

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



راهنمای جوشکاری آلومینیم و چدن

امیرحسین کوکبی



انتشارات جامعه ریخته‌گران ایران





راهنمای

جوشکاری آلومینیم و چدن

امیرحسین کوبی

استادیار دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی متالورژی

وکت زرد برای
۱۵

TS

۲۲۷

۱۸۷

۱۲۹

۲۲

مرکز پژوهش‌های علمی و تخصصی
کتابخانه مرکزی
شماره: ۲۸۴ تاریخ: ۱۳۸۲/۲/۲۲

نام کتاب : راهنمای جوشکاری آلومینیم و چدن
نویسنده : امیر حسین کوکبی
ناشر : جامعه ریخته‌گران ایران
تیراژ : ۲۵۰۰ نسخه
نوبت چاپ : اول
تاریخ چاپ : خرداد ماه ۱۳۶۲
چاپ‌رشدیه

حق چاپ محفوظ و مخصوص جامعه ریخته‌گران ایران است .

فهرست مطالب

فصل اول جوشکاری آلومینیم

۱	مقدمه:
۲	انتخاب روش جوشکاری
۳	مشکلات عمده در جوشکاری آلومینیم
۳	خواص حرارتی
۶	اثرات ناشی از سیکل حرارت جوشکاری
۷	ترک برداشتن
۱۰	لایه اکسیدی
۱۲	جذب گاز
۱۳	طراحی جوش
۱۵	روشهای مختلف جوشکاری آلومینیم
۱۵	قوس - فلز با محافظت گاز خنثی MIG , TIG
۳۶	جوشکاری با گاز یا شعله
۴۷	جوشکاری با الکتروود دستی
۴۹	جوشکاری مقاومتی
۵۴	جوشکاری حالت جامد
۵۶	لحیم کاری سخت و نرم

فصل دوم جوشکاری چدن

۶۳	مقدمه:
۷۱	دسته بندی روشهای جوشکاری
۷۱	عواملی که بر روی کیفیت منطقه جوش داده شده تأثیر دارند
۷۳	منطقه ذوب
۷۴	منطقه ذوب جزیی و متاثر از جوش
۷۵	خلل و فرج
۷۶	ترک برداشتن و الماسه شدن
۷۷	پیش گرم کردن

۷۸	تکنیک رسوب دادن
۷۸	سرباره، فلاکس و گازهای محافظ
۷۸	عملیات حرارتی پس گرم کردن
۷۸	جوشکاری چدن با روش قوس - الکتروود دستی
۸۸	زر جوش یا جوش برنج با قوس
۹۰	روش جوشکاری قوس الکتریکی محفوظ در گاز MIG , TIG
۹۳	روش جوشکاری با گاز یا شعله
۹۹	لحیم کاری سخت
۱۰۳	لحیم کاری نرم
۱۰۹	مآخذ

پاورقی‌ها

۷	پاورقی ۱ - ترک برداشتن در جوش
۱۱	پاورقی ۲ - میزان یا درجه رقت
۱۶	پاورقی ۳ - روش جوشکاری MIG
۲۳	پاورقی ۴ - دهانه انتهای
۲۴	پاورقی ۵ - جریان ضربانی
۲۶	پاورقی ۶ - روش جوشکاری TIG
۲۹	پاورقی ۷ - زیر - برش یا سوختگی کناره
۳۷	پاورقی ۸ - جوشکاری با گاز
۵۰	پاورقی ۹ - جوشکاری مقاومتی
۵۵	پاورقی ۱۰ - جوشکاری حالت جامد
۵۷	پاورقی ۱۱ - لحیم کاری سخت و نرم
۶۳	پاورقی ۱۲ - توضیح مختصر در مورد چدن‌ها
۷۴	پاورقی ۱۳ - توضیح مختصر در مورد بعضی فازهای زمینه چدن‌ها
۷۶	پاورقی ۱۴ - درجه مهار یا ممانعت
۹۱	پاورقی ۱۵ - مشخص کردن بعضی اصطلاحات در یخ سازی لبه‌ها

بنام خدا

یکی از عوامل استضعاف کشورهای جهان سوم نیاز به تکنولوژی قطب‌های بزرگ صنعتی جهان است. وسایل، ابزار و عوامل مختلفی لازم است تا این کشورها از جمله کشور ما از این وابستگی‌های اسف‌بار رهایی یافته و به استقلال علمی و صنعتی نایل شوند. توسعه مراکز تحقیقاتی، آموزشی و تشویق معنوی و مادی محققین، معلمین و متعلمین در همه سطوح یکی از عوامل مؤثر برای رسیدن سریع تر به هدف فوق است. تالیف و آماده سازی مقالات و کتب در زمینه وسیع فنون مختلف در جوی که جوانان و صنعتگران شوق در تولیدات صنعتی و خودکفایی دارند از وظائف مهم هرفرد کارشناس و متخصص است.

علم، هنر و فن جوشکاری آنطور که باید در صنایع ما شناخته شده نیست، فقط یکی دو فرآیند جوشکاری آنهم بیشتر برای اتصالات فولادهای ساده کربنی متداول است. در صورتیکه فرآیندهای مختلفی بامزایا و محدودیت‌های فراوان ابداع شده و بر روی انواع فلزات، آلیاژها و حتی غیرفلزات بکار برده میشود. استفاده از تکنیک جوشکاری صرفاً " برای اتصال دو یا چند جزء به یکدیگر نیست بلکه بازسازی عیوب در قطعات ریختگی و تعمیر قطعات شکسته یا سائیده شده نیز از موارد مهم کار بردی این فن است.

مراوده و ارتباط با مهندسین و استادکاران جوشکار و تشویق آنان و احساس تعهد و وظیفه انگیزهای شد تا نگارنده در خلال بعضی فعالیت‌های تحقیقاتی، آموزشی مطالبی را در زمینه جوشکاری آماده کند که قسمتی از آن در ارتباط با جوشکاری آلومینیم و چدن در این کتاب آمده است چون بنظر میرسد اشکالات و سئوالات زیادی در مورد جوشکاری آنها وجود دارد.

این کتاب شامل دو فصل: جوشکاری آلومینیم (و آلیاژهای مهم آن) و جوشکاری انواع چدن‌ها است. در هر مورد ابتداء شناختی کلی در باره خصوصیات انواع آلیاژهای آلومینیم و چدن‌ها داده شده، سپس ضمن توضیحات علمی و عملی از مشکلات در جوشکاری اینگونه مواد، روشهای متداول جوشکاری آنها توضیح داده شده است. سعی شده تا فرآیندهای مختلف جوشکاری و بعضی اصطلاحات و نکات تئوری که ضمن بحث نامی از آنها برده شده بطور خلاصه با خطر ریز در پاورقی‌ها توضیح داده شوند.

کوشش بر این بوده تا کتاب به گونه‌ای نوشته شود که در کنار شرح مبانی علمی و آموزشی از جنبه‌های عملی و کاربردی به زبان ساده نیز برخوردار بوده و برای همگان در اتصال یا تعمیرات و بازسازی قطعات آلومینیمی و چدنی شکسته شده، مستهلک یا حاوی عیوب ریختگی قابل استفاده باشد.

در خاتمه وظیفه خود می‌دانم تا از اعضاء دبیرخانه و گروه انتشارات جامعه ریختگران

ایران بویژه آقای رحیم قاسمیان و خانم ثریا محمودیان که در تنظیم و چاپ کتاب تسهیلات و همکاری‌های لازم را فراهم کرده‌اند تشکر کنم .

امید است این خدمت ناچیز مفید بوده باشد و اساتید گرامی و جوشکاران مجرب نویسنده را از نظرات اصلاحی و راهنمایی‌های خود در مورد این کتاب و مطالب مفید فنی مشا به بی نصیب نگذارند. مزید تشکر و امتنان است .

با توفیق الهی برای شما

امیر حسین کوکبی

۶۲/۳/۱

فصل اول

جوشکاری آلومینیم

مقدمه

قبل از شروع بحث در مورد جوشکاری آلومینیم بد نیست به طور مختصر با آلومینیم و آلیاژهای آن آشنا شویم. آلومینیم فلزی است سبک و برخی از آلیاژهای آن از نظر استحکام با فولاد رقابت می کنند. قابلیت شکل پذیری خوب آن در درجه حرارت های زیر صفر هم محفوظ مانده و مقاومت بالایی در مقابل خوردگی عرضه می کند. آلومینیم قابلیت هدایت حرارتی و الکتریکی خوبی داشته و غیر مغناطیسی و غیر جرقه زار است. آلومینیم را می توان به آسانی در ساختن اشیاء و اسکلت های مختلف بکاربرد. آنرا می توان ریخت، نورد و آهنگری کرده و به اشکال گوناگون در آورد. آلومینیم خالص در ۱۲۲۰ درجه فارنهایت (۶۶۰ درجه سانتیگراد) و آلیاژهای آن بین ۹۰۰ درجه فارنهایت (۴۸۲ درجه سانتیگراد) تا ۱۲۲۰ درجه فارنهایت ذوب می شوند. در اثنای گرم و ذوب شدن تغییر رنگی در آن دیده نمی شود که این خود مشکلی در جوشکاری بوجود می آورد. آلومینیم، همانند اغلب فلزات بیشتر بصورت آلیاژهایش در صنعت مصرف و استفاده می شود. این فلز با خیلی از عناصر و فلزات دیگر بسهولت آلیاژ می شود. مهمترین این فلزات عبارتند از: مس، منگنز، سیلیسیم، منیزیم، روی و آهن.

تقسیم بندی انواع آلیاژهای آلومینیم اساساً بر نحوه بالا بردن استحکام آنها در اثر افزایش عناصر آلیاژی قرار دارد. این آلیاژها بطور کلی دو گروه هستند:

الف: آلیاژهای آلومینیم "قابل عملیات حرارتی" heat-treatable alloys

ب: آلیاژهای آلومینیم "غیر قابل عملیات حرارتی" non heat-treatable alloys

از طرف دیگر نوع آلومینیم یا آلیاژ در دسترس هم بر روی رده بندی آنها تأثیر دارد.

بعنوان مثال آلومینیم را می توان به دودسته ریخته شده (درماده، بصورت تحت فشار، در قالب فلزی) و شکل داده شده wrought (ورق، لوله، میل، سیم و...) تقسیم بندی کرد. نوع دیگر آلومینیم عرضه شده که تقریباً " همان شکل داده شده است بصورت پوشش دار (clad) می باشد که این پوشش از جنس آلومینیم خالص یا آلیاژهای مخصوص آن باقشری برابر ۱۵ - ۲ درصد کل ضخامت قطعه بوده و هدف آن بالا بردن مقاومت در برابر خوردگی است.

استحکام ابتدایی آلیاژهای آلومینیم "غیرقابل عملیات حرارتی" به اثر سخت کردن عناصری نظیر سیلیسیم، آهن، منگنز و منیزیم بستگی دارد. این عناصر از طریق حل شدن، ایجاد فاز مخصوص یا تغییر فازها، باعث بالا بردن استحکام و سختی می شوند. این آلیاژها اصولاً " رده های ۱۰۰۰، ۳۰۰۰ (بامنگنز)، ۴۰۰۰ (باسیلیسیم) و ۵۰۰۰ (بامنیزیم) آنهم مطابق با استاندارد Aluminum Association Designation شناخته می شوند. آلیاژهای آلومینیم - منیزیم ۵۰۰۰ از استحکام بالایی برخوردارند. باید توجه داشت که همه این آلیاژها قابل سخت شدن از طریق کار سرد (نورد، آهنکری و...) هستند و برعکس برای برگشت نرمی می توان قطعه ای را که تحت کار سرد قرار گرفته است آنیل کرد. درجه حرارت و زمان آنیل کردن به نوع آلیاژ، میزان کار سختی انجام شده و برگشت، بستگی دارد.

استحکام ابتدایی آلیاژهای آلومینیم "قابل عملیات حرارتی" شبیه گروه بالانیزه عناصر آلیاژی موجود در آلیاژ بستگی دارد، اما عناصری نظیر مس، منیزیم، روی و سیلیسیم به تنهایی یا بصورت مخلوط های گوناگون استحکام قطعه را بطور قابل ملاحظه ای در اثر عملیات حرارتی بالا می برند. البته این گروه نیز همانند گروه اول تحت انجام کار سرد یا کار سختی محکم و سخت تر می شوند. آلیاژهای آلومینیم در این گروه بصورت رده های ۲۰۰۰ (بامس) ۴۰۰۰ (باسیلیسیم)، ۶۰۰۰ (بامنیزیم و سیلیسیم) و ۷۰۰۰ (باروی) شناخته می شوند.

جدول (۱) ترکیب شیمیایی، خواص مکانیکی و قابلیت جوشکاری بر روی آلیاژهای مختلف را نشان می دهد.

انتخاب روش جوشکاری

آلومینیم و آلیاژهای آن با انواع روش های جوشکاری ذوبی (MIG ، TIG) الکتروم دستی، شعله، مقاومتی، لحیم سخت و نرم و روش های مکانیکی قابل متصل شدن به یکدیگر و حتی با بعضی فلزات دیگر هستند. البته در بعضی موارد به فنون، روش ها و وسایل خاصی نیاز است، یا بعضی از روش های جوشکاری برای تعدادی از آلیاژها تجویز نمی شوند. نوع آلیاژ، وضعیت اتصال، استحکام مورد نیاز، ظاهر و قیمت یا هزینه تمام شده عواملی هستند که در انتخاب روش تأثیر دارند. هر روشی مطمئناً دارای مزایا و محدودیت هایی خاص

خود است (معرفی مختصر روش‌های جوشکاری در ادامه بحث درپاورقی‌ها آورده خواهد شد). کاربرد و عمر قطعه جوش داده شده، تعیین کننده نوع آلیاژ، عملیات حرارتی مربوطه و روش اتصال مناسب است. همچنین طرح اتصال در انتخاب روش اتصال مؤثر است. بعنوان مثال جوش مقاومتی (نقطه‌ای یا نواری)، جوش با امواج صوتی (Ultrasonic)، جوش فشاری و لحیم کاری سخت و نرم و چسبانیدن با چسب‌های مخصوص برای اتصالات روبه‌هم (Lap) مناسب هستند. در حالیکه برای اتصالات سربرسر (Butt) جوش با قوس الکتریکی محفوظ در گاز و جوش با گاز یا شعله و حتی جوش جرقه‌ای (Flash) و الکتروبییم ترجیح داده می‌شوند. ضخامت قطعه عامل مؤثر دیگری در این مورد است. بعنوان مثال روش الکتروود دستی برای ضخامت بین ۱۲۵/۱۰ تا ۱ اینچ و جوش مقاومتی نقطه‌ای Resistance spot برای ضخامت‌های صدم و هزارم اینچ foil تا ۱۸۷/۱۰ اینچ مناسب است. انتخاب روش جوشکاری ضما " به این نکته بستگی دارد که عملیات اتصال مربوط به قطعات کوچک و قابل حمل و نقل در کارگاه و مغازه است، یا اینکه در یک ساختمان واسکلت مربوط به واحد صنعتی در نقطه‌ای دور افتاده صورت می‌گیرد.

