of carbon equivalent on no-crack temperature for selected grades of iron castings. Source: I

دیاگرام شکل 3

به جزء عملیات پیش گرم پارامترهای دیگری نیز وجود دارد که می تواند روی حصول یک جوش سالم تاثیر بگذارد . این پارامترها عبارتند از:

- انتخاب فلز پر کننده
- عملیات چکش کاری (تقه کاری)
- مقدار حرارت ورودی
- مقدار آلودگی هوا
- مقدار ماله های گیر افتاده در بدنه چدن
- چربی های جذب شده توسط چدن

پیشگرما

یکی از مهمترین توجهات خاص در هنگام جوشکاری چدن استفاده از پیشگرما است .

پیشگرما از موارد ذیل جلوگیری می نماید:

- جلوگیری ار ترک مربوط به شیب حرارتی و تنش های حرارتی ایجاد شده
- کاهش تنش های پسمانه
- کاهش اعوجاج و پیچدیگی
- کاهش سختی ناحیه H.A.Z
- کاهش شیب حرارتی در هنگام جوشکاری فلزات غیر هم جنس
- کاهش آلودگی هیدروکربن در چدن که در هنگام سرویس اتفاق می افتد (آلودگی ناشی از سوختن)

روش تعیین مقدار پیش گرما

.مواردی که در زیر ذکر می گردد به عنوان یک راهنمای کلی در نظر گرفته می شود

- مقدار بالای کربن، نیاز به پیشگرمای بیشتری را با عث می شود
- در صورتی که نوع چدن مشخص شده باشد ولی ترکیب شیمیایی خاص آن معلوم نباشد. درجه حرارت پیشگرم را بر اساس ساختار میکروسکوپی و همچنین مقدار مقاومت آن در نظر می گیرند.
- چدن با مقاومت پایین نسبت به چدنهای با مقاومت بالاتر نیاز به پیشگرم کمتری دارند.
- چدنهایی که از نظر شکل هندسی به صورت مرکب هستند نیاز به پیشگرم بالایی دارند تا از تنش های پسمانه و اعوجاج در آن جلوگیری شود.
- در هنگام جوشکاری ورق نازک به ضخیم، توصیه می گردد که عملیات پیشگرم روی ورق ضخیم انجام گیرد. این عمل باعث کاهش گنجایش حرارت فروکش برای جلوگیری از تنش های حرارتی است
- چدن های چکش خوار و نرم معمولا به درجه حرارت پیشگرم کمتری نیاز دارند عملیات پیشگرم را به منظور کنترل ساختار میکروسکپی منطقه جوش به کار می برند.

درجه حرارت پیشگرم بیش از $315C^{\circ}$ باعث کاهش نرخ سرد شدن در نقطه ای که امکان تشکیل مارتنزیت وجود دارد شده و همچین باعث کاهش

حساسیت چدن به ترک می گردد. سرد شدن آهسته چدن همچنین می تواند به کاهش تنش های پسماند نیز کمک نماید.

عملیات پیشگرم را بایستی بدقت و بطور صحیح انجام داد. همچنین این عملیات را بایستی چنان انجام داد که اتصال جوش در حالت فشار باشد نه کشش (به شکل 4 توجه کنید)

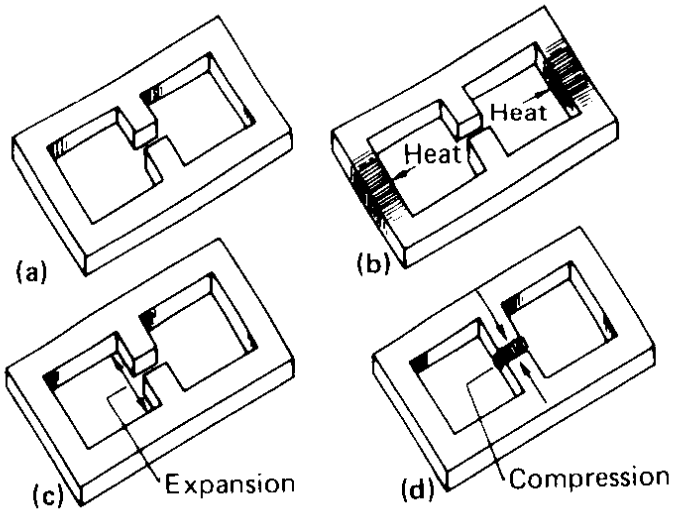


Fig. 4 Proper method of preheating cast iron castings to prepare samples for welding. (a) Casting at room temperature. (b) Heat applied to perimeter of casting. (c) Vertical members of casting in tension. (d) Vertical members in compression ready to be welded

در صورتی که عملیات پیشگرم صحیح انجام شود در طی زمان سرد شدن هنگامی که فلز جوش منقبض می گردد، فلز پایه نیز انقباض پیدا خواهد کرد و از ایجاد ترک جلوگیری خواهد شد. برای قطعات با جوش مرکب ممکن است تمام سازه احتایج به پیشگرم داشته باشد. این کار به حذف تنش هایی که در اثر شیب حرارتی بوجود می آید کمک می نماید. سطحی که قرار است جوشکاری گردد ممکن است به یک درجه حرارت بسیار بالا نیاز داشته باشد. و پس از پایان عملیات جوشکاری کل سازه نیز می بایستی آهسته سرد گردد تا تنش های ایجاد شده به حداقل ممکن برسد.

تست های قبل از انجام جوشکاری :

پیش گرم :

بدلیل وجود خلل و فرج در ورق های چدنی در هنگام سرویس این ورقها می تواند بسیاری از آلودگی ها را درون خود جمع آوری نمایند. پیش گرما عاملی است که می تواند به سوختن و یا زدودن این آلودگی ها کمک نماید. بعضی از این آلودگیها عبارتند از: گریس، روغن و یا مواد شیمایی معین.

رسوب دهی با الکترود:

تکنیک دیگر استفاده از الکترودهایی است که در تعمیرات بکار می رود. در این روش سطح چدن را که قرار است تعمیر گردد بوسیله رسوب دهی به روش مستقیم (بدون حرکت موجی) (stringer) مقدار حدود 75 تا50 میلیمتر جوشکاری می نمایند. سپس مهره جوشهای رسوب داده شده را از روی سطح چدن بر می دارند تا به سطح اولیهٔ چدن برسند در صورتی که در جوش انبوهی از حفره های گازی یا تخلخل وجود نداشته باشد بیانگر این است که سطح چدن دارای آلودگی حداقل می باشد.ولی در صورتی که تخلخل وجود نداشته باشد بیانگر آلودگی می باشد. که بایستی قبل از جوشکاری از سطح چدن حذف نمود.

چدن هایی که دارای مقدار آلودگی زیادی هستند در معرض خطر ایجاد حفره و تخلخل در سر تا سر جوش هستند. ولی در صورتی که مقدار آلودگی کم باشد ممکن است بتوان مهره های جوش سالمی را ایجاد نمود.

تنها راه جلوگیری از عیوب عدم ذوب و تخلخل که در نتیجه آلودگی سطح چدن است، سنگ زدن سطح چدن است. این روش را می توان بدون نیاز به پیشگرم انجام داد مشروط به اینکه سطوح تست شده نیاز به مراحل ماشینکاری بعدی نداشته باشد.

آماده سازی قطعه **Base- Metal- Preparation**

برای دستیابی به یک جوش تمیز بایستی سطح قطعه را از عیوب پاک نمود در قطعات تعمیری در صورتی که عیب ترک باشد بایستی قبل از انجام عملیات جوشکاری ترک از روی کار برداشته شود. این عمل را بایستی برای عیوب دیگر اعم از پارگی یا تورق، تخلخل، عیوب انقباضی و ناخالصی های دیگر نیز انجام داد.

عیوبی مانند پوسته های ناشی از عملیات ریختگری، پوشش ها، شن یا ماسه مخصوص ریخته گری، زنگار، رنگ، روغن و گریس، رطوبت، کثافات و دیگر ناخالصی های خارجی نیز می بایستی از سطوح قطعات زدوده شوند.
قطعات چدنی که در معرض درجه حرارت های بالا قرار دارند ممکن است دارای اقدام تعمیراتی از روی قطعات بایستی زدوده شوند.
عملیات بازپخت چدن در درجه حرارت بین 480°C- 370 باعث حذف بیشتر مواد شیمیایی روی چدن مانند گریس یا روغن می گردد.
چدنهای که جدار آنها دارای گل و لای یا ماسه ریختگری هستند در هنگام جوشکاری ایجاد شکل خواهند نمود.
روش دیگر جوشکاری سطوح قطعه و سپس منگ زدن جوش و آزمایش نمودن آن است اگر فلز جوش عاری از تخلخل نباشد بایستی این دستورالعمل تکرار شود تا هنگامیکه به یک جوش سالم و بدون عیب دست پیدا نمود.
بسیاری از دستورالعمل های بکار رفته برای از بین بردن عیوب در چدن ها ممکن است باعث ایجاد یا برخی عیوب برتر گردند بنابراین بایستی دستور العمل خاصی را برای این منظور بکار برد.
پین زدن تکنیک دیگری است که به گیر افتادن یا متوقف ساختن عیب یا ترک قبل از انجام هر گونه تعمیر کمک می نماید. برای این منظور بایستی در انتهای ترک یا عیب توسط یکی از روش های تست های غیر مخرب مثل PT و یا MT محل انتهای ترک را مشخص نموده بوسیله مته سوراخی ایجاد نمود تا ترک یا عیب از نقطه پیشروی ننماید و یا به عبارت دیگر پیشروی عیب خاتمه یابد.
تکنیک دیگر استفاده از روش جوشکاری در راستای عمود بر محور ترک است در این روش بوسیله یک الکترود که ایجاد رسوب جوش نرم می نماید. عمود بر محورجوش خط جوشی را رسوب می دهیم. نوع الکترود می تواند نیکلی یا آهن و نیکل باشد.

برشکاری چدن

بمنظور برشکاری و شیار زنی چدن قبل از انجام هر گونه تعمیر چندین روش متفاوت وجود دارد ولی برشکاری با الکترود زغال و هوا معمولا زیاد بکار می رود.

جریان مصرفی می تواند هم DC و هم AC باشد. در این فرآیند بایستی از یک طول قوسی بسیار کوتاه استفاده نمود و می بایستی توجه داشت که از برخورد الکترود کربنی با چدن جلوگیری شود، تا از تشکیل اسلاگ های مذاب زیاد روی سطح چدن جلوگیری و شکل برای عملیات برشکاری ایجاد ننمایند.

بمنظور کاهش ناحیه H.A.Z در چدن ها می توان مقدار انرژی و حرارت ورودی که توسط دستورالعمل جوشکاری تعریف می شود در حداقل نگه داشت. ناحیه H.A.Z تشکیل شده ناشی از عملیات برشکاری را بایستی روش سنگ زنی یا هر روش مکانیکی دیگر قبل از انجام عملیات برشکاری از سطح قطعه برداشت.

روش دیگر برشکاری با الکترود روپوش دار است. در این روش بدون استفاده از هوای فشرده یا تورچ مخصوص می توان عملیات برشکاری را انجام داد.

انواع الکترودها دارای روکشی حرارت زای خاصی هستند که می توانند باعث تمرکز حرارت در نوک آن گردند. هنگامیکه نوک الکترود با سطح چدن برخورد می نماید تمرکز حرارت بالای ناشی از قوس باعث ذوب و برش چدن می گردد.

پس از رفع آلودگی ها و عیوب از روی چدن قطعات را بایستی جهت جوشکاری آماده نمود برای این منظور لازم است که قطعات ماشین کاری شده و سطوح مناسبی را جهت دستیابی به یک اتصال مناسب ایجاد نمایند.

طراحی اتصال

طراحی اتصال یا شیار جوش در جوشکاری چدن بسیار مهم است فاکتورهایی مانند ضمانت قطعه، سرویس کاری و دسترسی به اتصال می توانند تعیین کننده الزامات طراحی اتصال جوش باشند.

ورق های نازک چدنی را می توان با ایجاد شیار V شکل و یا U شکل انجام داد. طرح اتصالات ارائه شده و استاندارد برای فولادها را می توان برای تعمیرات قطعات چدنی نیز بکار برد ولی بایستی توجه داشت که الکترود مصرفی بایستی با پایه نیکل باشد، زاویه شیار نیز لازم

است که مقداری افزایش یابد. زاویه بازتر باعث کنترل بهتر حوضچه جوش می گردد.

شکل 5 نشانگر بعضی از انواع روش های آماده سازی شیار جوش برای چدن بصورت پیشنهادی است.

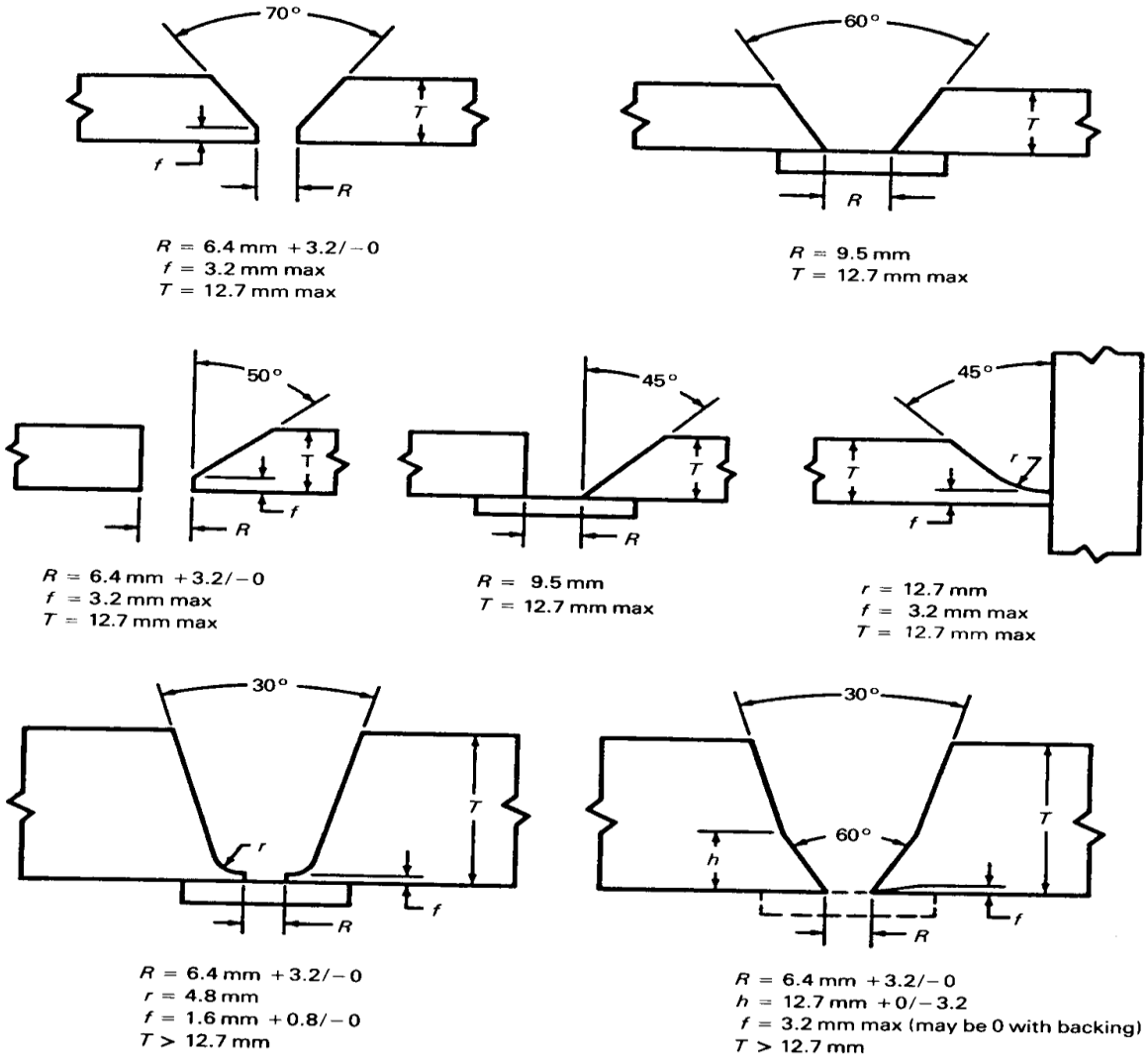


Fig. 5 Recommended joint preparation for welds using single U or V grooves. Source: Ref 1

ورق های ضخیم تر از 13 میلیمتر را بایستی طراحی مناسبی برای آن انجام داد چدن کنش های ناشی از جوشکاری می تواند در چدن بصورت یکنواخت توزیع شود.

اتصال جوش و انجام عملیات جوشکاری از دو طرف قطعه در صورت امکان در بسیاری از موارد می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

برای ورق های بالاتر از 19 میلمتر و بالاتر از شیار V شکل دو طرفه یا X و همچنین طرح K یعنی انجام شیار دو طرفه روی یکی از ورق ها

توصیه می شود. در مواردی که دسترسی به فقط یک طرف قطعه باشد. از طرح شیار U شکل استفاده می شود. این نوع اتصالات باعث دسترسی به ریشه اتصال و همچنین کاهش پهنای سطح جوش و کمک به کاهش حجم جوش و در نتیجه تنش های انقباضی می گردد. این نوع اتصالات در شکل 6 نشان داده شده است.

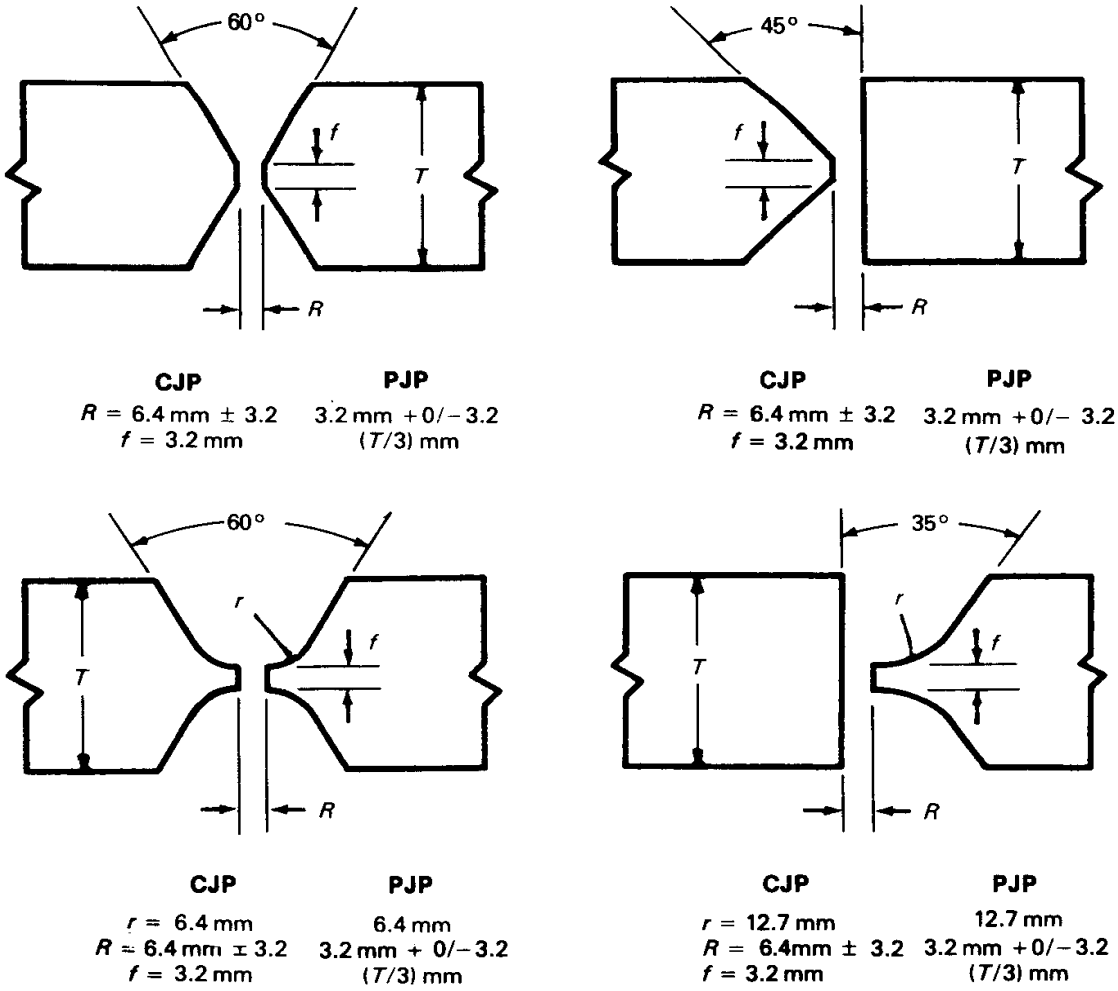


Fig. 6 Recommended dimensions for complete joint penetration (CJP) and partial joint penetration (PJP) grooves. Source: Ref 1

در جوشکاری قطعات چدنی با ضمانت زیاد جهت کاهش تنش ها لازم است که سطح شیار به صورت صاف و هموار باشد.

هنوز کامل جوش برای جوشکاری زرد جوش یک قطعه چدنی همانند جوشکاری با قوس الکتریکی نیز لازم است. مگر این که مثل شکل 7 لبه اتصال به شکل کاملا گرد در آید.