نکته قابل توجه دیگر خواص مورد نظر برای اتصال نظیر استحکام، خاصیت ضربه پذیری، خستگی، مقاومت خوردگی و شرایط دیگر قطعه جوش داده شده حتی کیفیت ظاهری مسیر اتصال و احیاناً "نیاز به عملیات سطحی بر روی آن (نظیر آب دادن Electroplating) می‌باشد. بعنوان مثال جوشکاری با گاز یا شعله نسبت به روش TIG یا روش الکترو بییم خواص منطقه وسیع‌تری را در مجاور جوش تحت تأثیر و دگرگونی قرار می‌دهد. این تأثیر ممکن است با کاهش استحکام یا تقلیل خواص خوردگی یا برعکس با افزایش سختی و تردی همراه باشد. با توجه به نکات بالا، تعداد قطعات مورد اتصال و هزینه تمام شده آنها است که روش جوشکاری و فرآیند اتصال مناسب انتخاب می‌شود.

مشکلات عمده در جوشکاری آلومینیم

قبل از بحث در مورد روشهای مختلف جوشکاری قطعات آلومینیم و آلیاژهای آن، به مشکلات عمده و اساسی که در این راه وجود دارد اشاره می‌شود. احتمال دارد که یک یا تعدادی از این مشکلات در بعضی روشها شدید و در برخی دیگر خفیف باشند. این مشکلات عبارتند از:

۱- خواص حرارتی: نقطه ذوب نسبتاً " پائین آلومینیم و عدم تغییر رنگ در حین افزایش درجه حرارت و حتی در حالت ذوب مشکلاتی را از نظر قضاوت ظاهری بر روی درجه حرارت موضع جوشکاری بوجود می‌آورد. جوشکار کم تجربه ممکن است در اثر نگهداشتن زیاد قوس الکتریکی یا شعله بر روی یک منطقه باعث فوق گداز شدن ذوب شده و سبب شود

							0.1%Cu, 0.3%Si, 0.5%Mn, 2.0%Mg, 4%Zn 0.2% Cr	7039	
C	X	C	A	C	X	X	0.6%Cu, 0.2%Mn, 3.3%Mg, 4.3%Zn, 0.2%Cr	7079	
C	X	C	A	C	X	X	2.0% Cu, 2.7% Mg, 6.8% Zn, 0.3% Cr	7178	
C	C	X	A	A	A	A	0.6% Cu , 5% Si	443.0	
C	X	X	B	B	B	C	4% Cu , 3% Si	43-F	
C	X	X	C	B	C	C	7% Cu , 2% Si	208.0	
X	X	X	B	A	C	C	4% Mg	108-F	
X	X	X	B	B	C	C	1.8% Si , 4% Mg	213.0	
X	X	X	B	A	C	C	0.5% Si , 4% Mg	C113-F	
B	A	X	C	B	C	C	0.5% Cu , 0.7% Mg , 6.5% Zn	514.0	
B	A	X	C	B	C	C	0.6% Mg , 5.8% Zn	214-F	
X	X	X	B	B	B	B	4% Cu, 3% Si	B514.0	البازهای
X	X	X	C	C	X	X	10% Cu , 4% Si , 0.3% Mg	B214-F	
X	X	X	B	A	C	C	4% Mg , 1.8% Zn	F514.0	ریختگی
B	A	X	C	B	C	C	7% Si	F214-F	آلومینیم
C	B	X	A	A	A	A	0.5% Cu , 0.35% Mg , 6.5% Zn	A712.0	عملیات
X	X	X	C	B	B	B	12% Si	A612-F	حرارتی
X	X	X	C	B	X	X	8% Mg	D612-F	ناپذیر
X	X	X	C	B	X	X	9.5% Si , 0.5% Mg	208.0	
C	X	X	C	B	X	X	3.5% Cu , 9% Si	A108-F	
X	X	X	C	C	C	C	10% Cu , 0.2% Mg	238.0	
X	X	X	C	C	C	C	4% Cu , 1.5% Mg , 2% Ni	138-F	
C	X	X	C	C	C	C	4.5% Cu , 1.1% Si	A514.0	
X	X	X	C	B	X	X	10% Mg	A214-F	
X	X	X	B	B	B	C	3.5% Cu , 6% Si	A444.0	
X	X	X	B	B	B	B	1.3% Cu , 5% Si , 0.5% Mg	A344-F	
C	C	X	A	A	A	A	7% Si , 0.3% Mg	C712.0	
X	X	X	B	B	C	C	1% Cu, 12% Si, 1% Mg, 2.5% Ni	C612-F	
X	X	X	C	B	C	C	3% Cu , 9.5% Si , 1% Mg	413.0	
X	X	X	C	C	X	X	8% Cu , 6% Mg , 0.5% Ni	13-F	
X	X	X	B	B	B	C	3.5% Cu , 9% Si	518.0	
X	X	X	B	B	B	B	1.8% Cu , 9% Si , 0.5% Mg	218-F	
X	X	X	B	B	B	B	1.3% Cu , 5% Si , 0.5% Mg	360.0	
C	C	X	A	A	A	A	7% Si , 0.3% Mg	360-F	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.5% Mg	380.0	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	380-F	
X	X	X	C	C	C	C	10% Cu , 0.2% Mg	222.0	
X	X	X	C	C	C	C	4% Cu , 1.5% Mg , 2% Ni	122	
C	X	X	C	C	C	C	4.5% Cu , 1.1% Si	242.0	
X	X	X	C	B	X	X	10% Mg	142	
X	X	X	B	B	B	C	3.5% Cu , 6% Si	295.0	
X	X	X	B	B	B	B	1.3% Cu , 5% Si , 0.5% Mg	195	
C	C	X	A	A	A	A	7% Si , 0.3% Mg	520.0	
X	X	X	B	B	C	C	1% Cu, 12% Si, 1% Mg, 2.5% Ni	220	
X	X	X	C	B	C	C	3% Cu , 9.5% Si , 1% Mg	319.0	
X	X	X	C	C	X	X	8% Cu , 6% Mg , 0.5% Ni	319	
X	X	X	B	B	B	C	3.5% Cu , 9% Si	355.0	
X	X	X	B	B	B	B	1.8% Cu , 9% Si , 0.5% Mg	355	
X	X	X	B	B	B	B	1.3% Cu , 5% Si , 0.5% Mg	355.0	
C	C	X	A	A	A	A	7% Si , 0.3% Mg	356	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.5% Mg	A332.0	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	A132	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	F332.0	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	F132	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	240.0	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	A240	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	333.0	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	333	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	354.0	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	354	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	C355.0	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	C355	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	A356.0	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	A356	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	A357.0	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	A357	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	359.0	
C	B	X	B	A	A	A	7% Si , 0.6% Mg	359	

www.Iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسیان مواد

گروه	مشخصه آلومینیوم	ترکیب شیمیایی	قابلیت جوشکاری						
			جوشکاری با گاز	جوشکاری قوس با فلکس	جوشکاری قوس با گاز خنثی	جوشکاری مقاومتی	جوشکاری فشاری	لحم کاری سخت	لحم کاری نرم با فلکس
آلایزهای کار شده (نوردی) آلومینیوم عملیات حرارتی ناپذیر	EC	حدافل A1 99.45%	A	A	A	B	A	A	A
	1060	حدافل A1 99.6%	A	A	A	B	A	A	A
	1100	حدافل A1 99.0%	A	A	A	A	A	A	A
	3003	1.2% Mn	A	A	A	A	A	A	A
	3004	1.2% Mn , 1% Mg	B	A	A	A	B	B	B
	5005	0.8% Mg	A	A	A	A	A	B	B
	5050	1.4% Mg	A	A	A	A	A	B	B
	5052	2.5% Mg , 0.25% Cr	A	A	A	A	B	C	C
	5652	2.5% Mg	A	A	A	A	B	C	C
	5252	0.4% Mg	A	A	A	A	A	A	A
	5257	0.3% Mn , 1% Mg	B	A	A	A	A	B	B
	5457	0.25% Mn , 0.6% Mg	A	A	A	A	A	A	A
	5557	0.8% Mg	A	A	A	A	A	B	B
	5657	0.65% Mn , 4.45% Mg , 0.15% Cr	C	C	A	A	C	X	X
	5083	0.45% Mn , 4% Mg , 0.1% Cr	C	C	A	A	B	X	X
	5086	3.5% Mg , 0.25% Cr	B	A	A	A	B	X	X
آلایزهای کار شده (نوردی) آلومینیوم عملیات حرارتی پذیر	5154	0.8% Mn , 2.8% Mg , 0.1% Cr	B	B	A	A	B	X	X
	5254	0.8% Mn , 5.2% Mg , 0.1% Cr	C	C	A	A	C	X	X
	5454	4.4% Cu , 0.8% Si , 0.8% Mn , 0.4% Mg	X	C	C	A	C	X	C
	5456	4% Cu , 0.8% Mn , 0.8% Mg	X	C	C	A	C	X	C
	2014	4.5% Cu , 0.6% Mn , 1.5% Mg	X	C	C	A	C	X	C
	2017	4.0% Cu , 1.5% Mg , 2% Ni	X	C	C	A	C	X	C
	2024	6.2% Cu , 0.3% Mn	X	C	C	A	C	X	C
	2218	2.3% Cu , 1.5% Mg , 1.1% Ni	X	C	C	A	C	X	C
	2219	0.25% Cu , 0.6% Si , 1.0% Mg	A	A	A	A	B	A	B
	2618	0.4% Si , 0.7% Mg	A	A	A	A	B	A	B
	6061	0.27% Cu , 1.35% Si , 0.7% Mn , 0.85% Mg	C	B	A	A	C	C	A
	6063	0.5% Cu , 0.55% Mn	A	A	A	A	A	A	A
	6070	0.7% Si , 0.75% Mg	A	A	A	A	A	A	A
	6101	0.25% Cu , 0.35% Si , 0.6% Mg	A	A	A	A	A	A	A
	6201	0.4% Cu , 0.4% Mg , 4.5% Zn , 0.13% Cr	A	A	A	A	A	B	B
	6951	0.1% Cu , 0.2% Si , 0.2% Mn , 0.2% Mg , 4% Zn	X	X	X	A	B	C	B
	7005		X	X	X	A	B	C	B

قابلیت جذب گازها و روانیت ذوب بالا رود، به این ترتیب کنترل فلز جوش مقدور نخواهد بود و احتمال محبوس شدن حباب در مذاب پس از انجماد افزایش می یابد.

اگر چه نقطه ذوب آلومینیم نسبت به فولاد کمتر است اما حرارت لازم برای ذوب هر گرم آلومینیم تقریباً " معادل مقدار حرارت ذوب مورد نیاز برای همان مقدار فولاد می باشد و در عین حال هدایت حرارتی آلومینیم تقریباً " ۵ - ۳ برابر فولاد است. بنابراین سرعت انتقال حرارت به اطراف مسیر جوش در حین جوشکاری آلومینیم بمراتب سریع تر از فولاد می باشد. این بدان معنی است که اگر منبع حرارتی جوشکاری قوی نباشد حرارت ایجاد شده در قوس یا شعله باندازه های نخواهد بود که حرارت منتقل شده به اطراف را جبران کرده و مقداری هم صرف ذوب شود. در این موارد باید از منبع حرارتی بزرگتر با شدت بیشتر استفاده کرد یا به فکر پیش گرم کردن قطعه افتاد تا شیب حرارتی مسیر جوش با مناطق اطراف کاهش یافته و بدین ترتیب حرارت بیشتری صرف ذوب کردن شود.

انبساط یک قطعه آلومینیمی در حین گرم کردن و یا انقباض آن در اثنای سرد شدن تقریباً " دو برابر قطعه فولادی تحت شرایط مشابه است. انقباض حین انجماد آلومینیم حدود ۵ درصد حجمی می باشد. این کاهش حجم حین انجماد و انقباض در اثنای سرد شدن تا درجه حرارت محیط می تواند به تمرکز تنش های داخلی منجر شود که به پیچیدگی یا ترک برداشتن در قطعه ختم می شود.

۲- اثرات ناشی از سیکل حرارت جوشکاری: حرارت موضعی که برای جوشکاری لازم است به بعضی تغییرات در خواص مناطق مجاور جوش منجر می شود. گاهی اوقات این تغییرات در فلز جوش، منطقه مجاور آن و فلز اصلی کاملاً " مشهود است. بعنوان مثال آلیاژهای آلومینیم که در اثر عملیات حرارتی یا کار سختی سخت و مستحکم شده اند در اثر حرارت ناشی از جوشکاری در مناطق مجاور خط جوش غالباً " نرم می شوند. میزان نرمی و وسعت آن به عوامل زیر بستگی دارد:

الف: خصوصیت حرارتی و شدت تمرکز حرارت روش جوشکاری

ب: سرعت پیشرفت جوشکاری

ج: اندازه قطعه و طرح اتصال

د: ترکیبات و نوع آلیاژ

باید به این نکته هم اشاره شود که اثرات حرارتی در منطقه مجاور خط جوش بر روی مقاومت این مناطق در مقابل محیط های خورنده هم تأثیر دارد و تغییر اندازه دانه ها یا رسوب بعضی ترکیبات بین فلزی و یا ناخالصی ها در مرز دانه ها می تواند کاهش خواص خوردگی را تشدید کند.

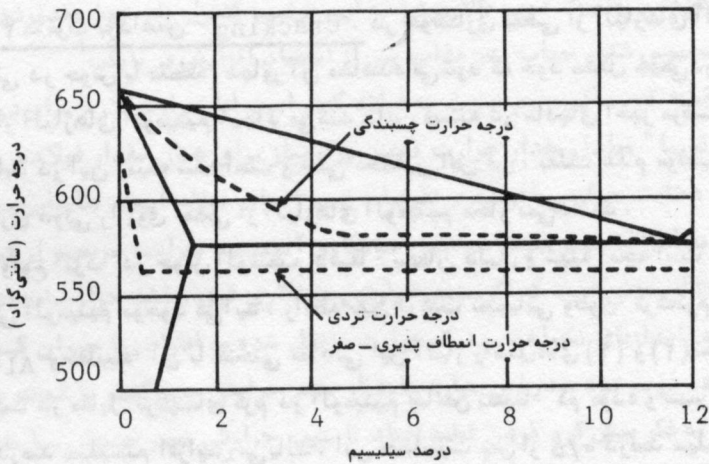
۳- ترک برداشتن Cracking: در جوشکاری بعضی از آلیاژهای آلومینیم وقوع ترک‌هایی در جوش یا منطقه مجاور آن مشاهده می‌شود که خود مشکل مهمی در جوشکاری این دسته از آلیاژهای آلومینیم ایجاد می‌کند. این مسئله در سالهای اخیر موضوع بسیاری از تحقیقات در این زمینه شده است و حتی محققین این فن، بعلت عدم موفقیت برایین مشکل جوشکاری ذوبی را روی بعضی از آلیاژهای آلومینیم مجاز نمی‌دانند.

وقوع "ترک" در جوش آلومینیم دقیقاً "بهمان دلیل و شبیه آنچه است که در قطعه ریختگی آلومینیم بوجود می‌آید. رابطه بین ترکیب شیمیایی و طول "ترک گرم" در مورد آلیاژ Al-Si و مقایسه آن با منحنی تعادلی این آلیاژ را شکل‌های (۱) و (۲) نشان می‌دهند. حساسیت در مقابل ترک‌های گرم در آلومینیم خالص نسبتاً کم بوده و سپس با اضافه شدن درصد سیلیسیم افزایش می‌یابد. این حساسیت پس از ۵/۰ درصد سیلیسیم مجدداً کاهش می‌یابد. این تغییرات با فاصله خط مایع و جامد که در منحنی تعادلی فاصله درجه حرارت چسبندگی و شروع شکل پذیری هم مشاهده می‌شود، مطابقت دارد. در هنگامیکه "فاصله درجه حرارت تردی" ماکزیمم است احتمال ایجاد "ترک برداشتن گرم" نیز به ماکزیمم خود می‌رسد. * (پاورقی ۱).

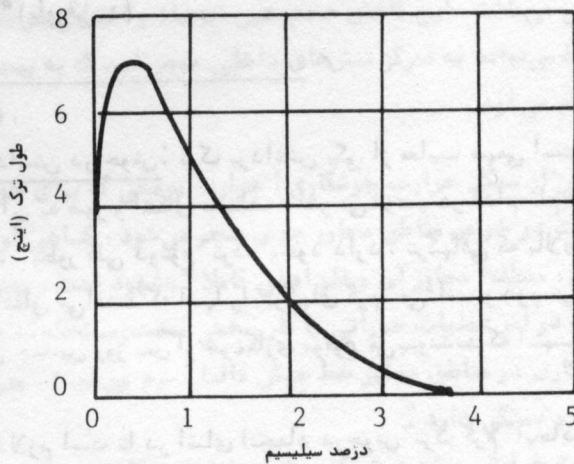
* (پاورقی ۱).

ترک برداشتن در جوش: ترک برداشتن یکی از معایب مهمی است که در فلز جوش یا منطقه مجاور آن به صورت اشکال مختلف ظاهر می‌شود و هر کدام نام‌های مختلف و دلایل گوناگونی دارد. بطور کلی دو نوع "ترک" وجود دارد. ترک‌هایی که بالای خط انجماد و در حین انجماد اتفاق می‌افتند که آنها را "ترک‌های گرم" می‌نامند و دوم ترک‌هایی که در زیر خط انجماد و حتی چندین روز پس از جوشکاری بوقوع می‌پیوندند که آنها را "ترک‌های سرد" می‌گویند.

دو شرط لازم است تا در اثنای انجماد در جوش "ترک گرم" ایجاد شود. اولاً باید نرمی و انعطاف پذیری فلز کم باشد. ثانیاً تنش کششی ناشی از انقباض ایجاد شده بین کریستال‌های جامد، از "تنش شکست" Fracture stress فلز در آن درجه حرارت تجاوز کند. برای درک بیشتر دو شرط فوق توضیح بیشتری در این مورد داده می‌شود. کریستال‌های جامد در هنگام سرد شدن جوانه زده و رشد می‌کنند. غلظت بعضی عناصر و ناخالصی‌ها در فاز مایع باقیمانده افزایش می‌یابد. از درجه حرارت معینی به بعد اتصال کریستال‌های جامد بصورت نوعی چسبیدگی می‌باشد و استحکامی نیز در بین کریستال‌ها ظاهر می‌شود. اما نرمی و قابلیت تغییر شکل پذیری صفر است. در ادامه سرد شدن از درجه حرارت خاصی



شکل ۱ - دیاگرام تعادل آلومینیم - سیلیسیم (خط پر)، همینطور درجات حرارت انعطاف پذیری صفرو چسبندگی (خط چین) حین سرد شدن

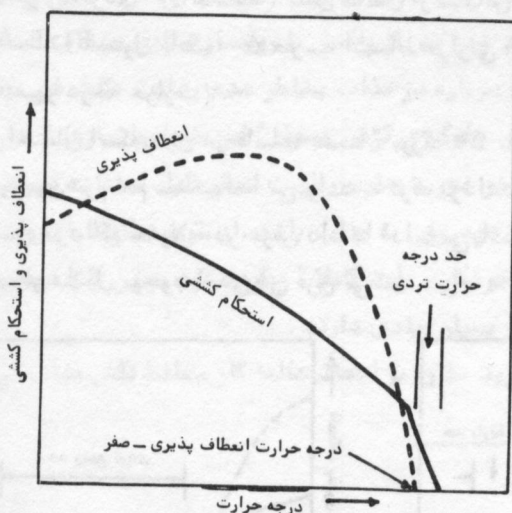


شکل ۲ - رابطه مقدار سیلیسیم و طول ترک در آلیاژهای آلومینیم - سیلیسیم

دیگر. nil-ductility temp. خاصیت انعطاف پذیری هم مشهود می شود که همراه با سرد شدن جامد با شیب زیادی افزایش می یابد. شکل (۳).

این افزایش پس از طی یک ماکزیم دوباره روبه کاهش می گذارد. فاصله درجه حرارت شروع استحکام تا درجه حرارت شروع انعطاف پذیری را "فاصله درجه حرارت تردی"

چون آلومینیم خالص در مقابل ناخالص شدن حساس است و خواص مکانیکی رضایتبخشی ندارد، از اینجهت باید برای کاهش حساسیت "ترکهای گرم"، جوش بر روی آلیاژهای حساس AL-Si را با الکترودها یا مفتولهای AL-Si با درصد بالای سیلیسیم انجام داد تا بادر نظر گرفتن میزان رقت (dilution)* (پاورقی ۲) ترکیب فلز جوش در سطحی آورده شود که در مقابل "ترکهای گرم" مقاوم باشد. بطورکلی برای جلوگیری از ایجاد ترک گرم در منطقه فلز جوش باید در انتخاب الکتروتود و مفتول دقت کافی مبذول داشت، هر چند پیش گرم کردن و انتخاب طرح صحیح و مناسب اتصال در جهت کاهش تنشهای انقباضی کمک بزرگی در تقلیل این مشکل است. (در جداول ۲ و ۳ و ۴ که در پایان این بخش آمده اند راهنمایی برای انتخاب الکتروتود یا مفتول مناسب بر حسب نوع قطعه و شرایط مورد نیاز برای اتصال آورده شده است). دیده شده است که در بعضی آلیاژهای آلومینیم ایجاد "ترک" در منطقه مجاور خط جوش بخاطر ایجاد لایه مذاب بعضی ترکیبات بین فلزی با نقطه ذوب پائین



شکل ۳ - خواص مکانیکی فلزات در رابطه با درجه حرارت

Brittle temperature range می نامند که عامل مهم مشخص کننده حساسیت فلز در مقابل ترک برداشتن گرم است.

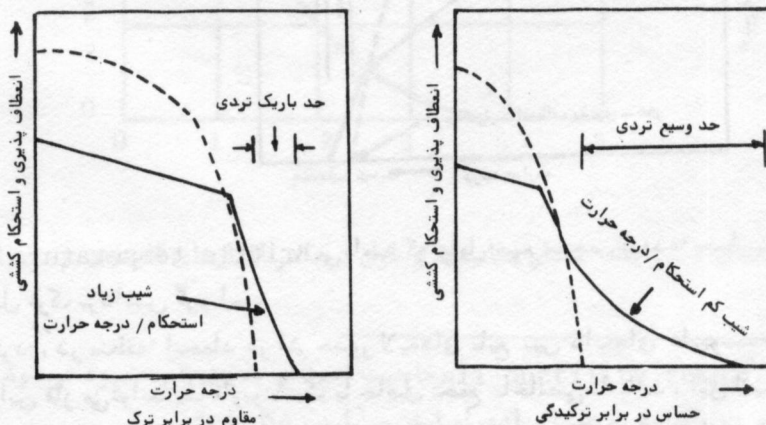
تردی در منطقه انجماد در اثر حضور لایه های مایع بین دانه های ناپیوسته جامد است. این فاز می تواند یک فاز یوتکتیک یا حاصل تجمع ناخالصی ها باشد. این لایه زمانی بوجود می آید که مایع خاصیت خیس کردن wetting دانه ها را داشته باشد یا به بیان دیگر انرژی سطحی نسبت به انرژی مرز دانه ها پائین باشد. شکل (۴) نشان می دهد که

در این مناطق بوده است. برای تقلیل این نوع "ترک" باید مفتول‌هایی با نقطه ذوب پایین را به کار گرفت، سرعت جوشکاری را افزایش داد، و یا از روش جوشکاری با شدت تمرکز حرارت بیشتر استفاده کرد.

۴- لایه اکسیدی: تمایل زیاد آلومینیم به اکسید شدن یکی از مشکلات دیگر جوشکاری آلومینیم و آلیاژهای آن است. لایه نازک اکسید آلومینیم همیشه بر روی سطح فلز وجود دارد و اگر این لایه به شیوه‌های مختلف مکانیکی یا شیمیایی برداشته شود این لایه مجدداً در زمان کوتاه که سطح فلز در معرض تماس با هوا قرار گیرد تشکیل می‌شود. این قشر پیوسته است و ضخامت آن همزمان با بالا رفتن درجه حرارت بیشتر می‌شود. نقطه ذوب اکسید آلومینیم بالای ۲۰۰۰ درجه سانتیگراد بوده و در آلومینیم جامد یا مایع حل نمی‌شود.

در فلزات و آلیاژهای مختلف حساسیت در مقابل "ترک برداشتن گرم" متفاوت بوده و آن فلزاتی بسیار حساس هستند که در آن‌ها شیب استحکام نسبت به درجه حرارت کم و "فاصله درجه حرارت تردی" زیاد باشد. تنش حاصل از انقباض در حین سرد شدن برابر است با $\alpha \cdot E \cdot \Delta t$ (مدول یانگ، α ضریب انبساط حرارتی، x عامل مهار یا مانع restraint و Δt تغییر درجه حرارت).

احتمال اینکه تنش در فاصله نسبتاً بزرگ Δt از استحکام کششی تجاوز کند زیاد است و چون نرم هم نیست لذا می‌تواند به ترک برداشتن یا شکست منجر شود. دلیل "ترک برداشتن سرد" که معمولاً در عرض دانه‌ها ادامه می‌یابد از نظر تئوری مشابه بوده اما مکانیسم و دلایل بوجود آمدن آن فرق می‌کند.



شکل ۴ - مقایسه خواص مکانیکی نزدیک انجماد در آلیاژهای حساس و مقاوم در برابر ترک‌زدگی

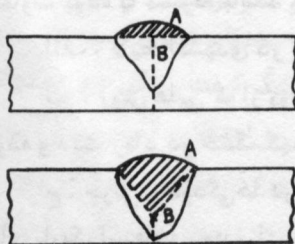
این پوسته اکسیدی نسوز از آمیخته شدن لبه جوش و فلز ذوب شده از مفتول یا الکتروود جلوگیری کرده و در نتیجه قطره مذاب بصورت گلوله بر روی این لایه قرار می گیرد. این لایه در روش های جوشکاری غیر ذوبی هم مزاحمت ایجاد کرده و حتی مانع هدایت الکتریکی در جوش مقاومتی هم می باشد. بنابراین باید لایه اکسید آلومینیم بر روی سطح را قبل از جوشکاری یا همزمان با آن به طرق مختلف مکانیکی، شیمیایی یا الکتریکی برداشت.

این لایه در روش های جوشکاری با شعله یا گاز (نظیر جوش کاربید) ولحیم کاری سخت و نرم توسط فلاکس (روان ساز یا تنه کار) های مخصوص بر طرف می شود. در ابتدا عقیده بر این بود که فلاکس، لایه اکسیدی را در خود حل می کند. اما تحقیقات نشان داده است که فلاکس ابتدا در بین لایه مذاب و اکسید نفوذ کرده لایه اکسیدی را می شکند و احتمالا قسمتی از آن حل شده و قسمتی در روی سرباره شناور می شود. این روان ساز یا تنه کارها مخلوطی از ترکیبات کلرید و فلورید فلزات قلیایی نظیر پتاسیم کلرید، سدیم فلورید و پرپولیت Na_3AlF_6 است. وزن مخصوص لایه اکسیدی ابتدا در حدود فلز مذاب بوده و سپس با بالا رفتن درجه حرارت مذاب، وزن مخصوص لایه اکسیدی از مذاب کمتر می شود، با اینهمه وزن مخصوص سرباره ایجاد شده پس از واکنش با روان ساز مساوی مذاب است. بنابراین احتمال محبوس شدن ذرات سرباره در مذاب بخاطر عدم رعایت نکات فنی و طرح اتصال وجود دارد که باید از وقوع آن جلوگیری کرد. معمولا "این نوع روان سازها دارای قابلیت جذب رطوبت فراوان بوده و در صورت جذب رطوبت دیگر قابل استفاده نیستند، چون این رطوبت می تواند منبع ورود هیدروژن به مذاب باشد. از سوی دیگر بقایای روان ساز بر روی منطقه جوش پس از عملیات جوشکاری باید کاملا "زدوده شود، چون کلرید و فلورید پس از جذب رطوبت قدرت خوردندگی بسیار زیادی دارند.