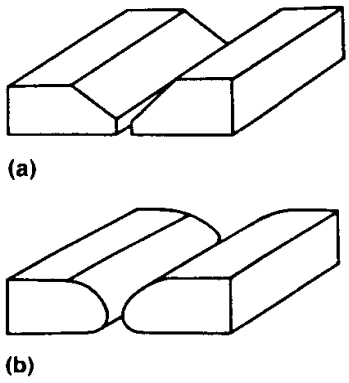


Fig. 7 Recommended groove configurations for joining cast irons. (a) Arc welding. (b) Braze welding. Source: Ref 1

گرد نمودن لبه اتصال باعث راحتی جریان مذاب و دسترسی بهتر به ریشه جوش می گردد تعیین درجه اتصال بر اساس چندین فاکتور صورت می گیرد این فاکتورها عبارتند از:

مقدار مقاومت فلز جوش- مقدار مقاومت ورق ها- تنش های ناشی از عملیات ریختگی که در هنگام سرویس کاری در نظر گرفته می شود- ضخامت چدن

در صورت وجود هر گونه شبه ای ترجیح داده می شود که از جوش با نفوذ کامل استفاده گردد.

از نظر صرفه جویی و کاهش در زمان و مقدار فلز جوش لازم است که بدرستی و بدقت بررسی گردد. شرایط محیط سرویس نیز از موارد دیگری است که لازم است در نظر گرفته شود قطعات چدن خاکستری ضخیم در بعضی مواقع به وسیله یک جوش با نفوذ جزئی بهم متصل می نمایند. در صورتیکه از الکترود با پایه نیکل استفاده شود فلز جوش حاصله نسبت به چدن خاکستری پایه دارای مقاومت بیشتری خواهد بود به همین دلیل استفاده از یک جوش با نفوذ جزئی نیز قابل قبول خواهد بود.

چدن با ضخامت بالای 13 میلیمتر را می توان فقط $\frac{2}{3}$ از ضخامت آنرا جوشکاری نمود و توصیه می گردد که از اتصال لاله ای دو طرفه استفاده کرد.

در جوشکاری چدن های دیگر که دارای مقاومت بالاتری هستند مثل چدن داکتیل جوش با نفوذ کامل توصیه می گردد.

جوش هایکه تحت بارهای خستگی قرار می گیرد و همچنین جوش های مربوط به لوله ها بایستی همیشه بصورت نفوذ کامل باشد.

تکنیک های خاص جوشکاری چدن

مقاومت یک جوش و یا قابلیت و صلاحیت آن برای یک شرایط تعیین کاری می تواند توسط کاربرد تکنیک های مختلف و خاصی که در جوشکاری چدن مورد استفاده قرار می گیرد مورد تائید قرار داد.

- ایجاد شیار روی سطح قطعه
- توزیع و نصب میله های فولادی در سطح شیار قطعات
- تعویض طرح اتصال
- انجام کار مکانیکی روی جوش (چکش کاری)

1- تکنیک ایجاد شیار

در این روش در سطح شیار شیارهایی را ایجاد نموده و همانطور که در شکل 8 نشان داده شده شیار ایجاد شده را توسط خط جوش هایی پر نموده و پس از آن کل سطح شیار را از جوش پر می کنند. مزیت این روش این است که بدلیل نامنظم بودن فصل مشترک جوش ها چنانچه ترکی هم ایجاد شود مسیر آن بصورت مستقیم نخواهد بود.

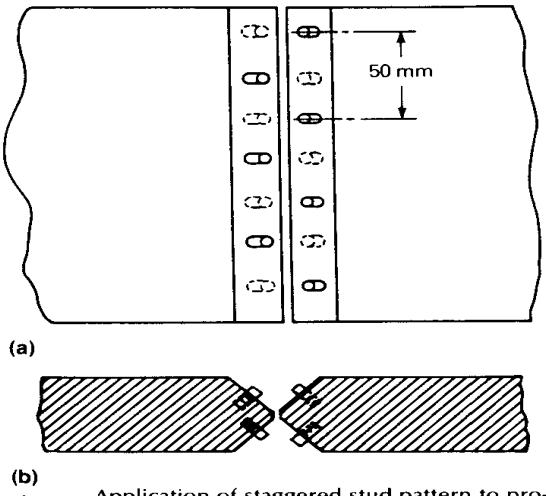


Fig. 9 Application of staggered stud pattern to provide increased strength at weld interface. (a) Top view. (b) Front view. Source: Ref 1

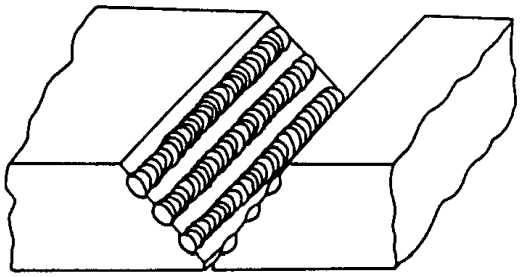


Fig. 8 Groove face grooving for welding of cast irons. Source: Ref 1

2- تکنیک توزیع میله ها یا زائده های فولادی در روی سطح شیار

این یک روش مکانیکی است و برای افزایش مقاومت و کیفیت اتصال بکار می رود میله یا زائده می تواند به دو روش پیچاندن و یا کوبیدن در محل اتصال قرار گیرد. جنس میله ها بایستی از موادی باشد. که با فلز پر کننده جوش سازگاری داشته باشد شکل 9

3- تکنیک تعویض طرح اتصال

تعویض طرح می تواند باعث بهبود شرایط جوش شود. شکل 10 بعضی از این اصلاحات را به صورت نمونه نشان می دهد.

شکل 10(a) یک اتصال با نفوذ جزئی را نشان می دهد (سمت چپ) که با یک جوش با نفوذ کامل مقایسه شده است.

شکل 10(b) نشانگر این است که چگونه می توان با تغییر طرح اتصال به حذف مشکلات مربوط به ضمانت قطعات کمک کرد. و این که جوش در منطقه وسیع تری از تنش قرار نخواهد گرفت.

شکل 10(c) نشانگر این است که اضافه نمودن جوش گوشه برای جلوگیری از انعطاف پذیری و خم شدن در قطعه و کاهش تمرکز تنش در اتصال جوش موثر خواهد بود.

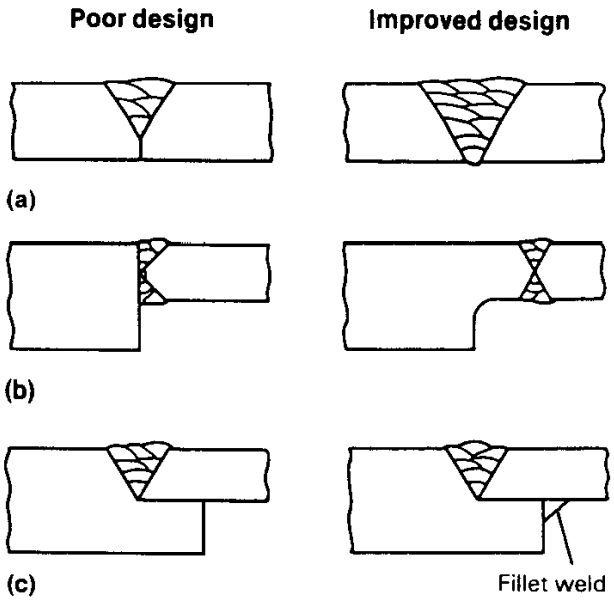


Fig. 10 Modification of joints to produce optimum weld. (a) Partial joint penetration weld (left) changed to complete joint penetration weld (right). (b) Part modified to alleviate problems caused by changes in metal thickness. (c) Addition of secondary fillet weld to reduce stress concentrations of primary weld. Source: Ref 1

4- تکنیک چکش کاری

چکش کاری می تواند باعث پخش تنش های ناشی از جوش که بصورت پیوسته بوجود می آید گردد. برای این منظور با استفاده از یک چکش سر گرد با قطر 19-13 میلیمتر و به صورت مداوم ضربات آرام و عمودی را به سطح جوش وارد می نمائیم این عمل بایستی در درجه حرارت قرمز آتشین یا نزدیک به آن صورت گیرد و درجه حرارت جوش نبایستی زیر 540 °C باشد.

از یک چکش پنوماتیکی (رفت و برگشتی) نیز می توان استفاده نمود. مقدار ضربه وارده توسط این چکش بایستی 90Psi و طول کورس آن بایستی روی 75 میلیمتر تنظیم شود.

ابزار بکار رفته در این چکش بایستی دارای پهنای کمتری نسبت به چهره های جوش باشد و نوک این ابزار بایستی حدودا $\frac{1}{2}$ پهنای خود ابزار باشد.

سرعت پیشروی نیز حدودا 1000- 750 میلیمتر بر دقیقه بایستی در نظر گرفته شود.

عملیات حرارتی پس از جوشکاری (PWHT)

حد تنش های نهایی یک چدن جوش داده شده تحت تاثیر نرخ سرد شدنی است که پس از انجام عملیات جوشکاری بوجود می آید. چدن بایستی به آهستگی سرد شده و این کار بمنظور کاهش تنش های پس ماندی است که به وسیله جوشکاری بوجود می آید. این کاهش سرعت سرد شدن می تواند توسط روش های ذیل بدست آید.

- پوشاندن و دفن نمودن تمام چدن در زیر ماسه یا (Vermiculite)
- عملیات حرارتی پس گرمایی بوسیله یک تورچ
- انتقال چدن به درون کوره
- پوشش دهی چدن بوسیله پتوی عایق حرارتی
- عملیات حرارتی پس از جوشکاری ممکن است برای اهداف زیر مد نظر باشد.
- بهبود قابلیت انعطاف پذیری ناحیه H.A.Z
- بهبود قابلیت ماشین کاری جوش و ناحیه H.A.Z

- تبدیل ساختار مارتنزیتی که در هنگام جوشکاری بوجود آمده به یک فاز شکننده ضعیف
- آزاد نمودن تنش های پس ماند در چدن

نیاز به عملیات حرارتی پس از جوشکاری (PWHT) به شرایط چدن، اتصال اعوجاج در هنگام ماشین کاری بعدی عملیات تمام کاری که توسط ماشین جهت سطوح بکار می رود و شرایط هر گونه عملیات حرارتی قبلی بستگی خواهد داشت ترک های مربوط به تنش حرارتی که ناشی از تغییرات درجه حرارت در چدن است می تواند بوسیله عملیات حرارتی پس از جوشکاری کنترل شده و نرخ سرد شدن نیز بایستی برای تمام قطعات زیر 55c/h° باشد. نرخ سرد شدن ممکن است در بعضی از شرایط حتی از مقدار فوق نیز کمتر در نظر گرفته شود.

در جدول شماره (2) درجه حرارت های توصیه شده و نرخ سرد شدن را برای عملیات و برای چدن های خاکستری و نرم (داکتیل) آورده شده است.