در الکتروود دستی، پوشش الکتروود علاوه بر ایجاد هاله گاز محافظ نقش مشابهی با

* (پاورقی ۲):

میزان یا درجه رقت: نسبت فلز ذوب شده قطعه کار به کل فلز جوش (فلز ذوب شده قطعه کار + فلز رسوب داده شده از الکتروود) را درجه یا میزان رقت می گویند. میزان یا درجه رقت عامل مهمی است که از نظر خواص مکانیکی و ترکیب شیمیایی جوش، بویژه در مواردی که ترکیب شیمیایی فلز بر کننده (الکتروود یا مفتول) با فلز قطعه کار متفاوت باشد، حائز اهمیت است. این عامل را می توان به وسیله بعضی فرمول های تجربی یا از طریق آج کردن سطح مقطع پولیش شده و اندازه گیری سطح مقطع A و B در شکل روبرو و استفاده از فرمول $\%D = \frac{B}{A+B} \times 100$ محاسبه کرد.



روانسانز در تمیز کردن لایه اکسیدی دارد. پس از جنگ جهانی دوم پژوهشگران ضمن تحقیقات خود به قدرت تمیز کردن قوس الکتریکی در حالت جریان یکنواخت و الکتروود مثبت یا جریان متناوب در هر نیم سیکل که الکتروود مثبت است (روش جوشکاری TIG و MIG) واقف شدند که آنرا اصطلاحاً "Arc Cleaning" می‌گویند. از این جهت این دو روش بطور وسیعی در جوشکاری آلومینیم و آلیاژهای آن بکار گرفته شده است. طبیعتاً در اینجا به فلاکس یا روانساز هم نیازی نخواهد بود. اما بهر صورت مقداری از ذرات اکسیدی در داخل قوس و مذاب باقی می‌ماند که بر روی خواص مکانیکی جوش اثر منفی می‌گذارد. با استفاده از روشهای آماده سازی مناسب و بکار گرفتن تکنیکهای صحیح می‌توان مقدار این ذرات را تقلیل داد.

در بعضی از روشها نظیر جوشکاری مقاومتی یا روشهای جوشکاری جامد، پوسته اکسیدی با استفاده از محلولهای خاص شیمیایی یا از طرق مکانیکی و امواج صوتی از موضع جوش بر طرف می‌شود.

۵- جذب گاز: آلومینیم مذاب و آلیاژهای آن بسهولت هیدروژن را به خود جذب می‌کنند. یکی از مشکلات مهم در جوشکاری ذوبی آلومینیم ایجاد خلل و فرج در جوش ناشی از جذب، پس دادن rejection و محبوس شدن حبابهای هیدروژن می‌باشد. حساسیت آلومینیم نسبت به خلل و فرج هیدروژنی به دو دلیل است:

الف: نسبت بین حجم هیدروژن جذب شده و هیدروژن حل شده در نقطه ذوب خیلی بالا است.

ب: حضور هیدروژن در گازهای ستونی قوس و شعله و عدم واکنشهای گاز دیگر در مذاب غیر از پس دادن هیدروژن، چون آلومینیم میل ترکیبی شدیدی با اکسیژن و ازت دارد (آلومینیم اکسیژن زدای قوی است).

طرح اتصال و وضعیت جوشکاری نیز بر روی میزان خلل و فرج تأثیر می‌گذارد. بعنوان مثال وضعیت جوشکاری بالای سر احتمال ایجاد خلل و فرج در جوش را بیشتر می‌کند. همینطور در شروع "پاس" جوش این عیب بیشتر رخ می‌دهد.

منابع زیادی برای حضور هیدروژن در مذاب وجود دارد که در هر روش ممکن است متفاوت بوده یا مشترک باشند.

الف: لایه اکسیدی در سطح تا حدودی قابلیت جذب رطوبت دارد.

ب: روشهایی که از روانساز استفاده می‌شود، قابلیت جذب رطوبت روانساز زیاد بوده و دقت زیاد در خشک نگه داشتن آن ضروری است.

ج: چربی و آلودگیها در سطح فلز یا مفتول پرکننده بویژه در روش MIG اگر ازسیمهای باریک استفاده شود برای سهولت عبور سیم از لوله نازک باید روغنهای مخصوصی

بکار گرفت چون روغن‌های معمولی غالباً " حاوی ترکیبات هیدروژن دار می باشند .
 د : در روش الکتروددستی جذب رطوبت در پوشش الکتروود کهنه . باید از الکتروود خشک یا پخته شده استفاده شود .

ر : در جوش با شعله یا کاربید ، عدم کنترل دقیق شعله . شعله احیایی میتواند باعث ایجاد مقداری هیدروژن اضافی در منطقه ذوب شود .

م : عدم رعایت تکنیک مناسب حرکت شعله یا قوس در اثنای عملیات جوشکاری و دخول هوای مرطوب به هاله گاز محافظ .

ه : در روش‌های TIG و MIG وجود رطوبت در گاز محافظ یا عدم محافظت کامل منطقه ذوب و دخول هوای مرطوب به محفظه قوس .

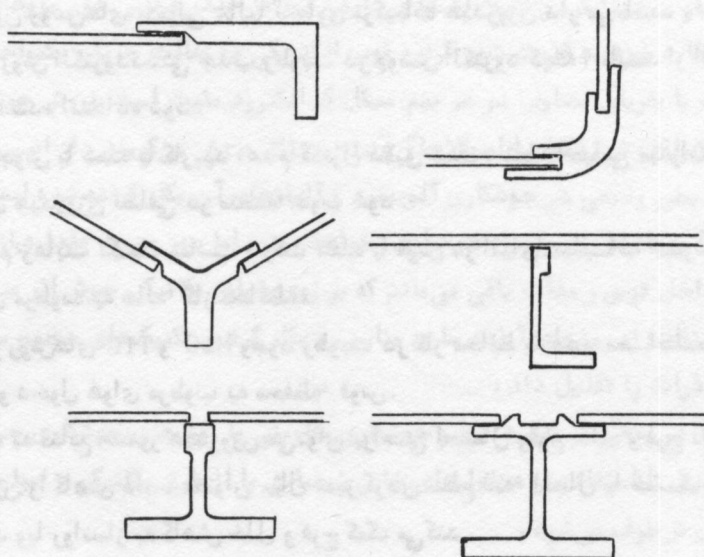
با توجه به منابع حضور هیدروژن می‌توان براحتی احتمال وقوع خلل و فرج ناشی از جذب هیدروژن را کاهش داد . بعنوان مثال تمیز کردن سطح لبه اتصال یا خشک کردن پوشش الکتروود و یا روانساز به کاهش خلل و فرج کمک می‌کند .

خلل و فرج بصورت حفره‌های غیر مداوم یا سوراخهای طویل مداوم در جوش دیده می‌شوند که از طریق رادیوگرافی و گاهی حتی از مشاهده سطح جوش می‌توان به وجود آنها پی برد . سوراخهای طویل گاهی در اثر شدت جریان زیاد (در روش قوس با گاز محافظ) بوجود می‌آید که این بعلت حرکت و جریان توربولنت (متلاطم) مذاب در حوضچه جوش می‌باشد که می‌توان با تقلیل شدت جریان از وقوع آن جلوگیری کرد .

پر واضح است که خلل و فرج باعث کاهش استحکام اتصال شده و محل مناسبی برای حبس روانساز و سرباره‌ها است که این "عامل خورنده‌ای" برای منطقه جوش می‌باشد .

طراحی جوش : با توجه به مشکلات ذکر شده در بالا یک طراح خوب در ابتدا سعی می‌کند تعداد اتصالات مورد جوش را در یک شیء یا اسکلت آلومینیمی به حداقل برساند . بدین ترتیب علاوه بر کم کردن مشکلات ذکر شده در بالا احتمالاً " انجام عملیات جوشکاری را ساده‌تر کرده ، پیچیدگی را تقلیل داده و ظاهر محصول را بهتر و حتی هزینه آنرا کمتر می‌کند . برای کاهش و محدود کردن تعداد اتصالات ، طراح از قطعات ریخته شده ، اکستروود شده ، آهنگری ، خم کاری و نورد شده در قسمت‌های مختلف کمک می‌گیرد . این تدبیر را می‌توان در مورد اتصالات قطعات نازک به کلفت هم بکار گرفت .

چون اتصالات گوشه و لبه‌ای مشکل‌تر و دارای استحکام کمتری است برای تغییر آن به شکل‌های دیگر می‌توان از تدابیر اشاره شده در بالا کمک گرفت . شکل (۵) چند نمونه از قطعات کمکی را در طراحی اتصالات نشان می‌دهد . در اتصالات آلومینیم و آلیاژهای آن بیشتر از جوش‌های سر برسریا گوشه‌ای (روبه‌هم و سپری) استفاده می‌شود . جوش سر برسر از نظر سادگی طراحی ، ظاهر خوب و خواص بهتر در تحت نیروهای خستگی‌زا ترجیح داده

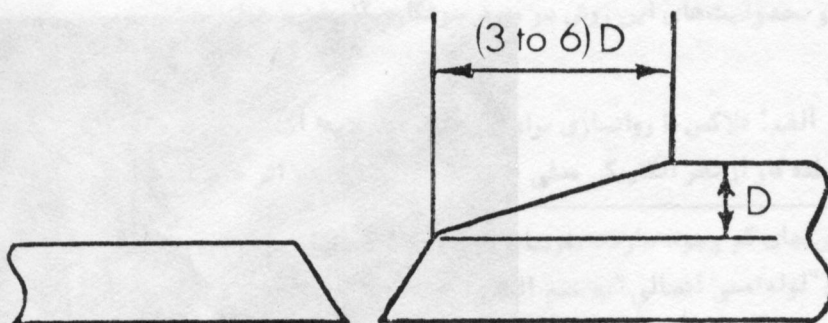


شکل ۵ - نمونه‌هایی از قطعات اکستروژده آلومینیمی برای تسهیل در جوشکاری

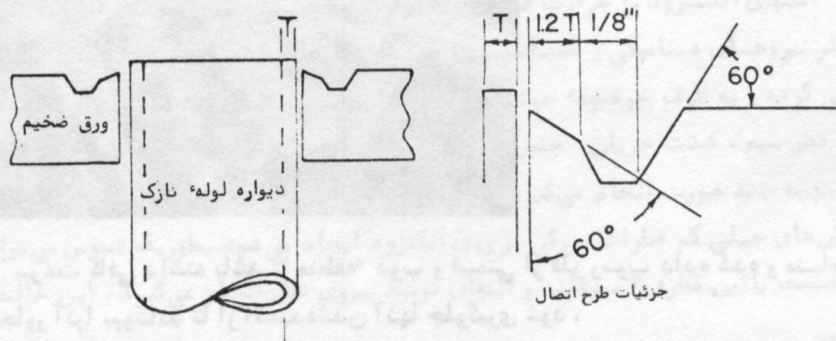
می‌شود.

در ضخامت‌های بیشتر از $\frac{1}{4}$ اینچ ($\frac{6}{32}$ میلیمتر) لبه‌ها باید آماده سازی و پخ شوند تا نفوذ کامل بوجود آید. در قطعات ضخیم بهتراست عملیات "برداشتن" پشت درز جوش back chipping و جوش "پاس‌پشتی" انجام شود. طراحی جوش‌های سربرسر قطعات نازک به کلفت یا لوله‌های نازک به صفحات ضخیم باید به دقت بیشتری انجام شود چند نمونه از آن در شکل‌های (۶) و (۷) مشاهده می‌شود. در طراحی اتصالات همیشه باید شکل اسکلت و چگونگی عملیات را هم در نظر گرفت. بعلت سرعت بالای جوشکاری باقوس بر روی آلومینیم باید حتی المقدور سعی شود از تغییر جهت عملیات جوشکاری یا گرداندن و جابجا کردن قطعات خودداری کرد. نمونه این مسئله جوشکاری لوله‌ها به یکدیگر با استفاده از قطعات جداگانه می‌باشد، شکل (۸).

همانطور که قبلاً توضیح داده شد فلز جوش رسوب داده شده توسط یک‌روش جوشکاری مخلوطی است از فلز قطعه کار و الکتروود یا مفتول، که میزان نسبت آن‌ها به طرح اتصال، نوع روش جوشکاری و تکنیک عملیات بستگی دارد. بهرحال جنس یا ترکیب شیمیایی فلزپرکننده (مفتول یا الکتروود) بر روی خواص جوش نظیر استحکام، قابلیت شکل پذیری، مقاومت در مقابل ترک برداشتن، مقاومت خوردگی، قابلیت عملیات حرارتی، ظاهر و هم رنگی محل جوش با بقیه قطعه و خواص دیگر تاءثیر قابل ملاحظه‌ای دارد. بنابراین برای انتخاب



شکل ۶ - هنگام جوشکاری قطعات با ضخامت مختلف پخ کردن و نازک کردن
قطعه ضخیم تر تدبیر خوبی است، بویژه برای نیروهای خستگی را

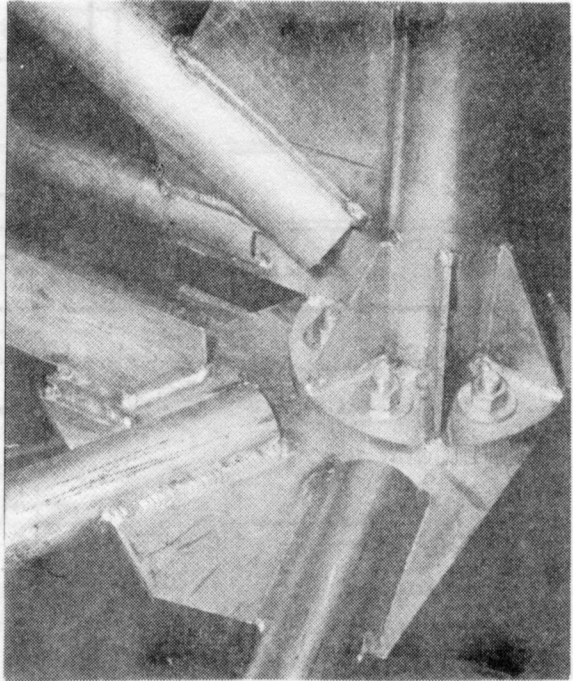


شکل ۷ - نمونه‌ای از طرح اتصالی لوله به ورق با اختلاف فاحش ضخامت دیواره
لوله و ورق .

الکتروود یا مفتول برای هر نوع آلیاژ آلومینیم دقت بسیاری لازم است . معمولاً " جداولی
توسط استانداردهای مختلف یا سازنده‌های این نوع محصولات ارائه می‌شود که در این مورد
راهنمای خوبی است ، جداول (۳) و (۴) .