Table 2 Recommended postweld heat treatment practice for selected graphitic cast irons

Heat treatment	Temperature, °C	Temperature, °F	Holding time (per workpiece thickness)	Cooling rate
Ductile iron				
Stress relief	510–565(a)	950–1050(a)	1h/in.	(f)
	565–595(b)	1050–1100(a)	1h/in.	(f)
	540–650(c)	1000–1200(c)	1h/in.	(f)
	620–675(d)	1150–1250(d)	1h/in.	(f)
Ferritize anneal	900–955	1650–1750	1h + 1 h/in.	(g)
Full anneal	870–900	1600–1650	1h/in.	(h)
Graphitizing anneal	...	...	...	...
Normalizing anneal	...	...	...	...
Normalizing and tempering anneal	900–940	1650–1725	2h/in.(e)	(i)
Gray iron				
Stress relief	595–650	1100–1200	1h/in.	(f)
Ferritize anneal	705–760	1300–1400	1h/in.	(f)
Full anneal	790–900	1450–1650	1h/in.	(f)
Graphitizing anneal	900–955	1650–1750	1-3 h + 1 h/in.	(f)
Normalizing anneal	870–955	1600–1750	1-3 h + 1 h/in.	(j)

(a) Unalloyed. (b) Low alloy. (c) High alloy. (d) Austenitic. (e) 2 h minimum. (f) Furnace cool to 315 °C (600 °F) at 55 °C/h (100 °F/h), air cool to room temperature (RT). (g) Furnace cool to 690 °C (1275 °F); hold at 690 °C (1275 °F) for 5 h + 1 h/in. of thickness, furnace cool to 345 °C (650 °F) at 55 °C/h (100 °F/h); air cool to RT. (h) Furnace cool to 345 °C (650 °F) at 55 °C/h (100 °F/h); air cool to RT. (i) Fast cool with air to 540 to 640 °C (1000 to 1200 °F), furnace cool to 345 °C (650 °F) at 55 °C (100 °F/h), air cool to RT. (j) Air cool from annealing temperature to below 480 °C (900 ° F) to RT.

فرآیندهای جوشکاری و مواد مصرفی جوش جوشکاری با گاز (OFW) یکی از فرآیندهای جوشکاری است که در آن از اکسیژن و یک گاز سوختی با یک ارزش حرارتی توسط استفاده می کنند. در این روش با ذوب فلز پایه و فلز پر کننده که توسط یک مشعل انجام می شود جوشکاری انجام می شود. در این فرآیند گاز سوختی و اکسیژن به نسبت مساوی در درون یک محفظه

اختلاط مخلوط می شوند. حوض مواد مذاب که شامل سطح ذوب شده شیار و فلز پر کننده است در هم ادغام شده و پس از سرد شدن در اثر حرکت دست در جهت جوشکاری خط جوش به شکل رسوب پیوسته ادامه خواهد یافت.
مزیت بزرگ فرآیند OFW کنترل مقدار نرخ گرمایی ورودی توسط جوشکار است. همچنین جوشکار می تواند درجه حرارت منطقه جوش را کنترل و از اکسید شدن جوش و کاهش پتانسیل شعله که ناشی از مشعل جوش کاری را نیز کنترل نماید.
اندازه محوطه جوش، می تواند در این روش نیز کنترل گردد چونکه فلز پر کننده بصورت جدا از شعله جوش اضافه می شود. فرآیند OFW یک فرآیند جوشکاری ایده آل برای جوشکاری قطعات با ضخامت کم، تیوبها و لوله های با قطر کم است.
استیلن به عنوان یک گاز سوختی نسبت به دیگر گازها در این روش ترجیح داده می شود.
گازهایی مانند متیل استیلن، پروپادین، پروپان، پروپلین، گاز طبیعی و چندین گاز خاص دیگر دارای خاصیت اکسید کنندگی و عدم گسترش حرارت کافی مورد نیاز جهت جوشکاری چدن این فرآیند بطور گسترده بمنظور تعمیر عیوب کوچک در چدن خاکستری کاربرد دارد و کمتر برای چدن نرم یا داکتیل بکار می رود.
نرخ گرمادهی آرام فرآیند OFW باعث ایجاد یک ناحیه HAZ بزرگ می نماید اما این ناحیه بزرگ از تشکیل ساختار مارنیزتی شکننده جلوگیری می نماید.
مواد مصرفی برای جوشکاری با گاز و برای چدن خاکستری معمولا از جنس چدنی است که با یک سطح بالای کربن و سیلیکون نسبت به دیگر چدنها است. این موضوع می تواند جبران کننده نداشتن تجربه برای جوشکاری چدن باشد.
فلز جوش دارای یک ساختار گرافیتی و قابلیت ماشین کاری خوب و همچنین یکرنگ مشابه با فلز پایه است.
ترکیب شیمیایی برای سه نوع سیم جوش چدن خاکستری در جدول شماره 3 آورده شده است.

Table 3 Composition of welding rods used for oxyfuel welding of gray irons

Gray iron welding application	AWS filler metal classification(b)	UNS No.	Composition, wt%(a)									
			C	Mn	Si	P	S	Fe	Ni(c)	Mo	Mg	Ce
Conventional	RCI	F10090	3.2–3.5	0.60–0.75	2.7–3.0	0.50–0.75	0.10	bal	Trace	Trace	...	...
High-strength alloy	RCI-A	F10091	3.2–3.5	0.50–0.70	2.0–2.5	0.20–0.40	0.10	bal	1.2–1.6	0.25–0.45	...	...
Malleable and nodular	RCI-B	F10092	3.2–4.0	0.10–0.40	3.2–3.8	0.05	0.015	bal	0.50	...	0.04–0.10	0.20

(a) Single values shown are maximum. (b) Copper-base filler metals frequently used in the braze welding of cast irons are no longer included in this specification. For information pertaining to these materials see ANSI/AWS A7.6. (c) Nickel plus incidental cobalt. Source: Ref 2

RCI سیم جوشی است که برای اتصال چدن خاکستری نوع 35 تا 20 بکار می رود.

RCI- A سیم جوشی است که برای اتصال چدن خاکستری با مقادیر بالای نیکل و مولبیدن و برای نوع 45 تا 35 بکار می رود.

این نوع مواد جوشکاری همراه با بعضی از فلزات پر کننده خاص، برای جوش هایی که نهایتا دارای مقاومت لازم و کافی و همچنین حداقل سطح کاربید آهن باشند در نظر گرفته شده اند.

جهت آلیاژ نمودن از عناصری که بالا برنده مقاومت محلول جامد در ترکیب با یک واسطه گرافیت زا است مانند نیکل، منگنز، مولیبدن و سیلیسیم بیشتر استفاده می شود.

اضافه نمودن فسفر باعث سیلانیت مذاب چدن می گردد. اگر درصد فسفر از یک حد بالا رود می تواند یک فاز شکننده و سفت را تشکیل و آهن به فسفر آهن تبدیل شود.

RCI- B این سیم جوش که در جدول شماره (3) نشان داده شده، همراه با فیلر یا سیم جوش های خاص برای جوشکاری چدن نرم یا داکتیل طراحی شده است.

سیم جوش مخصوص جوشکاری چدن نرم یا داکتیل شامل عناصر تولید کننده گره شامل منیزیم یا سدیم می باشد. این نمونه سیم جوش ها دارای قابلیت ایجاد یک فلز جوشی با ساختار گرافیت کروی هستند مشروط به اینکه مقدار کافی عناصر منیزیم یا سدیم برای جبران کاهش آنها در هنگام جوشکاری باشد.

سیم جوش های شامل سیریم ممکن است به عنوان یک عنصر ایجاد کننده ساختار کروی برای به حداقل رساندن پروسیتی ترجیح داده شوند.

سیم جوش های شامل منیزیم می تواند تفاله جوش را افزایش دهد در صورتیکه فلاکس مورد نیاز به اندازه لازم استفاده شود. تفاله های جوش بسختی جدا شده و می تواند باعث آلودگی و کاهش مقاومت جوش گردد.

سیم جوش هایی که در جدول شماره (3) آورده شده است می تواند برای جوشکاری چدن مالیبل یا چکش خوار بکار رود.
اگر چه فرآیند OFW می تواند باعث تشکیل یک ناحیه H . A. Z گسترده روی چدن سفید گردد، اما با پایین آوردن مقدار نرمی چدن باعث تمایل بیشتر به ترک خواهد شد.
فلاکس ها برای حفاظت از اکسید شده فلز جوشی بکار می روند همچنین به منظور افزایش سیلاتیت اسلاگ های شکل گرفته و در نتیجه کمک به حل اکسیدها و دیگر ناخالص های جوش نیز بکار می روند.
فلاکس های مورد استفاده در فرآیند OFW در صورتیکه از گاز استیل بعنوان گاز قابل سوخت استفاده می شود شامل سدیم بورات یا بوریک اسید و Soda ash (خاکستر کربنات سدیم) و مقداری از پودرهای اکسید فلزی است.
بسیاری از فلاکس هایی که مخصوصا برای چدن داکتیل یا نرم تهیه می شوند باعث پایین آمدن نقطه ذوب چدن می گردند و از طرفی این فلاکس ها را می توان برای هر دوی چدن داکتیل و خاکستری نیز بکار برد.
آماده سازی قطعات برای فرآیند OFW می بایستی وسیع تر از فرآیندهای جوشکاری با قوسی الکتریکی باشد. زاویه شیار معمولا در این فرآیند°120 تا 90 است.
درجه حرارت پیش گرم C650°- 540 توصیه می شود برای جوشکاری فرآیند OFW بکار رود این درجه حرارت اجازه می دهد که تعمیرات سریعتر انجام شود و سرعت سرد شدن کاهش پیدا کند. در صورت امکان کل قطعه چدنی بایستی پیشگرم شود این عمل به کاهش تنش های ناشی از حرارت موضعی کمک می نماید. چدن خاکستری که مخصوصا * به ترک از طریق تنش های حرارتی است نشان داده که به وسیله پیش گرم کردن موضعی ممکن است دچار این عیب گردد. در صوررتی که عملیات پیش گرم بوسیله یک مشعل و با دقت تمام انجام شود روی قطعات کوچک می تواند موفقیت آمیز باشد.
بعد از انجام عملیات پیشگرم با درجه حرارت مناسب عملیات تعمیر می بایستی فورا و قبل از اینکه فلز پایه اطراف محل جوش باعث سرد شدن آن گردد انجام شود. نبایستی اجازه داد که درجه حرارت آنها زیر

315 -°425C برسد اگر این قطعات درجه حرارت نشان به زیر این مقدار در هنگام جوشکاری برسد و یا اینکه اگر عملیات جوشکاری با فاصله زمانی انجام پذیرد، بایستی قطعات چدن را دوباره پیشگرم نمود و سپس جوشکاری ادامه یابد.

همچنین بایستی از گرم نمودن بیش از حد قطعات چدن جلوگیری نمود تا تنش های حرارتی در آن کاهش یابد.

در هنگام جوشکاری OFW سطحی از قطعه که قرار است تعمیر شود نبایستی در حرارت بیش از 675C° قرار گیرد.