روش‌های مختلف جوشکاری آلومینیم : اهم روش‌های معمولی برای جوشکاری آلومینیم
و آلیاژهای آن در زیر توضیح داده می‌شود

۱ - قوس - فلز با محافظت گاز خنثی MIG : مفتول آلومینیمی یا آلیاژهای آن از روی
کلافه بطور خودکار بطرف محل حوضچه جوش هدایت شده و قوس الکتریکی ایجاد شده بین
نوک مفتول و سطح کار عمل ذوب را انجام می‌دهد و هاله‌ای از گاز خنثی حوضچه مذاب و
نوک مفتول را می‌پوشاند* (توضیح بیشتر در پاورقی ۳) . جریان گاز باید بطریقی باشد که
اولاً " حرکت اغتشاشی ایجاد نکرده (تا از دخول هوا به محفظه قوس جلوگیری شود) ،



شکل ۸ - طرحی برای تسهیل
جوشکاری در مواضع
پیچیده و خاص

ثانیا " سرعت کافی داشته باشد تا منطقه ذوب و قسمتی از فلز رسوب داده شده و مناطق گرم مجاور آنرا بپوشاند تا از اکسید شدن آنها جلوگیری شود .

* (پاورقی ۳) :

روش جوشکاری MIG: دستگاه جوشکاری مطابق شکل (۹) تشکیل شده است از منبع انرژی، واحد تغذیه سیم الکترو، اتصال جریان، منبع گاز و سیستم کنترل برای قطع و وصل کردن جریان الکتریکی، عبور گاز محافظ، سیم الکترو و آب سرد کننده مشعل. منبع انرژی معمولا "ژنراتور یا ترانسفور ماتور - یکسو کننده با خصوصیت ولت - آمپر سطح می باشد تا عمل "خود - تنظیمی" طول قوس انجام شود. معمولا " از جریان یکنواخت و الکترو مثبت (DCEP) استفاده می شود تا عمل تمیز کردن قوس هم اجرا شود. در دستگاههای خودکار واحد تغذیه سیم و اتصال جریان به الکترو و لوله عبور گاز بصورت مختلط در مشعل تنگی قرار دارد. در دستگاههای نیمه خودکار واحد تغذیه سیم از مشعل جدا بوده و عبور سیم الکترو، گاز، جریان الکتریکی و آب سرد کننده، نازل از یک کابل انعطاف پذیر انجام می گیرد. هر چه سیم الکترو باریک تر شود مشکلات ناشی از عبور آن از لوله ها و کنترلشان بیشتر می شود، بالنتیجه حداقلی برای باریک بودن سیم جهت

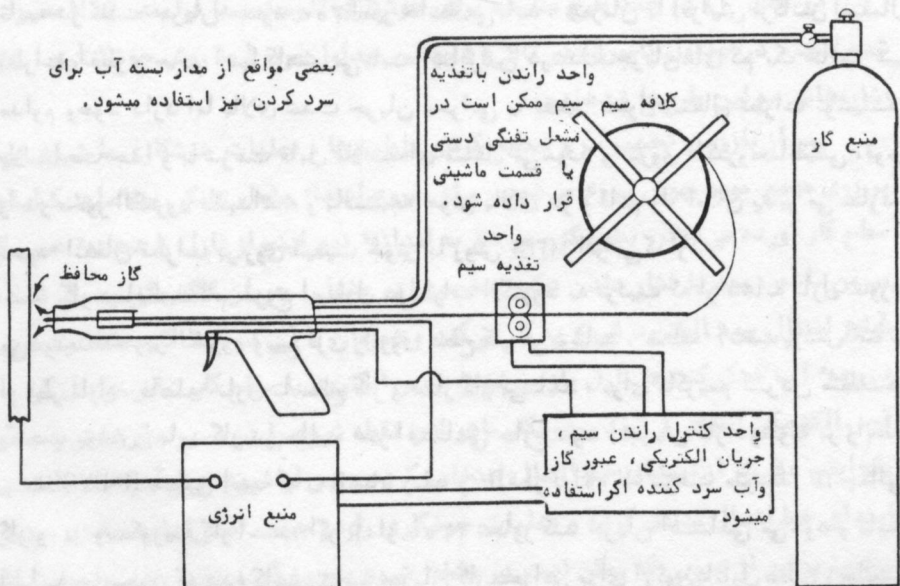
مزایا و محدودیت‌های این روش در مورد جوشکاری آلومینیم عبارتند از:

مزایا

الف: فلاکس یا روانسازی برای برطرف کردن لایه اکسیدی نیاز نیست، چون هنگامیکه فلز قطعه کار از نظر الکتریکی منفی باشد لایه اکسیدی در اثر خاصیت تمیز کردن قوس بر

جریان‌های کم وجود دارد. تقریباً در همه انواع دستگاه‌های MIG جریان الکتریکی از طریق "لوله مسی اتصالی" به سیم الکتروود مرتبط می‌شود. دستگاه‌هایی که برای شدت جریان بالای ۲۵۰ آمپر طرح شده است به سیستم سرد کننده آبی برای نازل نیاز دارد، ضمناً از دریچه‌های دقیق کنترل کننده گاز و آب برای عبور گاز و آب توسط ولتاژ بین الکتروود و قطعه کار استفاده می‌شود.

انتهای الکتروود را حرارت قوس و حرارت مقاومتی ذوب کرده و قطرات مذاب در اثر نیروهای دینامیکی، مغناطیسی و جریان گازها جدا شده، سرتاسر قوس را طی کرده و به طرف حوضچه جوش سقوط می‌کند. اندازه قطرات، فرکانس انتقال آن تابع قطر سیم، شدت جریان، جنس سیم الکتروود و نوع گاز محافظ است. چند نوع انتقال قطرات به چند صورت انجام می‌گیرد و هر کدام خصوصیت‌های خاص خود را دارند. در شدت جریان‌های خیلی کم قطرات بزرگی بر روی الکتروود ایجاد می‌شود بطوریکه قوس می‌تواند فقط قسمت پائین قطره را بپوشاند و انتقال توسط نیروی ثقل انجام می‌گیرد. این حالت به



شکل ۹ - شمائی از تجهیزات فرآیند جوشکاری قوس فلز محفوظ در گاز (MIG) بطور نیمه خودکار

طرف می‌شود. بنابراین خطر خوردگی منطقه جوش ناشی از بقایای فلاکس وجود ندارد.
ب: مشاهده منطقه ذوب و عملیات جوشکاری برای جوشکار بدون وجود دود یا

سرباره به نحو راحت‌تر و بهتری امکان پذیر است.

ج: جوشکار کنترل خوبی بر روی رسوب فلز جوش دارد چون بدون توجه به جهت الکتروود، امتداد قوس پلاسما و انتقال قطرات مذاب در راستای الکتروود است.

د: جوشکار مبتدی هم میتواند عملیات جوشکاری را انجام دهد چون فلز پرکننده بطور همزمان و خودکار با سرعت ثابت محل جوش را تغذیه کرده و طول قوس هم ثابت نگهداشته می‌شود.

ه: راندمان رسوب دادن معمولاً بالای ۹۵ درصد است، چون جرقه، اکسیداسیون یا تلفات دیگر کمتر اتفاق می‌افتد.

محدودیت‌ها

از محدودیت‌های این روش گران بودن تجهیزات در مقایسه با جوشکاری با کاربیدیا الکتروود دستی است. گاز محافظ آرگون هم نسبتاً "گران بوده و گاهی فلز جوش با مقداری

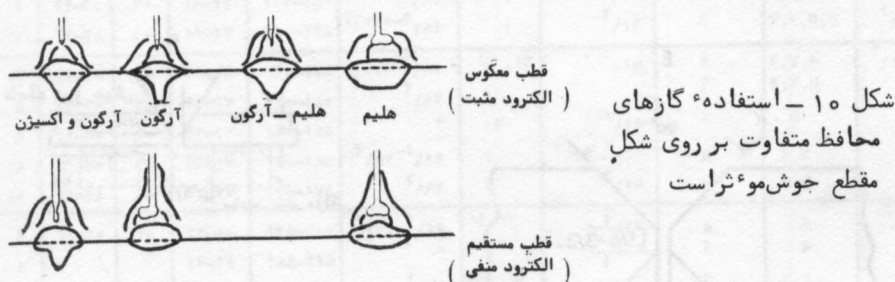
انتقال گلوله‌ای Globular Transfers مرسوم است و بیشتر باپل شدن قطرات بین نوک الکتروود و حوضچه مذاب همراه می‌باشد. اگر شدت جریان بیشتر باشد انتقال قطرات بصورت آزاد Free flight است و فرکانس آن‌ها از چند عدد در ثانیه تا چند صد عدد در ثانیه در شدت جریان حدود ۳۰۰ آمپر خاتمه می‌یابد. همزمان با افزایش فرکانس انتقال قطرات، قطر و حجم آن‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین در شدت جریان‌های کم یک حالت غیر مداوم وجود دارد اما بالای شدت جریان بحرانی یا نقطه تحول انتقال قطرات بوسیله پلاسماجت جدا و با سرعت قابل ملاحظه‌ای منتقل می‌شوند و نیروی الکترومغناطیسی، قوس را در محور الکتروود نگهداشته و بالنتیجه جوش بالای سر و قائم را امکان پذیر می‌سازد.
نحوه انتقال قطرات بر روی کیفیت جوش با روش MIG اثر می‌گذارد.

گاز محافظ هنگام خروج از نازل در اطراف الکتروود به ترتیب که از دهانه نازل دورتر می‌شود منطقه زیر الکتروود وسیع‌تری را روی سطح کار می‌پوشاند. منطقه "تحت پوشش" متأثر از قطر نازل، فاصله نازل تا سطح کار و فشار گاز می‌باشد. برای ماکزیمم کردن منطقه "تحت پوشش" باید گاز در حالت غیر اغتشاشی خارج شود. جریان گاز در لوله بر رابطه $R = DV\sqrt{\mu}$ منطبق است که R عدد رنلد و D قطر لوله، V سرعت متوسط، ρ چگالی گاز و μ ویسکوزیته گاز است. اگر R از ۲۳۰۰ تجاوز کند جریان اغتشاشی می‌شود و باید آنرا به هر نحوی که شده کاهش داد. جریان گاز بحرانی برای آرگون با نازل قطر ۱۲ میلی‌متر حدود $1/13 \frac{m^3}{h}$ (متر مکعب در ساعت) است.

خلل و فرج همراه است .

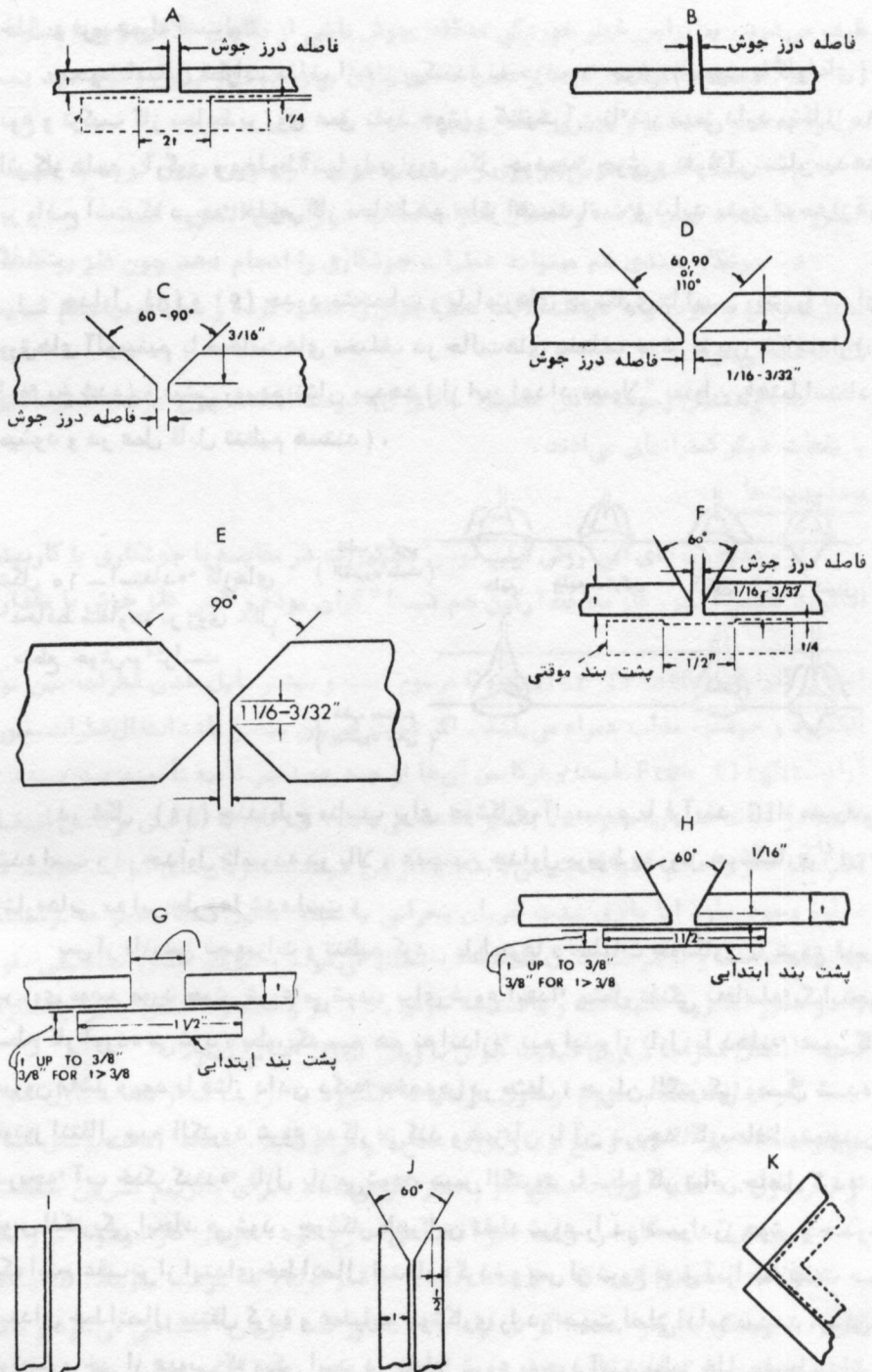
نحوه انتقال قطرات مذاب از فلز پرکننده به حوضچه جوش (اسپری یا گلوله‌ای) و نوع و ترکیب گاز محافظ بر روی عمق نفوذ جوش و کیفیت آن تأثیر مهمی دارد . شکل (۱۰) اثر گاز هلیم ، آرگون و مخلوط آنها را بر روی شکل حوضچه جوش و نفوذ آن نشان میدهد . پر واضح است که درجه خلوص گاز محافظ هم حائز اهمیت است و نباید بدون توجه از آن گذشت .