درجه حرارت بیش از حد پیشگرم و زمان زیاد جوشکاری ممکن است باعث ایجاد تنش های اضافی گردیده و باعث پیچیدگی چدن و کاهش مقاومت کششی آن گردد.

درجه حرارت چدن می بایستی در هنگام جوشکاری قابل کنترل باشد. توصیه می گردد که کل قطعه چدنی را درون یک کوره قرار دهید. همچنین برای تأمین درجه حرارت بین پانس هم می توان از کوره استفاده نمود و جهت کنترل سرعت سرد شدن نیز از کوره استفاده می شود. در صورتی که یک کوره دائم در دسترس نباشد از یک کوره در قسمتی که بوسیله ورق های فلزی و آجرهای نسوز روی چندین اجاق گاز سوز بنا می گردد می توان استفاده نمود در هنگام جوشکاری چدن با فرآیند OFW تکنیک های منحصر بفردی وجود دارد.

- انتخاب اندازه تورچ جوشکاری مانند جوشکاری فولاد نرم است.
- شعله خنثی یا یک شعله کمی ضعیف تر توصیه می گردد. شعله اکسیدی به هیچ وجه توصیه نمی شود چون می تواند باعث کاهش مقدار عناصر سیلیکون، و تمایل به تشکیل چدن سفید و ایجاد پروسیتی می گردد.
- بعد از اینکه چدن به درجه حرارت پیشگرم مناسب رسید، پاشیدن فلاکس درون سطح شیار جوش انجام شود.
- فاصله مخروط شعله را بایستی به اندازه 6/4 تا 3/2 میلیمتر از سطح قطعه نگه داشت ارتباط برخورد مخروط با سطح قطعه نبایستی اتفاق افتد چون باعث اکسید شدن سیلیکون و کربن شده و در نتیجه یک نقطه از فلز دارای سختی می شود.

- هنگامیکه زیر شیار ذوب شد. شعله و مشعل را به دو طرف شیار حرکت می دهیم تا کل سطح شیار ذوب شود. در این لحظه سیم جوشکاری به آهستگی به شیار و در حوضچه جوش اضافه می گردد. سیم جوش نبایستی به شعله برخورد کند.
- اضافه نمودن فلاکس در مرحله بعد می بایستی از طریق گرم نمودن نوک سیم جوشی و فرو بردن آن در فلاکس صورت پذیرد. نقاط سفید و حباب های گازی در حوضچه جوش نشانگر این است که ناخالصی وجود داشته و نیاز به اضافه نمودن مقدار فلاکس بیشتر است.
- کاربرد یک حرکت دورانی بوسیله سیم جوش به اتصال ناخالصی ها به سطح جوش کمک می نماید. و بصورت اسلاگ مشاهده می گردد و همچنین کمک به ایجاد یک مذاب خوب در سطح شیار می نماید. حرکت دورانی و بهم زننده بیش از حد باعث ایجاد اکسید می گردد.

یک توصیه عملی برای رسوب فلز پر کننده روش پله ای (Block Sequence) یا روش جوشکاری ترتیبی قطعه است.

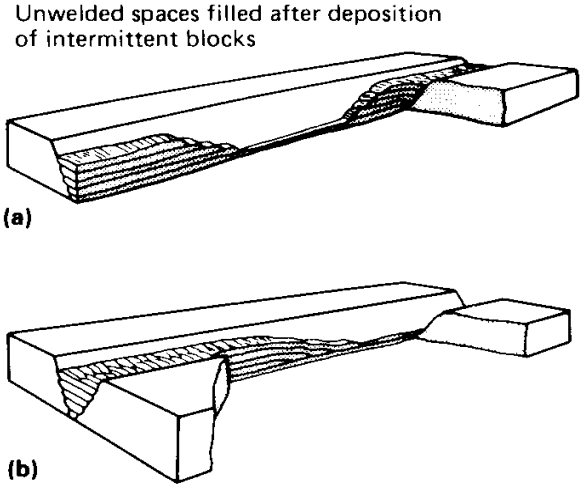


Fig. 11 Methods applied to the OFW process to deposit filler metal with minimum weld stress. (a) Block sequence. (b) Cascade sequence

شکل (11)

این دستورالعمل رسوب دهی جوش به مقدار تقریبا 25 میلیمتر طول در مقاطع مختلف اتصال است. بایستی توجه نمود که نفوذ کامل میان هر خط جوشی و هر دوی سطح شیار بخوبی انجام شود. فلز جوشی اضافی که ممکن است از دو طرف هر خط جوشی بیرون زده شود بایستی قبل از انجام جوش بعدی روی آن مجددا ذوب شود.
روش دیگر به روش آبشاری معروف است. رسوب دهی لایه های نازک در لایه های متوالی و پشت سر هم بطوریکه هر لایه بلندتر از لایه های قبلی است (شکل 11 (b)) قطعات چدنی تعمیر شده می توانند پس از جوشکاری تحت عملیات حرارتی پس از جوشکاری PWHT قرار گیرند.
قطعات چدنی بزرگ با اشکال ترکیبی یا قطعاتی که نیاز به ماشین کاری بعدی دارند می بایستی بلافاصله تحت علملیات حرارتی پس از جوشکاری قرار گیرند. این قطعات را بایستی برای یک ساعت در درجه حرارت 650°C- 540 به ازاء هر اینچ ضخامت نگه داری نمود. و سپس به آهستگی سرد نمود.

فرآیندهای جوشکاری با قوس الکتریکی

فرآیندهای جوشکاری با قوس الکتریکی که برای جوشکاری چدن بکار می روند عبارتند از: فرآیند الکترود دستی SMAWفرآیند جوشکاری با الکترود تنگستن GTAW- فرآیند جوشکاری با الکترود توپودری FCAW- فرآیند جوشکاری با الکترود فلزی GMAW- و فرآیند زیرپودری SAW.
بیش از 90% جوشکاری های صنعتی به روش قوس الکتریکی انجام می شود. قوس الکتریکی دارای یک حرارت ورودی پایین تر نسبت به جوشکاری گاز می باشد. که این بدلیل سرعت بالای ذوب و نرخ رسوب بالاتر آن است. درجه حرارت ناشی از قوس الکتریکی بیش از 5000°C می باشد، این حرارت نیاز ذوب را فقط برای یک منطقه کوچکی از جوش تامین می کند.
حرارت بالا باعث ایجاد انبساط حرارتی زیاد و تمرکز تنش در قطعه می گردد. نرخ بالای سرد شدن نیز ممکن است باعث مشکلات زیادی در ناحیه HAZ نسبت به فرآیند جوشکاری OFW شود.

فرآیند جوشکاری با قوس الکتریکی این قابلیت را دارد که یک جوش با کیفیت بالا را ارئه دهد البته مشروط به اینکه دستورالعمل و مواد مصرفی جوش مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

فرآیند جوشکاری با الکترود روپوش دار **SMAW**

این فرآیند کاربرد وسیعی دارد. در این فرآیند از حرارت قوسی الکتریکی برای ذوب فلز پایه و نوک الکترود مصرف پوشش دار استفاده می شود. عمل حفاظت از حوضچه مذاب توسط ترکیبات پوشش الکترود صورت می پذیرد.

الکترود و قطعاتی که قرار است به هم جوش داده شوند مداری الکتریکی را تشکیل می دهند که شامل دستگاه جوشکاری، کابل ها، و انبر الکترود می باشند.

هنگامیکه یک قوس بین الکترود و فلز پایه برقرار می گردد قطرات مذاب فلز در نوک الترود ایجاد می شود. این مواد مذاب سپس از طریق ستون قوس به حوضچه جوش جریان می یابد.

فلز جوش که از طریق این الکترود رپوش دار رسوب می نماید مصرفی است جریان مورد استفاده می تواند هم AC و هم DC باشد. هر گونه دستگاه جوشکاری که قابلیت ایجاد یک رنج جریان مناسب دارای قطب مثبت و منفی و مدار ولتاژ باز مناسب باشد قابل استفاده است.

مزیت این فرآیند شامل امکان استفاده از محدوده وسیعی از انواع الکترودها، قابلیت دسترسی جذب، قیمت پایین دستگاه و اسکان جوشکاری در تمام وضعیت ها می باشد.

مواد مصرفی که برای چدن بکار می رود کاملا متفاوتند. ملاحظات اقتصادی و ملزومات جوش تعیین کننده الکترود مناسب برای هر نوع کاربردی است.

الکترودهای چدن

این الکترودها با یک روکش برای بهبود پایداری قوس، کاهش و افزایش عناصر آلیاژی پوشانده شده اند. این نوع الکترودها باعث ایجاد یک ترکیب شیمیایی- و خواص مکانیکی و ریز ساختار و رنگ مشابه با چدن که بایستی جوشکاری شود

الکترودهای فولادی مخصوص چدن

تشکیل شده از یک هسته از فولاد کربنی و بر اساس جدول شماره 5 به عنوان .Est یا الکترودهای فولادی دسته بندی شده اند. این نوع دسته

بندی براساس مشخصات ANSI/AWS و A5.15-90 می باشد. این الکترودهای فولادی مخصوصا برای جوشکاری چدن طراحی شده اند و با الکترودهای مخصوص فولاد نرم متفاوت هستند.

Table 5 Composition of electrodes for the shielded metal arc and flux-cored arc welding of cast irons

Electrode product form	AWS classification	UNS No.	Composition, wt%									
			C	Mn	Si	P	S	Fe	Ni	Cu	Al	Other elements (total)
Shielded metal arc welding electrodes												
Undiluted weld metal	ENi-CI	W82001	2.0	2.5	4.0	···	0.03	8.0	85(a)	2.5	1.0	1.0
	ENi-CI-A	W82003	2.0	2.5	4.0	···	0.03	8.0	85(a)	2.5	1.0–3.0	1.0
	ENiFe-CI	W82002	2.0	2.5	4.0	···	0.03	bal	45–60	2.5	1.0	1.0
	ENiFe-CI-A	W82004	2.0	2.5	4.0	···	0.03	bal	45–60	2.5	1.0–3.0	1.0
	ENiFeMn-CI	W82006	2.0	10–14	1.0	···	0.03	bal	35–45	2.5	1.0	1.0
	ENiCu-A	W84001	0.35–0.55	2.3	0.75	···	0.025	3.0–6.0	50–60	35–45	···	1.0
	ENiCu-B	W84002	0.35–0.55	2.3	0.75	···	0.025	3.0–6.0	60–70	25–35	···	1.0
Core wire	ESt	K01520	0.15	0.60	0.15	0.04	0.04	bal	···	···	···	···
Flux-cored arc welding electrodes												
Undiluted weld metal	ENiFeT3-CI	W82032	2.0	3.0–5.0	1.0	···	0.03	bal	45–60	2.5	1.0	1.0

(a) Minimum

فلز جوش رسوب داده شده بوسیله این الکترودها به آسانی قابلیت ماشین کاری ندارند و تقریبا غیر ممکن است که بتوان از تشکیل فلز جوش سخت جلوگیری شود این الکترودها معمولا برای تعمیر حفره های کوچک، ترک ها، و دیگر عیوب در هنگامیکه چدن نیاز به ماشین کاری نداشته باشد استفاده می شود. چون انقباض فولاد بیشتر از چدن، و دارای تنش کشی بالا براساس سرعت سرد شدن می باشد شاید باعث ایجاد ترک در قطعه گردد.

آماده سازی شیار، آنچنان که در شکل 8تا 5 نشان داده شده و همچنین استفاده از زائده ها و میله ها که در شکل 9 نشان داده شده برای هر نوع قطعات بزرگ چدن و قابل ملاحظه توصیه می گردد.

پیش گرم برای چدن فقط وقتی که مطلقا مورد نیاز بمنظور جلوگیری از تنش های اضافی است توصیه می شود.

الکترودهای فولادی را با شدت جریان پایین بمنظور محدود کردن مقدار دقت بکار می برند. توصیه می گردد قطب و جریان برای این الکترودها DC و معکوس باشد (الکترود مثبت).

مهره جوش رسوب داده شده بوسیله این الکترودها می بایستی کوتاه و به صورت تفکیک انجام شده و پس از آن می بایستی با یک چکش سبک بعد از هر رسوب دهی قطعه کوبیده شود. بعد از عملیات جوشکاری شده که جوش می بایستی کاملا برداشته شده مخصوصا قبل از رنگ شدن.

حد سفتی فلز جوش رسوب داده شده یک الکترود فولادی بستگی به مقدار دقت آن دارد مهره جوش های کوچک و تکی همراه با یک درصد دقت بالا دارای یک سفتی بسیار بالا حدود 500HB خواهد بود.

قطعات یا مهره های جوش سنگین همراه با مقدار دقت پایین و در چندین پالس دارای یک سختی پایین تری خواهد بود.

الکترودهای کم هیدروژن مانند F7016 و E7018 در بعضی موارد برای جوشکاری چدن بکار می رود.

آنها عموما برای عملیات تعمیری و آرایش در مواردیکه کاربرد آن غیر ساختاری است وقتیکه ماشین کاری نیاز نباشد و ترک هم اهمیت زیادی نداشته باشد بکار می رود.

این نوع الکترودها در استاندارد ANSI / AWS 5.1 براحتی و با حداقل هزینه در دسترس قابل استفاده هستند. مشابه بودن رنگ فلز جوش رسوب داده شده با چدن بسیار عالی است. بدلیل دقت در چدن، فلز جوش رسوب داده شده توسط این الکترود شامل مقدار کربن حدود 15% تا 0/8 می باشد در نتیجه رسوب جوش دارای یک سطح بالای سختی و در صورت بالا رفتن سرعت سرد شدن می تواند یک ساختار مارنیزیتی حساس به ترک را ایجاد نماید. در صورتی که از پیشگرم استفاده شود و سرعت سرد شدن نیز کنترل شود و عملیات آنیل پس از جوشکاری انجام شود می توان این ساختار را به حداقل رساند.

الکترودهای فولاد زنگ نزن

این نوع الکترودها را عموما برای چدن بکار نمی برند. چون کاربید گرم در هنگام عملیات جوشکاری شکل می گیرد و در نتیجه یک ریز ساختار شکننده مستعد به ترک ایجاد می شود.

ترک در ناحیه H . A. Z بدلیل تفاوت میان مقاومت کششی و ضریب انبساط حرارتی میان چدن و رسوب جوش فولاد ضد زنگ اتفاق می افتد.

الکترودهای پایه نیکلی

این نوع الکترودها کاربرد وسیعی در جوشکاری چدن دارند. نیکل بر خلاف فولاد نمی تواند تشکیل کاربید دهد و دارای یک قابلیت حل برای کربن می باشد.

همچنین فلز جوش جامد و سرد شده کربن را به صورت گرافیت از محلول عقب می راند این مطلب باعث افزایش حجم فلز جوش، کاهش تنش انقباضی و کاهش احتمال ترک می شود.

الکترودهای با پایه نیکل می توانند در چهار دسته گروه بندی شوند.

- الکترود تا درصد بالای نیکل
- 50% نیکل و 50% آهن
- نیکل- آهن- منگنز
- نیکل- مس

الکترودهای با درصد بالای نیکل

این الکترودها که به عنوان ENi- CL و ENi- CL- A دسته بندی شده اند (جدول 5 درصد ترکیبات) یک رسوب جوش دارای مقدار بالای نیکل را ارائه می دهند. بنابراین این فلز جوش حاصله نرم و دارای قابلیت ماشین کاری خوبی است- حرف A را برای الکترودهایی که مقداری آلومینیوم را در خود حدود 3%- 1 دارند می باشد.

این نوع الکترودها را برای رویه کشی و جاهائیکه ضخامت فلز جوش رسوب داده شده بایستی ماشین کاری شود بکار می برند.

الکترود **50 Ni- 50Fe**

الکترودهای ENiFe- Cl و ENiFe- Cl – A (رجوع به جدول 5 برای ترکیب شیمیایی) دارای تقریبا نیکل و آهن بصورت مساوی هستند. این نوع الکترودها متفاوت از الکترودهای بادرصد نیکل بالا هستند از این نظر که:

- جوش دارای یک مقاومت بالاتر و نرمی بالاتر می باشد.
- مقاومت الکترودها آنها را برای یک جوشکاری نرم و با مقاومت بالا روی چدن خاکستری قابل استفاده می نماید.
- این نوع الکترودها را می توان برای اتصالات غیر همجنس مانند چدن به کربن استیل و آلیاژهای نیکل بکار برد. در صورت استفاد از اتصالات غیر همجنس چدن به فولادهای شامل کرم مثل فولاد ضد زنگ، بنابراین یک لایه پوششی از الکترود ENi- 1Cl (ANSI / AWS 5.11) می بایستی روی چدن رسوب داده شود. این محل به جلوگیری از تشکیل کاربید کرم در فلز جوش رسوب داده شده کمک می نماید.

در یک ترکیب شیمیایی 30% نیکل و 70% آهن، آلیاژ آهن و نیکل حداقل ضریب انبساط حرارتی را دارد. فلز جوش رسوب داده شده از یک الکترود ENiFe- Cl و ENiFe- Cl – A دارای تقریبا ترکیب 30% نیکل و 70% آهن می باشد چون دقت فلز پایه بیشتر است بنابراین این نوع الکترودها را می توان برای قطعات ضخیم چدنی در مقیاسه با الکترودهای با مقدار نیکل بالا بکار برد.

به دلیل شکل گیری ترکیب نیکل و آهن، سطح سختی جوش نسبت به بقیه الکترودها با درصد نیکل بالا بیشتر است. بنابراین کاربرد الکترود ENi- Cl- A هنگامی که ماشین کاری مهم است ترجیح داده می شود در جوش های چند پاسه، هر پاس بوسیله پاس های بعدی تحت عملیات حرارتی قرار می گیرد و این مساله به سمت کاهش سختی و در نتیجه بهبود خاصیت ماشین کاری می گردد.

در جدول شماره 6 نمونه های مختلف سطح سختی آورده شده است.

Table 6 Mechanical properties of welds obtained with nickel-base electrodes used in SMAW of cast irons

	Hardness for type of weld metal indicated												
					Multiple layer weld(a)								
	Highly diluted bead		Moderately diluted bead		Weld face		Root surface		Tensile strength		Yield strength (0.2% offset)		
Electrode	HV	HB	HV	HB	HV	HB	HV	HB	MPa	ksi	MPa	ksi	Elongation in 50 mm (2 in.), %
ENi-CI	220	209	182	173	...	...	...	...	276(b)	40(b)	263(b)	38(b)	3–6(b)
ENiFe-CI	364	345	209	199	183	174	187	174	400–579(b)	58–84(b)	296–434(b)	43–63(b)	6–13(b)
									449–500(c)	65–72(c)	310–358(c)	45–62(c)	8–19(c)
									544(d)	79(d)	420–462(d)	61–67(d)	6–10(d)

(a) Butt joint of 12.7 mm ($^1/_2$ in.) plate using 60° V and 4.8 mm ($^3/_{16}$ in.) root opening. (b) As-welded condition. (c) Annealed at 900 °C (1650 °F) for 4 h, furnace cooled. (d) Annealed at 845 to 900 °C (1550 to 1650 °F) for 3 h, furnace cooled to 690 °C (1275 °F) for 5 h, furnace cooled slowly to 595 °C (1100 °F), air cool. Source: Ref 1

الکترودهای شامل نیکل - آهن و منگنز

در صورت افزایش عنصر منگنز به آلیاژ نیکل – آهن- مقاومت جوش، نرمی و مقاومت به ترک بهبود می یابد. ترکیب این الکترود در جدول شماره 5 تحت عنوان ENiFeMn-CI آورده شده است.

مقاومت این آلیاژ برای اتصال چدن های با گرافیت کروی و با درجه 06-55- 80 کافی است همچنین از این اکلترود مواقعی که مقاومت به سایش در نظر باشد در روی سطوح خاص یا بعنوان تعمیر و پر نمودن سطوح مقاوم در برابر سایش که دچار عیب شده اند استفاده می شود.

الکترودهای نوع نیکل- مس

این نوع الکترود نیز برای جوشکاری جدول مورد استفاده قرار می گیرد، اما چون در آنها حساسیت به رقیق شدن آهن وجود دارد، کاربرد آنها محدود می گردد. این نوع الکترودها را بایستی با یک دستورالعمل و با شرایط نفوذ کم بکار برد چون بالا رفتن دقت مواد جوش با آهن ممکن است باعث ایجاد ترک شود.

الکترودهای با پایه مس

این نوع الکترودها اصولا برای رویه کشی قطعات چدنی روی سطوح یاطاقان ها بمنظور بهبود مقاومت به خوردگی آنها یا بمنظور اتصال قطعات چدنی به فلزات غیر مشابه دیگر استفاده می شود. همانطور که در بخش آماده سازی قطعات چدنی مورد جوشکاری توضیح داده شده، در این بخش نیز اشاره می گردد که تمیز نمودن فلز پایه که قرار است جوشکاری روی آن صورت گیرد بسیار مهم است خصوصا در مورد کاربرد الکترودهای با پایه مس.

الکترودهای با پایه مس در استاندارد ANSI / AWS AS.6- 84 همراه با خواص مکانیکی و آنالیز شیمیایی آنها در جدول شماره 7 آورده شده است پیشرفتهای حاصله روی پرسش این الکترودها نشانگر شرایط رضایتبخش جوشکاری روی چدنها است.