جداول (۵) و (۶) حدود مشخصات و پارامترهای جوشکاری با این روش را برای ورق‌های آلومینیم با ضخامت‌های مختلف در حالت‌های مختلف جوش با درز شکافدار (یا لبه پخ شده) و نبشی رویهم نشان میدهد (از این اعداد معمولاً بعنوان راهنما استفاده میشود و در عمل قابل تنظیم هستند) .



در شکل (۱۱) چند طرح مناسب برای جوشکاری آلومینیم با فرآیند MIG معرفی شده است . در جداول نامبرده در بالا و همچنین جداول مربوط به روش جوشکاری TIG اشاره‌هایی به این طرح‌ها شده است .

پس از بازرسی تجهیزات و تنظیم کردن پارامترها ، عملیات جوشکاری با شروع قوس بر روی موضع مورد جوش شروع می‌شود . برای شروع ابتداء مشعل تفنگی به فاصله یک‌اینچی سطح کار آورده می‌شود ، بطوریکه سیم هم به اندازه نیم اینچ از نازل یا دهانه عبور گاز بیرون باشد ، بعد با فشار دادن دکمه مخصوص در مشعل ، جریان الکتریکی وصل شده ، موتور انتقال سیم الکتروود شروع به کار می‌کند و همزمان با آن دریچه گاز محافظ و همچنین دریچه آب خنک کننده نازل باز می‌شود ، سپس الکتروود با سطح کار تماس حاصل کرده و قوس الکتریکی ایجاد می‌شود . جوشکار ماهر این نقطه شروع را در مسیر درز جوش و حدود یک اینچ عقب‌تر از ابتدای خط اتصال انتخاب کرده و پس از شروع قوس آنرا با سرعت به ابتدای خط اتصال منتقل کرده و عملیات جوشکاری را در جهت اصلی ادامه میدهد . بدین ترتیب برخی از عیوبی که ممکن است در نقطه شروع بوجود آیند نظیر خلل و فرج ابتدائی شانس کاهش یافتن یا برطرف شدن را در برگشت قوس به آن نقطه دارند . درحین جوشکاری



شکل ۱۱ - چند طرح اصولی که عملاً در تولید تأیید شده است

جوشکاری آلومینیم و چدن / ۲۱

جدول (۵) دستور العمل روش تقریبی برای جوشکاری آلومینیم با روش MIG

مصرف تقریبی الکترود بوند / ۱۰۰ فوت	سرعت پیشرفت جوشکاری	نرخ جریان گاز آرگون	ولتاژ قوس	DC آمپر	قطر الکترود (اینچ)	تعداد پاسها	شکاف ریشه (اینچ)	آماده سازی (۲) لبه	وضعیت (۱) جوشکاری	ضخامت فلز (اینچ)
۱/۵	۲۵-۴۵	۲۵	۱۵-۲۰	۷۰-۱۱۰	۰/۰۳۰	۱	ندارد	A	F	۱/۱۶
۲	۲۵-۴۵		۱۵-۲۰	۷۰-۱۱۰	۰/۰۳۰	۱	۳/۳۲	G		
۱/۸	۲۵-۴۵	۳۰	۱۸-۲۲	۹۰-۱۵۰	۰/۰۳۰-۳/۶۴	۱	ندارد	A	F	۳/۳۲
۲	۲۳-۳۰	۳۰	۱۸-۲۳	۱۱۰-۱۳۰	۰/۰۳۰	۱	۱/۸	G	F, V, H, O	
۲	۲۴-۳۰	۳۰	۲۰-۲۴	۱۲۰-۱۵۰	۰/۰۳۰-۳/۶۴	۱	۰-۳/۳۲	A	F, V, H	۱/۸
۳	۱۸-۲۸	۳۰	۱۹-۲۳	۱۱۰-۱۳۵	۰/۰۳۰-۳/۶۴	۱	۳/۱۶	G	F, V, H, O	
۴	۲۴-۳۰	۳۵	۲۲-۲۶	۱۳۰-۱۷۵	۰/۰۳۰-۳/۶۴	۱F, ۱R	۰-۱/۱۶	B	F, V, H	۳/۱۶
۵	۲۴-۳۰	۳۵	۲۳-۲۷	۱۴۰-۱۸۰	۳/۶۴	۱		F	F, V, H	
۵	۲۴-۳۰	۶۰	۲۳-۲۷	۱۴۰-۱۷۵	"	۲F	۰-۱/۱۶	F	O	
۸	۲۴-۳۰	۳۵	۲۳-۲۷	۱۴۰-۱۸۵	۳/۶۴-۱/۱۶	۲	۳/۳۲-۳/۱۶	H	F, V	
۱۰	۲۵-۳۵	۶۰	۲۳-۲۷	۱۳۰-۱۷۵	۳/۶۴	۳	۳/۱۶	H	H, O	
۶	۲۴-۳۰	۴۰	۲۴-۲۸	۱۷۵-۲۰۰	۳/۶۴-۱/۱۶	۱F, ۱R	۰-۳/۳۲	B	F	۱/۴
۸	"	"	۲۴-۲۹	۱۸۵-۲۲۵	"	۲	"	F	F	
۱۰	۲۵-۳۵	۴۵	۲۵-۲۹	۱۶۵-۱۹۰	۳/۶۴	۳F, ۱R	"	F	V, H	
۱۰	"	۶۰	۲۵-۲۹	۱۸۰-۲۰۰	۳/۶۴-۱/۱۶	۳F, ۱R	"	F	O	
۱۲	۲۴-۳۰	۴۰	"	۱۷۵-۲۲۵	"	۲-۳	۱/۸-۱/۴	H	F, V	
۱۲	۲۵-۴۰	۶۰	۲۵-۲۹	۱۷۰-۲۰۰	"	۴-۶	۱/۴	H	O, H	
۱۶	۲۰-۳۰	۵۰	۲۶-۲۹	۲۲۵-۲۹۰	۱/۱۶	۱F, ۱R	۰-۳/۳۲	C-۹۰	F	۳/۸
۱۸	۲۴-۳۵	۵۰	"	۲۱۰-۲۷۵	"	۲F, ۱R	"	F	F	
۲۰	۲۴-۳۰	۵۵	"	۱۹۰-۲۲۰	"	۳F, ۱R	"	F	V, H	
۲۰	۲۵-۴۰	۸۰	"	۲۰۰-۲۵۰	"	۵F, ۱R	"	F	O	
۳۵	۲۴-۴۰	۵۰	"	۲۱۰-۲۹۰	"	۴	۱/۴-۳/۸	H	F, V	
۵۰	۲۵-۴۰	۸۰	"	۱۹۰-۲۶۰	"	۸-۱۰	۳/۸	H	O, H	
۵۰	۱۴-۲۰	۶۰	۲۶-۳۱	۳۴۰-۴۰۰	۱/۱۶-۳/۳۲	۳F, ۱R	۰-۳/۳۲	C-۶۰	F	۳/۴
۷۰	۱۶-۳۰	۶۰	۲۶-۳۱	۳۲۵-۳۷۵	۳/۳۲	۴F, ۱R	۰-۱/۸	F	F	
۷۵	۲۴-۳۰	۸۰	۲۶-۳۰	۲۴۰-۳۰۰	۱/۱۶	۸F, ۱R	۰-۱/۱۶	F	V, H, O	
۷۰	۱۶-۲۴	۶۰	۲۶-۳۰	۲۷۰-۳۳۰	"	۳F, ۳R	"	E	F	
۷۵	۱۶-۲۴	۸۰	۲۶-۳۰	۲۳۰-۲۸۰	"	۶F, ۶R	"	E	V, H, O	

۱ - F، مسطح - H قائم - افقی - O، بالای سر
۲ - مراجعه شود به شکل (۱۱) صفحه (۲۰)

جدول (۶) دستور العمل روش جوشکاری نبشی و لب روپهم برای جوشکاری آلومینیم با روش MIG

ضخامت فلز (۱) (اینچ)	وضعیت جوشکاری (۲)	تعداد پاسها (۳)	قطر الکترود (اینچ)	قطب معکوس (Amp)	ولتاژ قوس (V)	نرخ جریان گاز آرگون	سرعت پیشرفت قوس	مصرف تقریبی الکترود پوند/۱۰۰ فوت
۳/۳۲	F, V, H, O	۱	۰/۰۳۰	۱۰۰-۱۳۰	۱۸-۲۲	۳۰	۲۴-۳۰	۱/۸
۱/۸	F	۱	۳ - ۰/۰۳۰ - ۶۴	۱۲۵-۱۵۰	۲۰-۲۴	۳۰	۲۴-۳۰	۲
	V, H	۱	۰/۰۳۰	۱۱۰-۱۳۰	۱۹-۲۳	۳۰	۲۴-۳۰	۲
	O	۱	۳ - ۰/۰۳۰ - ۶۴	۱۱۵-۱۴۰	۲۰-۲۴	۴۰	۲۴-۲۶	۲
۳/۱۶	F	۱	۳/۶۴	۱۸۰-۲۱۰	۲۲-۲۶	۳۰	۲۴-۳۰	۴/۵
	V, H	۱	۰/۰۳۰ - ۳/۶۴	۱۳۰-۱۷۵	۲۱-۲۵	۳۵	"	۴/۵
	O	۱	"	۱۳۰-۱۹۰	۲۲-۲۶	۴۵	"	۴/۵
۱/۴	F	۱	۳/۶۴ - ۱/۱۶	۱۷۰-۲۴۰	۲۴-۲۸	۴۰	۲۴-۳۰	۷
	V, H	۱	۳/۶۴	۱۷۰-۲۱۰	۲۳-۲۷	۴۵	"	۷
	O	۱	۳/۶۴ - ۱/۱۶	۱۹۰-۲۲۰	۲۴-۲۸	۶۰	"	۷
۳/۸	F	۱	۱/۱۶	۲۴۰-۳۰۰	۲۶-۲۹	۵۰	۱۸-۲۵	۱۷
	V, H	۳	"	۱۹۰-۲۴۰	۲۴-۲۷	۶۰	۲۴-۳۰	۱۷
	O	۳	"	۲۰۰-۲۴۰	۲۵-۲۸	۸۵	۲۴-۳۰	۱۷
۳/۴	F	۴	۳/۳۲	۳۶۰-۳۸۰	۲۶-۳۰	۶۰	۱۸-۲۵	۶۶
	V, H	۴-۶	۱/۱۶	۲۶۰-۳۱۰	۲۵-۲۹	۷۰	۲۴-۳۰	۶۶
	O	۱۰	"	۲۷۵-۳۱۰	۲۵-۲۹	۸۵	۲۴-۳۰	۶۶

(۱) - ضخامت بیش از ۱۸ میلیمتر برای جوشهای نبشی - بعضی اوقات از پخ V دوطرفه با زاویه ۵۰ یا بزرگتر

(۲) - F، مسطح - V، قائم - H، افقی، O، بالای سر
(۳) - تعداد پاس جوش و مصرف الکترود برای جوش در یک طرف فقط داده شده است.

دهانه خروجی گاز را باید حدود $\frac{3}{4}$ اینچ بالاتر از سطح کار نگهداشت. طول قوس را نباید از نوک سیم تا سطح کار محاسبه کرد، بلکه محاسبه از طریق ولتاژ راحت تر و صحیح تر خواهد بود. طول قوس مورد نیاز بنا به شرایط کار، وضعیت اتصال و ضخامت قطعه انتخاب می شود. طول قوس کوتاه بیشتر برای دست یابی به عمق نفوذ بیشتر در "پاس ریشه" در جوش های "چندین پاسه" انتخاب می شود.

نگهداشتن مشعل معمولاً بطریقی است که زاویه های در حدود $15^{\circ} - 7^{\circ}$ درجه بین الکترود و خط عمود بر سطح کار بوجود آید. در جوش قائم بهتر است از شیوه "قائم روبه بالا" (vertical up) استفاده شود. در جوشکاری قطعه کلفت به نازک بهتر است امتداد الکترود بطرف قطعه کلفت تر باشد تا حرارت عمدتاً در لبه کلفت تر متمرکز شود. در این موارد میتوان از سیستم مبرد بر روی قطعه نازک تر، یا پیش گرم کردن قطعه کلفت تر، و یا تغییر در طرح اتصال هم استفاده کرد.

در جوش نبشی، مشعل بدون حرکت "موجی" با حرکت "هم زدن دایره ای" ملایم در سرتاسر درز اتصال حرکت می کند. این شیوه باعث هم زدن مذاب و کاهش خلل و فرج در جوش می شود. واضح است که این عمل به مهارت زیادی نیاز دارد تا باعث وارد شدن هوا به هاله گاز محافظ نشود. در وضعیت های غیر مسطح این نوع حرکت به مشعل یا قوس تجویز نمی شود.

سرعت پیشرفت مشعل به اندازه جوش، شدت جریان، ضخامت قطعه، طرح اتصال زاویه مشعل و طول قوس بستگی دارد و باید حتی المقدور سریع باشد تا منطقه مجاور جوش باریکتر بشود. خاتمه جوشکاری، یا قطع قوس هم به مهارت زیادی نیاز دارد تا بر روی انتهای جوش دهانه گود ایجاد نشود. * (پاورقی ۴).

در مورد تمیز بودن لبه های مورد جوش از کلیه کثافات، چربی ها یا ناخالصی های دیگر توضیح مجددی لازم نیست.

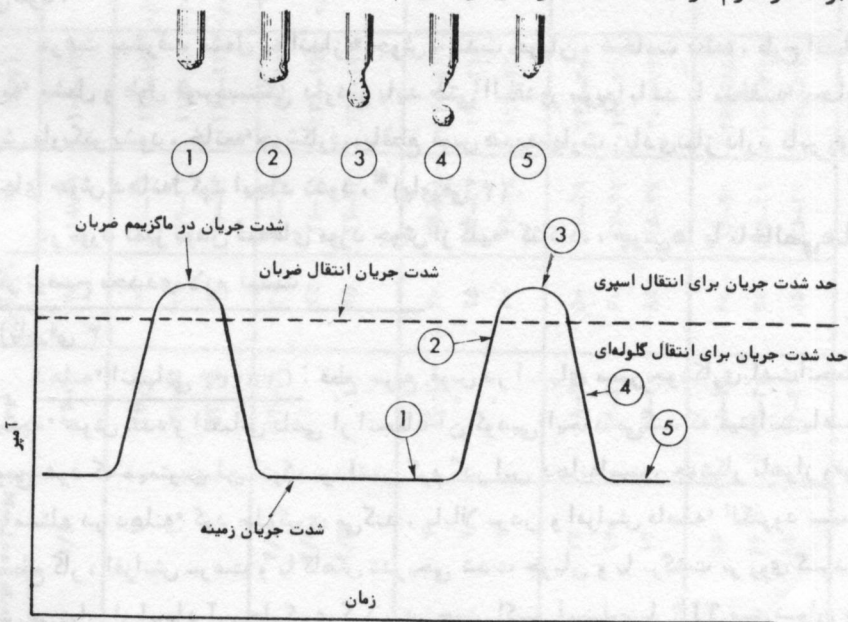
* (پاورقی ۴)

دهانه انتهائی Crater: قطع سریع قوس در انتهای مسیر جوشکاری باعث انجماد حوضچه جوش شده و انقباض ناشی از انجماد آن گودیی ایجاد می کند که میتواند باعث عیوبی شود که مهمترین آن "ترک برداشتن گرم" در این دهانه است. جوشکار ماهر از وقوع این مسئله در دهانه گود جلوگیری می کند. با بالا بردن و افزایش فاصله الکترود نسبت به سطح کار، افزایش سرعت و یا کاهش تدریجی شدت جریان و یا برگشت بر روی گرده جوش می توان از ایجاد آن جلوگیری کرد. در جوش اکسی استیلن یا TIG می توان با افزایش سرعت تغذیه مفتول پرکننده حتی المقدور دهانه را بصورت مسطح و کم عمق درآورد.