Table 7 Composition and mechanical properties for covered copper alloy welding electrodes used in SMAW applications to join cast irons

AWS classification	Composition, wt%(a)(b)										Mechanical properties			
	Cu + Ag	Sn	Mn	Fe	Si	Ni(c)	P	Al	Pb(d)	Other elements total(e)	Hardness, HB	Tensile strength(f) MPa	Tensile strength(f) ksi	Elongation in 50 mm (2 in.), %(f)
ECuSn-A	bal	4.0–6.0	···	0.25	···	···	0.05–0.35	0.01	0.02	0.50	70–85(g)	240	35	20
ECuSn-C	bal	7.0–9.0	···	0.25	···	···	0.05–0.35	0.01	0.02	0.50	85–100(g)	280	40	20
ECuA1-A2	bal	···	···	0.5–5.0	1.0	···	···	7.0–9.0	0.02	0.60	130–150(h)	410	60	20
ECuMnNiAl	bal	···	11.0–13.0	2.0–6.0	1.5	1.0–2.5	···	5.5–7.5	0.02	0.60	160–200(h)	520	75	15

(a) Per specification A5.6. (b) Single values are maximum percentages. (c) Includes cobalt. (d) Must be included in determining the value for total other elements. (e) Maximum. (f) Minimum. (g) 4–9 kN (500 kgf) load. (h) 30 kN (3000 kgf) load. Source: ANSI/AWS A5.6–84

الکترودهای آلومنیوم- برنز

الکترودهای نوع آلومنیوم برنز نیز همچنین برای جوشکاری چدن بکار می برند. الکترود ECuAl- 2 در استاندارد ANSI / AWS A5.6 آورده شده و خواص شیمیایی و مکانیکی * برای آنها در جدول شماره 7 آورده شده است این نوع الکترودها دارای یک رسوب جوش با مقاومت کششی بالاتر نسبت به الکترودهای نوع قلع برنز (حداقل 415 مگا پاسکال یا 60Ksi) هستند و دارای سختی 150- 130 درجه سختی برنیل (BH) می باشند. الکترودهای آلومنیوم برنز نیز هنگام استفاده نیاز به توجه خاص نسبت به تمیز کاری آنها وجود دارد.

الکترود ECuMnNiAl نیز همچنین در جدول شماره 7 وجود دارد. این الکترود برای تعمیر چدن در مواردی که نیاز به مقاومت کششی بالاتر نسبت به مقاومت کششی رسوب الکترود ECuAl- Ai , ECuSn- A یا ECuSn- C باشد استفاده می گردد.

الکترودهای ECuMnNiAl دارای مقادیر متفاوت آلومنیوم و دارای مقادیر زیادتر آهن، منگنز و نیکل نسبت به الکترود ECuAl-Az می باشد. در نتیجه در بالاترین شرایط مقدار مقاومت کششی آن حداقل 515 مگاپاسکال یا (75Ksi) مقدار سختی آن 200HB- 160 است.

فرآیند جوشکاری با گاز محافظ و الکترود فلزی **GMAW**

در این روش قوس الکتریکی ما بین یک الکترود پیوسته و قطعه کار بوجود می آید و قطعه جوشکاری می شود. گاز محافظ نیز وظیفه محافظت از منطقه جوش را بعهده دارد.

این فرآیند دارای یک نرخ رسوب بالا بوده و همچنین دارای حرارت در ورودی بالا و عمق نفوذ زیاد با تغییرات ولتاژ قوسی، تغییر گاز محافظ و سرعت خروج سیم جوش می باشد الکترودهای مخصوص فرآیند GMAW را می توان در هر وضعیتی بکار برد.

انتقال فلز مذاب از الکترود به سطح چدن می تواند به سه طریق انجام شود.

روش اسپری یا پاششی

روش قطره ای

روش اتصال کوتاه

نوع روش انتقال توسط گرمای ورودی و نوع گاز مصرفی تعیین می شود.

انتقال اسپری

این روش در شرایط بالاترین حد حرارت ورودی از سه حالت ذکر شده شرایط جوشکاری تخت بکار می رود به یک گاز حتی مثل آرگون یا هلیوم و یا مخلوطی از هر دو گاز نیاز می باشد. روش اتصال اسپری دارای یک نرخ رسوب بالا و بالاترین حد نفوذ از سه حالت ذکر شده می باشد. در این روش همچنین بیشترین تمایل به ایجاد ترک بدلیل وجود حرارت ورودی بالا و در نتیجه افزایش ناحیه H . A. Z می باشد. اطلاعات اضافی درباره این بحث بایستی درمطالب مربوط به نحوه اتصال حرارت و جرم به فلز پایه از فرآیند جوشکاری GTAW مطالعه نمود.

روش انتقال قطره ای

این روش دارای حرارت ورودی کمی پایین تر، همراه با اتصال قطرات فلز مذاب درشت می باشد حرارت ورودی پایین تر باعث تمایل کمتر به ایجاد ترک در جوش و همچنین کاهش مقدار نفوذ نسبت به روش اسپری می گردد. روش اتصال قطره ای می تواند در کلیه وضعیت ها مورد استفاده قرار گیرد. اما ممکن است در حالت سر بالا و سقفی جوشکار دارای مهارت بیشتری نسبت به وضعیت های دیگر باشد.

روش انتقال مدار بسته به کوتاه

این روش دارای حداقل حرارت ورودی و حداقل مقدار نفوذ است.

این روش بوسیله یک الکترود دقیقا درتماس با حوضچه جوش در مدت زمان زیاد در یک ثانیه است بوجود می آید. در نتیجه یک مدار کوتاه با حداقل ناحیه **HAZ** و حداقل حساسیت به ترک نسبت به سه روش ذکر شده می نماید.

گازهای محافظ برای این فرآیند شامل: آرگون، هیلیوم، دی اکسید کربن و مخلوطی از این گازهاست روش مدار بسته را بایستی فقط برای ورقهای

نازک یا با استفاده از یک پیش گرم بالا به منظور جلوگیری از ایجاد عدم ذوب و عیوب مربوط به عدم نفوذ کافی بکار برد.

انتخاب روش صحیح انتقال مواد مذاب

انتخاب این روش بوسیله اندازه و ترکیب قطعه چدنی که بایستی جوشکاری شود،به مقدار رسوب مورد نیاز فلز جوش و وضعیت جوش بستگی دارد.

الکترودهای مصرفی (مورد استفاده)

مواد مصرفی این فرآیند جوشکاری دقیقا همانند الکترودهایی است که در فرآیند SMAW بکار می رود. فولادی، با پایه نیکل، نیکل- آهن، نیکل- آهن- منگنز، و الکترودهای با پایه مس از این نوع الکترودها هستند.

الکترودهای فولادی

یک نمونه از کاربرد این الکترودها برای تعمیر عیوب چدن در مناطق غیر حساس چدن که مبدأ نیاز به ماشین کاری نداشته باشد می باشد. هم رنگی که توسط این الکترودها ایجاد خواهد شد عالی است.

مقدار سختی جوش ایجاد شده بدلیل افزایش کربن که از دقت چدن با رسوب جوش بوجود می آید بالا رفته در نتیجه الکترودهای فولادی را نبایستی در مواردی که نیاز به ماشین کاری است بکار برد. محیطی که قراراست جوشکاری شود بایستی پیشگرم نموده و پارامترهای جوش را بایستی طوری انتخاب نمود که دارای حداقل نفوذ باشد برای مثال می توان از روش انتقال اتصال کوتاه (مدار بسته) الکترود با قطر کمتر و گاز محافظ دی اکسید کربن Co_2 یا C- 25 (75 Ar- 25 Co_2) استفاده نمود. سیم جوشهای که معمولا برای این منظور بکار می رود و در این شرایط قرار دارد ،الکترود ER 70 S- 6و ER 70 S- 3 می باشد. این الکترودها برای شرایط اکسیدزدایی کافی با اضافه نمودن عناصری مثل منگنز و سیلیکون طراحی شده اند.

الکترودهای پایه نیکلی

شامل برنز و یا بالاترین حد نیکل هستند که برای جوشکاری چدن بکار می روند. این الکترودها زمانی بکار می روند که دقت بالایی برای فلز

جوش وجود داشته و رسوب جوش می بایستی تحت عملیات ماشین کاری قرار گیرد.

بیشتر این نوع الکترودها شامل مقادیر زیادی نیکل (99% یا بیشتر) بوده و هیچگونه عناصر اکسیدزدای اضافی ندارند. الکترودهای دیگر که در این گروه قرار می گیرند عبارتند از:

ERNi -1 که در استاندارد ANSI / AWSA 5. 14 آورده شده است. این الکترود شامل تقریبا 4% تیتانیوم (Ti) بعنوان یک اکسیدزدا است که باعث تشکیل کاربید تیانیوم، افزایش سختی فلز جوش رسوب داده شده می گردد.

جدول شماره 8 گازهای محافظی که برای جوشکاری مناسب است و همچنین پارامترهای جوشکاری را توصیه می نماید.

Table 8 GMAW parameters for nickel-base electrodes used to weld cast irons

Electrode diameter		Shielding gas	Wire-feed speed		Arc voltage, V	Current(a), A	Electrode extension		Travel speed	
mm	in.		in./min	mm/s			in.	mm	in./min	mm/s
0.9	0.035	75Ar/25CO_2	300	130	24	130	1/2	13	15	6.5
			400	170	25	160	1/2	13	15	6.5
			500	210	27	200	1/2	13	15	6.5
		CO_2	300	130	24	125	1/2	13	15	6.5
			400	170	25	155	1/2	13	15	6.5
			500	210	26	180	1/2	13	15	6.5
			575	245	27	200	1/2	13	15	6.5
		Argon	300	130	26	150	1/2	13	15	6.5
			400	170	27	190	1/2	13	15	6.5
			500	210	28	220(b)	1/2	13	15	6.5
			575	245	29	250(b)	1/2	13	15	6.5
1.2	0.045	75Ar/25CO_2	250	105	27	180	5/8	16	15	6.5
			300	130	28	190	5/8	16	15	6.5
			350	150	29	220	5/8	16	17	7.0
			400	170	30	240	5/8	16	20	8.5
			500	210	32	280	5/8	16	25	10.5
		CO_2	250	105	26	165	5/8	16	15	6.5
			300	130	27	180	5/8	16	15	6.5
			350	150	28	220	5/8	16	17	7.0
			400	170	29	230	5/8	16	20	8.5
			500	210	31	270	5/8	16	25	10.5
		Argon	250	105	27	190	5/8	16	15	6.5
			300	130	28	220	5/8	16	15	6.5
			350	150	29	240(b)	5/8	16	17	7.0
			400	170	30	275(b)	5/8	16	20	8.5
			500	210	32	310(b)	5/8	16	25	10.5
1.6	0.062	75Ar/25CO_2	150	65	27	235	5/8	16	17	7.0
			175	75	28	235	5/8	16	17	7.0
			200	85	29	285	5/8	16	20	8.5
			225	95	30	320	5/8	16	25	10.5
		CO_2	150	65	27	220	5/8	16	17	7.0
			175	75	28	245	5/8	16	17	7.0
			200	85	29	265	5/8	16	20	8.5
			225	95	30	285	5/8	16	25	10.5
		Argon	150	65	27	240	5/8	16	17	7.0
			175	75	28	265	5/8	16	17	7.0
			200	85	29	300(b)	5/8	16	20	8.5
			225	95	30	350(b)	5/8	16	25	10.5

(a) Polarity, DCEP. (b) Spray transfer. Source: Ref 1

الکترودهای نیکل- آهن

این نوع الکترود، اغلب برای فرآیند GMAW کاربرد دارند. آنها دارای یک رسوب جوش سخت و بنابراین حساس به ترک نسبت به الکترودهایی که دارای مقدار زیاد نیکل هستند می باشند.

الکترودهای آهن- منگنز- نیکل

براساس آنچه که در شرایط جوشکاری SMAW گفته شد، اضافه نمودن منگنز باعث ایجاد مقاومت به ترک و بالا رفتن مقاومت فلز جوش رسوب داده شده می گردد.

در نتیجه، این مواد مصرفی برای جوشکاری انواع چدن های با مقاومت بالاتر چدن نرم مناسب هستند. بعضی از این چدنها عبارتند از: 12- 45- 65 و 06- 55- 80 مقدار سختی فلز جوش رسوب داده شده حدودا MRB 95- 80 است.

ترکیب این الکترود شامل Mn 12% و Ni 44% و مابقی آهن می باشد.

الکترود با پایه مس

این نوع الکترود شامل مقدار قابل توجه مس هستند تا برای اتصال یا روکش دهی چدن مورد استفاده قرار می گیرد- این الکترودها تحت عنوان ERMnNiAl, ER-CUAL-A2– ECuSn-A در استاندارد ANSI / AWS A 5.7 و در جدول 9 نیز ترکیب شیمیایی و حداقل خواص مکانیکی آنها آورده شده است.

Table 9 Composition and mechanical properties of copper-base electrodes used to join or surface cast iron in GMAW applications

AWS classification	Composition, wt%(a)											Mechanical properties		
	Cu + Ag	Zn	Sn	Mn	Fe	Si	Ni + Co	P	Al	Pb	Other elements (total)(b)	Hardness, HB	Tensile strength(c) MPa	Tensile strength(c) ksi
ECuSn-A	93.5(c)	(d)	4.0–6.0	(d)	(d)	(d)	(d)	0.10–0.35	0.01(d)	0.02(d)	0.50	70–85(e)	240	35
ERCuA1-A2	bal	0.02	···	···	1.5	0.10	···	···	9.0–11.0	0.02(d)	0.50	130–150(f)	415	60
ERCuMnNiA1	bal	0.15	···	11.0–14.0	2.0–4.0	0.10	1.5–3.0	(d)	7.0–8.5	0.02(d)	0.50	160–200(f)	515	75

(a) Single values are maximums. (b) Values, including elements marked with (d), shall not exceed value specified. (c) Minimum. (d) Total of these elements cannot exceed those in (b). (e) 4.9 kN (500 kgf) load. (f) 30 kN (3000 kgf) load. Source: Ref 1

فرآیندهای جوشکاری توپودری FCAW

و این روش نیز مانند فرآیند GMAW قوس الکتریکی بین یک الکترود مداوم و پیوسته و قطعه کار بوجود می آید. *تجهیزاتی* که برای فرآیند GMAW بکار می رود در فرآیند FCAW نیز می تواند بکار رود. عمل محافظ ممکن است توسط یک تجزیه شیمایی که توسط فلاکس که در فلز الکترود قرار داده شده و یا توسط یک گاز محافظ خارجی انجام شود در صورتی که توسط فلاکس باشد به خود محافظ و در صورت استفاده از گاز خارجی به گاز محافظ معروف است.

ترکیبات سیم جوش

الکترودها دارای مواد تشکیل دهنده سرباره، پایدار کننده قوس، مواد اکسیدزدا و آلیاژهای فلزی هستند براساس ترکیب و نوع گاز محافظ ممکن است یک جوش با نفوذ عمیق و یا کم بدست آید.

جدول ۹: ترکیب شیمیایی الکترودهای مناسب برای جوشکاری چدنها [۸]

الکترود	عدداستاندارد UNS	کربن	منگنز	سیلیسیم	گوگرد	آهن	نیکل	مس	آلومینیم	دیگرعناصر (مجموع)
ENi-CI	W۸۲۰۰۱	۲	۲/۵	۴	۰/۰۳	۸	حداقل ۸۵	۲/۵	۱	۱
ENi-CI-A	W۸۲۰۰۳	۲	۲/۵	۴	۰/۰۳	۸	حداقل ۸۵	۲/۵	۱-۳	۱
ENiFe-CI	W۸۲۰۰۲	۲	۲/۵	۴	۰/۰۳	باقی‌مانده	۴۵-۶۰	۲/۵	۱	۱
ENiFe-CI-A	W۸۲۰۰۴	۲	۲/۵	۴	۰/۰۳	باقی‌مانده	۴۵-۶۰	۲/۵	۱-۳	۱
ENiFeMn-CI	W۸۲۰۰۶	۲	۱۰-۱۴	۱	۰/۰۳	باقی‌مانده	۳۵-۴۵	۲/۵	۱	۱
ENiCu-A	W۸۴۰۰۱	۰/۳۵-۰/۵۵	۲/۳	۰/۷۵	۰/۰۲۵	۳-۶	۵۰-۶۰	۳۵-۴۵	–	۱
ENiCu-B	W۸۴۰۰۲	۰/۳۵-۰/۵۵	۲/۳	۰/۷۵	۰/۰۲۵	۳-۶	۶۰-۷۰	۲۵-۳۵	–	۱
Est	K۰۱۵۲۰	۰/۱۵	۰/۶	۰/۱۵	۰/۰۴	باقی‌مانده	–	–	–	–

انواع الکترود

انواع مختلف الکترود فرآیند FCAW شامل الکترود آهنی، نیکل- آهن و نیکل- آهن- منگنز می باشد.

جدول ۱۱ : مشخصات فنی و چگونگی کارکرد با الکترودهای چدنی EC۱ [۲].

قطر الکترود (mm)	شدت جریان (A)	ولتاژ (V)
۳	۱۵۰-۱۷۵	۲۵-۳۰
۴	۱۷۵-۲۰۰	۲۵-۳۰
۶	۲۰۰-۲۵۰	۲۵-۳۰
۸	۴۰۰-۵۰۰	۳۰-۳۲

الکترودهای فولادی

این نوع الکترودها در ANSI / AWS A 5. 20 دسته بندی شده اند. آنها بر اساس نوع سیستم سرباره و ملزومات گاز محافظ دسته بندی شده اند.

انواع الکترودهای گاز محافظ مثل: EXXT- 1 , EXXT- 2 دارای پایه اسیدی و * بوده و الکترود EXXT- 5 از نوع بازی است. الکترودهای بازی EXXT-5 برای جوشکاری چدن ترجیح داده می شوند. چون آنها دارای نفوذ کم تر، در نتیجه مقدار دقت پایین و مقاومت به ترک بیشتری هستند.

الکترودهای EXXT-8, EXXT- 7, EXXT- 4 الکترودهای فولادی هستند که بعنوان خود محافظ دسته بندی شده اند و نیازی به گاز محافظ اضافی ندارند. این الکترودها را می توان برای جوشکاری چدن نیز بکار برد. **رسوب** فلز جوش این الکترودهای نوع توپودری دارای سختی است و این سختی را از طریق دریافت کربن از طریق چدن بدست می آورد. در نتیجه انجام عملیات ماشین کاری سخت و حساسیت به ترک افزایش می یابد.

الکترودهای نیکل- آهن

الکترودهای تو پودری که دارای نسبت 70 به 30 آهن به نیکل هستند برای تعمیر قطعات سنگین مخازن چدنی بکار می رود. این قطعات سنگین چدن شامل پاشش های ناشی از ملاقه و قالب های ریختگی در کارخانجات فولاد و ریختگری هستند.

سختی بالای فلز جوش این الکترودها خطرناک نبوده زیرا برای پر نمودن خلل و فرج و نگهداری مقدار تراز مناسب هستند.

الکترودهای نیکل- آهن- منگنز

الکترودهای توپودری دارای نیکل- آهن- منگنز قبلا شرح داده شده است. ترکیب معمول آنها دارای 1% کربن و 5% منگنز و 40% آهن و مابقی نیکل می باشد. اضافه نمودن عنصر منگنز باعث بهبود مقاومت، نرمی و قابلیت ماشین کاری فلز جوش رسوب داده شده می گردد.

این الکترودها برای تقویت یا تعمیر چدنها، ساخت و روکش کاری و جوشکاری فلزات غیر همجنس بکار می رود.

شرایطی که برای جوشکاری این نوع الکترودها مورد نیاز است در جدول 10 آورده شده است.

Table 10 Typical welding parameters for FCAW of cast irons with nickel-iron-manganese electrodes

Electrode diameter		Weld type	AWS position specification	Wire feed speed		Current		Voltage, V
mm	in.			mm/s	in./min	A	Polarity	
2.0	5/64	Flat butt or fillet	1G,F	101	240	300	DCEP	30
2.0	5/64	Vertical butt or fillet	3G,F	55	130	180	DCEP	18–25
2.4	3/32	Flat butt or fillet	1G,F	90	215	320	DCEP	32
2.4	3/32	Flat overlay(a)						
		First layer	···	88	210	250	DCEN	29–33
		Remaining layers	···	113	270	350	DCEP	28–30

(a) Oscillation recommended: 19 to 25 mm (3/4 to 1 in.) width, 26 to 40 cycles per minute. Overlap previous bead 6.4 to 9.6 mm (1/4 to 3/8 in.). Source: Ref 1

جوشکاری با فرآیند GTAW

در این فرآیند قوس الکتریکی بین الکترود تنگستن (غیر مصرفی) و قطعه کار بوجود می آید گاز محافظ یک گاز غیر فعال یا بی اثر مثل آرگون یا یک گاز مخلوط است. در این فرآیند می تواند بطور خودکار سیم جوشی را تغذیه نموده (Autogenous) و یا از یک سیم جوش جداگانه استفاده نمود. سیم جوش های مصرفی مشابه همان الکترودهایی است که برای فرآیند GMAW

بکار می رود. اگر چه الکترود ENi-1 که دارای تیتانیوم است برای این فرآیند توصیه می گردد.

در فرآیند GTAW برای جوشکاری چدن از سیم جوشهای نیکل یا با پایه نیکل همراه با گاز آرگون استفاده می شود

دستورالعمل مناسب برای این فرآیند این است که مقدار دقت با فلز پایه کنترل و محدود شود. از طرف دیگر، یکی از مهمترین مسائل این است که سطوح شیاری که بایستی جوش داده شود بایستی کاملا تمیز و عاری از هرگونه آلودگی باشد.

طرح اتصال می بایستی بمقدار کافی پهن باشد تا دسترسی آسان تورچ جوشکاری جهت حفظ گاز اضافی امکان پذیر باشد.

مرجع:

ASM Handbook”
Volume 6
Welding, Brazing, and Soldering