همانطور که قبلاً اشاره شد در قطعات کلفت معمولاً از آمپر بالا و انتقال قطرات از نوع "اسپری" استفاده می‌شود تا عمق نفوذ بیشتری حاصل شود، در حالیکه در ورق‌های نازک آمپر و ولتاژ پائین‌تری بکار گرفته می‌شود که نوع انتقال قطرات بصورت "گلوله‌ای" باشد مثلاً بر روی ورق آلومینیم به ضخامت $1/5 - 1$ میلیمتر ($0/06 - 0/04$ اینچ)، $12 - 15$ ولت، $100 - 160$ آمپر، الکتروود با قطر $0/8$ میلیمتر ($0/03$ اینچ) و سرعت تغذیه $10 - 15$ متر در دقیقه ($400 - 300$ اینچ در دقیقه) و سرعت پیشرفت جوشکاری $1/5 - 1$ متر در دقیقه ($40 - 60$ اینچ در دقیقه) معمولاً استفاده می‌شود. نوع دیگر اصلاحات در این روش استفاده از "جریان ضربانی" "Pulses current" می‌باشد که برای جوشکاری ورق‌های بسیار نازک مناسب می‌باشد. * (پاورقی ۵)

* (پاورقی ۵)

جریان ضربانی: انتقال قطرات در این روش بصورت اسپری با سطح شدت جریان پائین‌تر از آنچه است که برای انتقال اسپری مداوم نیاز می‌باشد. این عمل بدین ترتیب امکان پذیر می‌شود که در مدار الکتریکی تغییراتی داده می‌شود که منحنی شدت جریان بصورت سینوسی نرمال نیست و مطابق با شکل (۱۲) میزان شدت جریان در ماکزیمم سیکل برابر مقدار لازم برای انتقال اسپری و در مینیمم سیکل مطابق با شدت جریان انتقال گلوله‌ای



شکل ۱۲ - شمای موج شدت جریان خروجی از مولد جریان ضربانی. همینطور

مراحل انتقال فلز

جوشکاری با این روش را می‌توان بطور دستی یا تمام خودکار با ماشین انجام داد . جوش دادن خودکار را میتوان به سهولت با سرعتی بالاتر از سرعت دست انجام داد و همانطور که در قسمت‌های گذشته اشاره شد سرعت بالاتر باعث کاهش تغییرات خواص و وسعت منطقه مجاور جوش ، تقلیل پیچیدگی قطعه و کم شدن هزینه تمام شده می‌شود .

۲- جوش با الکترو تنگستن یا TIG: این روش جوشکاری بر روی آلومینیم و آلیاژهای آن بسیار مرسوم است . قوس الکتریکی ما بین الکترو ترو " غیر مصرفی " تنگستن و سطح کار ایجاد می‌شود . نوک الکترو ترو ، حوضچه مذاب و منطقه گرم اطراف آن توسط گاز خنثی (آرگون ، هلیوم یا مخلوط آنها) که از اطراف الکترو ترو خارج شده محافظت می‌شود . * (پاورقی ۶) . فلز جوش از فلز قطعه کار و در بعضی موارد از فلز قطعه کار و مفتول پرکننده تشکیل شده است . در این روش هم شبیه روش MIG غالباً " نیازی به روانساز برای بر طرف کردن لایه اکسیدی نیست و عمل تمیز کردن قوس هنگامیکه الکترو ترو مثبت الکتریکی است انجام می‌شود . این روش هم میتواند بصورت دستی ، نیمه خودکار یا تمام خودکار بنابه تعداد قطعه ، طرح اتصال ، کیفیت و وضعیت قطعه مورد اتصال انجام شود .

در جوشکاری دستی مشعل تفنگی یا نگهدارنده الکترو ترو در یک دست جوشکار بر روی سطح کار و در امتداد مسیر اتصال با زاویه‌ای در حدود ۸۵ - ۷۸ درجه با آن نگهداشته می‌شود . برای تقلیل ناخالصی تنگستن در جوش ، معمولاً "شروع قوس توسط منبع فرکانس بالا که به مدار نیرو وصل است انجام میگیرد و لازم نیست الکترو ترو با سطح کار تماس حاصل کند . همزمان با وصل جریان الکتریکی و حتی چند لحظه قبل از آن دریچه مربوط به گاز محافظ باز می‌شود . حرارت قوس باعث ذوب منطقه‌ای از قطعه می‌شود و پس از ایجاد حوضچه مذاب به اندازه کافی ، جوشکاری با حرکت انتقالی مشعل ادامه می‌یابد . در مواردی که طرح لبه‌های اتصال مناسب باشد نیازی به مفتول نیست و ذوب و انجماد لبه‌ها و گوشه‌ها باعث ایجاد اتصال می‌شود . در بعضی از آلیاژهای آلومینیم این روش مجاز نیست و باید از مفتول با آلیاژهای خاص برای جلوگیری از ترک برداشتن استفاده کرد . غالباً " نیاز به افزودن مفتول پرکننده پیش می‌آید که در اینصورت این عمل توسط دست دیگر جوشکار انجام میگیرد . مفتول بصورت سیم‌های جداگانه با آنالیز و کد خاص یا با بریدن باریک‌های از ورق مورد اتصال تهیه می‌شود . اضافه کردن مفتول به حوضچه مذاب توسط

می‌باشد . یکی از محدودیت‌های شدت جریان بالا عدم کنترل حوضچه جوش مذاب و سوراخ شدن جوش بر روی ورق‌های نازک است . اما نتیجه و مزیت سیکل ضربانی در اینست که این امکان را میدهد تا عملیات جوشکاری در وضعیت‌های غیر مسطح بر روی ورق‌های نازک انجام گیرد و کلیه مزایای انتقال اسپری با حداقل شدت جریان حفظ شود .

تماس نوک آن به لبه کناری یا جلوئی حوضچه مذاب بطور متناوب انجام می شود . باید توجه کرد که در حین جوشکاری نوک مفتول گداخته یا ذوب شده از هاله پوششی گاز محافظ خارج نشود یا با الکتروود تنگستن تماس نگیرد . باید حتی المقدور طول قوس را کوتاه گرفت

* (پاورقی ۶)

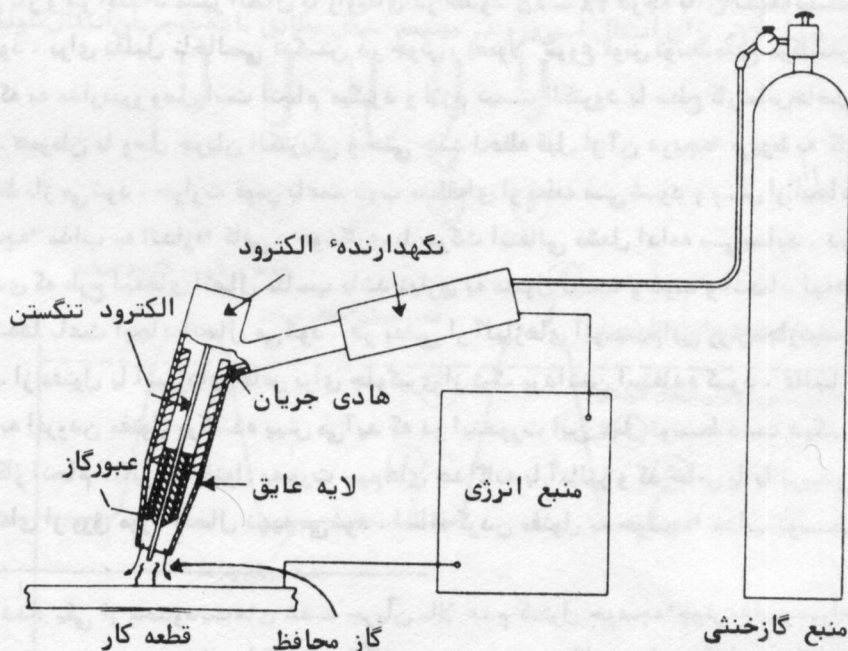
روش جوشکاری TIG: این روش از نظر تجهیزات بسیار شبیه روش MIG است با این تفاوت که در اینجا الکتروود از نوع "غیر مصرفی" و از جنس تنگستن می باشد . شکل (۱۳) شمائی از مشعل TIG را نشان میدهد . قسمت های مختلف تجهیزات جوشکاری TIG عبارتند از:

۱ - نگهدارنده الکتروود که خود شامل عبور دهنده و پخش کننده گاز ، نازل برای هدایت گاز محافظ اطراف قوس و ایجاد منطقه پوششی و مکانیسم گیره ای برای نگاهداشتن الکتروود تنگستن است .

۲ - منبع تاءمین کننده گاز محافظ

۳ - فلومتر و تنظیم کننده فشار گاز

۴ - منبع قدرت یا مولد انرژی



شکل ۱۳ - شمای مشعل و بعضی وسایل در فرآیند جوشکاری

تانفوذ عمیق تر بوده، احتمال وقوع "زیر-برش" یا "سوختگی گوشه‌ای" Under cut* (پاورقی ۷) کاهش یافته و عمل محافظت بهتر انجام گیرد. معمولاً "طول قوس برابر قطر الکتروود تنگستن نگهداشته می‌شود. در حین جوشکاری می‌توان الکتروود را به آهستگی به عقب و جلو

۵- سیستم سرد کننده آبی نازل که در بعضی از انواع دستگاه‌های TIG بطور بسته بوده و در برخی دیگر به سیستم لوله کشی آب متصل می‌شود.

معمولاً "مشعل یا نگهدارنده‌ها سبک بوده و در دست جوشکار براحتی قابل استفاده است. همچنین تعویض نازل و الکتروود ساده می‌باشد. برای اینکه از تماس الکتروود تنگستن با سطح کار برای شروع قوس اجتناب شود، قسمت مخصوصی برای ایجاد فرکانس بالا به مدار وصل شده است که در ابتدا با ایجاد ولتاژ بسیار بالا در لحظه‌ای کوتاه، کانال یونیزه شده لازم برای شروع قوس در بین الکتروود و سطح کار بوجود آید.

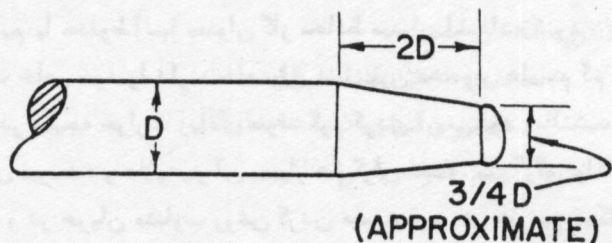
از گازهای آرگون، هلیوم یا مخلوط آنها بعنوان گاز محافظ میتوان استفاده کرد، هر کدام از این گازها خصوصیت خاص خود را دارند. بعنوان مثال وزن مخصوص هلیوم کم و گرمای ویژه آن زیاد است، در نتیجه حرارت زیادی صرف گرم کردن آن می‌شود و بالنتیجه حرارت مؤثر کمتری به جوش میرسد، و علاوه بر آن بسیار هم گران است. گاز آرگون ولتاژ یونیزاسیون پائین‌تری دارد و در جریان متناوب روشن کردن مجدد قوس در هر نیم سیکل راحت‌تر است.

در روش TIG چون حرارت زیادتری در قطب مثبت ایجاد می‌شود کمتر از الکتروود مثبت استفاده می‌شود. شدت جریان بیش از ۱۰۰ آمپر با الکتروود مثبت سبب بالا رفتن درجه حرارت نوک الکتروود و ذوب شدن انتهای آن، کروی شدن و ناپایدار شدن قوس و احیاناً "اضافه شدن ناخالصی تنگستن به فلز جوش می‌شود. این عمل حتی اگر قطر الکتروود ۶ میلیمتر هم باشد اتفاق می‌افتد. اگر الکتروود منفی باشد شدت جریان بحرانی به ۸ برابر میرسد. مزیت مهم الکتروود مثبت قدرت قوس در تمیز کردن لایه اکسیدی است. جریان متناوب تقریباً "قسمتی از مزایا و محدودیت‌های جریان یک‌نواخت d.c. با الکتروود مثبت را دارد. بدین معنی که از یکطرف عمل تمیز کردن در هر نیم سیکل انجام می‌گیرد و از طرف دیگر در نیم سیکل بعد الکتروود خنک می‌شود. در عوض در مدار الکتریکی ترانسفورماتور، طرح‌هایی پیش بینی می‌شود تا در لحظه صفر بودن شدت جریان و تغییر قطب الکتروود منفی به مثبت ولتاژ اضافی برای روشن شدن مجدد قوس تأمین شود.

شدت جریان بالا باعث گرم شدن زیاد و ذوب شدن احتمالی الکتروود شده، و شدت جریان کم موجب ناپایداری قوس می‌شود. بنابراین باید شدت جریان در حد معینی باشد که این به قطر الکتروود، طرح مشعل از نظر سیستم سرد کننده نازل و الکتروود، و شرایط

حرکت داد. قطع قوس الکتریکی یا پایان دادن به عملیات جوشکاری بدون ایجاد حفره یا دهانه گود در انتها هم شبیه روشهای گفته شده در قبل، به مهارت زیادی نیاز دارد چون یکی از نقاط تمرکز عیوب می باشد. یکی از روشهای متداول در TIG برای جلوگیری از ایجاد دهانه گود کاهش آمپر در لحظه خاموش کردن قوس توسط پدالی است که در زیر پای جوشکار قرار دارد. نکته دیگر اینکه پس از قطع قوس الکتریکی باید تا چند لحظه دهانه نازل را از موضع جوش دور نکرد، زیرا جریان گاز محافظ معمولاً "چند ثانیه (قابل تنظیم) پس از قطع قوس نیز ادامه دارد. بدین منظور که تا پایان سرد شدن اتمسفر هوا تماس با موضع جوش حاصل ننماید. جوشکار ماهر از تماس الکترود تنگستن به مذاب و یا مفتول جلوگیری می کند و سعی دارد همیشه نوک الکترود عاری از ذرات جرقه و ناخالصی های دیگر بوده و بصورت مخروطی شبیه شکل (۱۴) نگهداشته شود.

شکل ۱۴ - نمونه ای از نوک الکترود تنگستن که باید تراشیده شود



کار بستگی دارد. وجود ۱ تا ۲ درصد توریا یا زیرکونیم در الکترود تنگستن مقاومت آنرا در مقابل اکسید و ذوب شدن بالا می برد. نکته دیگر زاویه نوک الکترود تنگستن تراشیده شده است که بر روی عمق نفوذ تأثیر قابل توجهی دارد.

روش TIG را می توان بصورت دستی، نیمه خودکار یا تمام خودکار بکار گرفت. همینطور بر حسب طرح لبه اتصال میتوان "مفتول پرکننده" بکار برد یا نبرد. معمولاً در ورق های نازک با برگرداندن لبه ها و ذوب قسمت خم شده دیگر نیازی به بکار بردن مفتول نیست. هنگام بکار بردن مفتول، زاویه مفتول با سطح کار و زاویه مشعل نسبت به مفتول بر روی کیفیت جوش و میزان محافظت منطقه جوش تأثیر بسزایی دارد. متغیرهای مهم روش TIG عبارتند از:

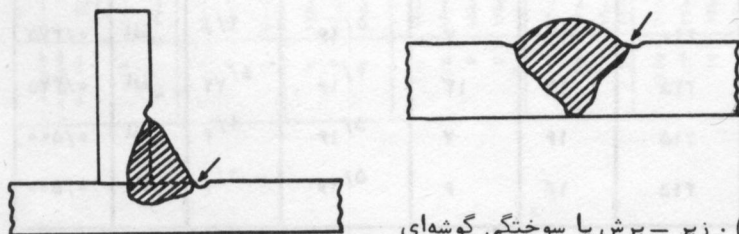
- ۱ - شدت جریان، ولتاژ و خصوصیت مولد قدرت
- ۲ - ترکیب شیمیائی الکترود، قدرت عبور جریان الکتریکی و شکل آن
- ۳ - گاز محافظ، درجه خلوص آرگون، هلیم، درصد مخلوط آنها و فشار گاز
- ۴ - جنس و قطر "مفتول پرکننده"
- ۵ - جریان هوا یا وزش باد در اثنای جوشکاری

شکل (۱۵) آماده سازی مناسب لبه‌ها و جداول (۷) تا (۱۳) حدود مشخصات و پارامترهای جوشکاری با روش TIG برای ورق‌ها با ضخامت‌های مختلف آلومینیم در وضعیت‌های مختلف با درز شکاف‌دار یا نبشی و رویهم رانشان می‌دهد (این اعداد بعنوان راهنما مورد استفاده قرار می‌گیرد و در عمل باید بنا به شرایط کار و مهارت جوشکار تنظیم شود).

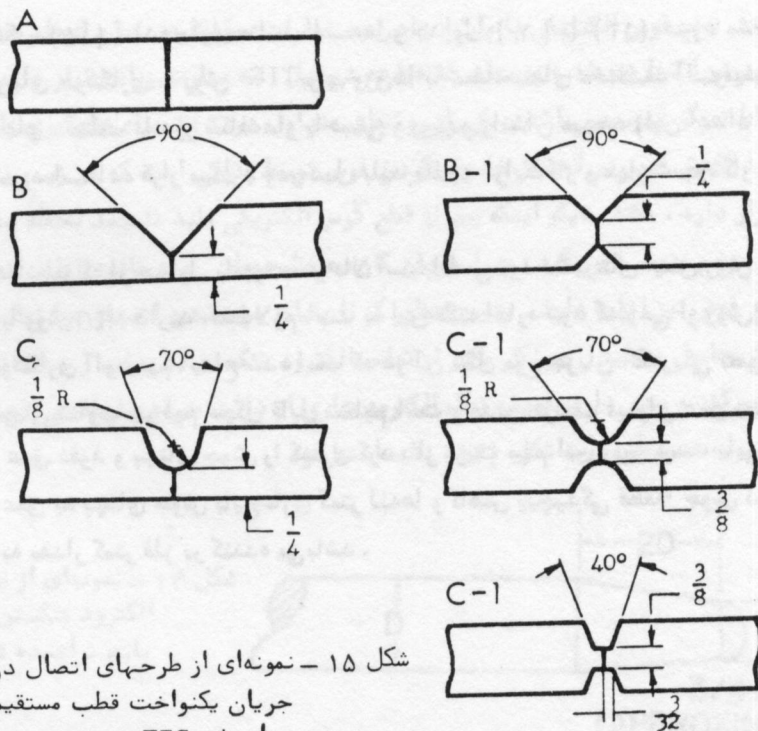
همانطور که از جداول نامبرده در بالا استنباط می‌شود متغیرهای این روش شباهت زیادی با روش MIG دارند، فقط لازم است به این نکته اشاره شود که نوعی از روش TIG در مورد جوشکاری آلومینیم ابداع شده است که در آن شکل موج جریان الکتریکی بصورت مربع بوده و زمان تناوب هر نیم سیکل قابل تنظیم است و بدین ترتیب میتوان عمل تمیز کردن قوس و عمق نفوذ و پهنای جوش را کنترل کرد. از مزیت مهم این روش دست یابی به نسبت بالاتر عمق به پهنای جوش با پخش سازی کمتر لبه‌ها و کاهش پیچیدگی قطعه جوش داده شده و نیاز به مقدار کمتر فلز پر کننده می‌باشد.

* (پاورقی ۷)

زیر - برش یا سوختگی کناره: در اثنای اتصالات باروش‌های ذوبی بویژه با قوس الکتریکی فلز اصلی در سرتاسر دیواره شکاف در مسیر اتصال ذوب شده و زبانه‌ای را بوجود می‌آورد. عواملی چند مانع پر شدن کامل گوشه‌ها و لبه‌های این شکاف یا زبانه می‌شوند که بصورت منقطع یا پیوسته با عمق کم یا زیاد در سرتاسر مسیر اتصال مشاهده می‌شود (شکل (۱۶)). این عیب بعلت شکاف و عمق تیز آن موجب تمرکز تنش شده و اگر تحت نیرو بویژه نیروهای خستگی‌زا و سیکلی قرار گیرد شکست و گسیختگی را موجب می‌شود. این عیب بعلت سرعت بالای جوشکاری، باریکی زیاد الکتروود، زیادی ویسکوزیته سرباره و حرکات‌های نادرست مشعل یا الکتروود بوجود می‌آید.



شکل (۱۶). زیر - برش یا سوختگی گوشه‌ای



شکل ۱۵ - نمونه‌ای از طرحهای اتصال در
جریان یکنواخت قطب مستقیم
با روش TIG

جدول (۷) - دستورالعمل روش جوشکاری دستی نبشی برای آلومینیم و آلیاژهایش با روش TIG (الکترودمفی)

نرخ جریان هلیوم cfh	قطر الکترود - توریت تنگستن (اینچ)	شدت جریان (آمپر)	ولتاژ قوس (V)	سرعت قوس ipm	اندازه نبشی (اینچ)	قطر سیم (اینچ)	وضعیت جوش	ضخامت ورق (اینچ)
۴۰	۳/۳۲	۱۳۰	۱۴	۲۱	۱/۸	۳/۳۲	افقی	۰/۰۹۰
"	"	۱۸۰	۱۴	۱۸	۱/۸	۳/۳۲	افقی	۰/۱۲۵
"	۱/۸	۲۵۵	۱۴	۱۵	۳/۱۶	۵/۳۲	افقی	۰/۲۵۰
"	۱/۸	۲۳۰	۱۴	۱۰	۳/۱۶	۵/۳۲	قائم	۰/۲۵۰
۵۰	۱/۸	۲۹۰	۱۴	۷	۵/۱۶	۱/۴	افقی	۰/۳۷۵
۵۰	۱/۸	۳۳۵	۱۴	۱۴	۳/۱۶	۵/۳۲	افقی	۰/۳۷۵
۵۰	۱/۸	۳۱۵	۱۶	۷	۵/۱۶	۱/۴	افقی	۰/۵۰۰
۵۰	۱/۸	۳۱۵	۱۶	۶	۵/۱۶	۱/۴	قائم	۰/۵۰۰

جدول (۸) - روش جوشکاری شکاف دار آلومینیم با فرآیند TIG (۱)

ضخامت آلومینیم (اینچ)	وضعیت جوشکاری (۲)	آمادسازی لپه (۳)	فاصله ریشه (اینچ)	پیش گرم کردن (فارنهایت)	تعداد پاس	قطر مفتول (اینچ)	قطر الکترود (اینچ)	قطر پخش کننده گاز (اینچ)	آرگون cfh	سرعت پیشرفت پسوس pm	آمپر AC	حدود مصرف مفتول پوند/ فوت ۱۰۰
۱/۱۶	F, V, H	B	۰-۱/۱۶	هیچکدام	۱	۳/۳۲	۱/۱۶-۳/۳۲	۳/۸	۲۰	۸-۱۰	۷۰-۱۰۰	۰/۵
	O	B	۰-۱/۱۶	"	۱	۳/۳۲	۱/۱۶	۳/۸	۲۵	۸-۱۰	۶۰-۷۵	۰/۵
۳/۳۲	F	B	۰-۳/۳۲	"	۱	۱/۸	۳/۳۲-۱/۸	۳/۸	۲۰	۸-۱۰	۹۵-۱۱۵	۱
	V, H	B	۰-۳/۳۲	"	۱	۳/۳۲-۱/۸	۳/۳۲	۳/۸	۲۰	۸-۱۰	۸۵-۱۱۰	۱
	O	B	۰-۳/۳۲	"	۱	۳/۳۲-۱/۸	۳/۳۲-۱/۸	۳/۸	۲۵	۸	۹۰-۱۱۰	۱
۱/۸	F	B	۰-۱/۸	"	۱-۲	۱/۸-۵/۳۲	۱/۸	۷/۱۶	۲۰	۱۰-۱۲	۱۲۵-۱۵۰	۲
	V, H	B	۰-۳/۳۲	"	۱-۲	۱/۸	۱/۸	۷/۱۶	۲۰	۱۰	۱۱۰-۱۴۰	۲
	O	B	۰-۳/۳۲	"	۱-۲	۱/۸-۵/۳۲	۱/۸	۷/۱۶	۲۵	۱۰-۱۲	۱۱۵-۱۴۰	۲
۳/۱۶	F	D-۶۰°	۰-۱/۸	"	۲	۵/۳۲-۳/۱۶	۵/۳۲-۳/۱۶	۷/۱۶-۱/۲	۲۵	۱۰-۱۲	۱۷۰-۱۹۰	۴/۵
	V	D-۶۰°	۰-۳/۳۲	"	۲	۵/۳۲	۵/۳۲	۷/۱۶	۲۵	۱۰-۱۲	۱۶۰-۱۷۵	۴/۵
	H	D-۹۰°	۰-۳/۳۲	"	۲	"	۵/۳۲	۷/۱۶	۲۵	۱۰-۱۲	۱۵۵-۱۷۰	۵
	O	D-۱۱۰°	"	"	۲	"	۵/۳۲	۷/۱۶	۳۰	۱۰-۱۲	۱۶۵-۱۸۰	۶
۱/۴	F	D-۶۰°	۰-۱/۸	"	۲	۳/۱۶	۳/۱۶-۱/۴	۱/۲	۳۰	۸-۱۰	۲۲۰-۲۷۵	۸
	V	D-۶۰°	۰-۳/۳۲	"	۲	"	۳/۱۶	۱/۲	۳۰	۸-۱۰	۲۰۰-۲۴۰	۸
	H	D-۹۰°	"	"	۲-۳	۵/۳۲-۳/۱۶	۵/۳۲-۳/۱۶	۱/۲	۳۰	۸-۱۰	۱۹۰-۲۲۵	۹
	O	D-۱۱۰°	"	"	۲	۳/۱۶	۳/۱۶-۳/۱۶	۱/۲	۳۵	۸-۱۰	۲۱۰-۲۵۰	۱۰
۳/۸	F	D-۶۰°	۰-۱/۸	ماکزیمم تا ۳۵۰ درجه	۲	۳/۱۶-۱/۴	۳/۱۶-۱/۴	۵/۸	۳۵	۸-۱۰	۳۱۵-۳۷۵	۱۵/۵
	F	E	۰-۳/۳۲	"	۲	۳/۱۶-۱/۴	۳/۱۶-۱/۴	۵/۸	۳۵	۸-۱۰	۳۴۰-۳۸۰	۱۴
	V	D-۶۰°	"	فارنهایت	۳	۳/۱۶	۳/۱۶-۱/۴	۵/۸	۳۵	۸-۱۰	۲۴۰-۳۰۰	۱۹
	V, H, O	E	"	"	۲	"	۳/۱۶-۱/۴	۵/۸	۳۵	۸-۱۰	۲۴۰-۳۰۰	۱۷
	H	D-۹۰°	"	"	۳	"	۳/۱۶-۱/۴	۵/۸	۳۵	۸-۱۰	۲۴۰-۳۰۰	۲۲
	O	D-۱۱۰°	"	"	۳	"	۳/۱۶-۱/۴	۵/۸	۴۰	۸-۱۰	۲۶۰-۳۰۰	۲۲

۱ - همینطور مراجعه شود به "پیشنهادهای عملی برای جوشکاری قوس محفوظ در گاز لوله‌های آلومینیمی و آلیاژهایش 60 - AWS D 10.7:

۲ - سطح، V قائم، H افقی، O بالای سر ۳ - به شکل (۱۱) مراجعه شود.

۴ - پیش گرم کردن در درجه حرارت بالا و زمان طولانی موجب کاهش استحکام جوش می‌شود.

جدول (۹) - دستورالعمل روش جوشکاری نبشی و لب رویهم برای آلومینیم و آلیاژهایش از طریق TIG

مصرف تقریبی سیم پوند/۱۰۰ فوت	سرعت پیشرفت قوس ipm	آمپر AC	نرخ جریان آرگون cfh	قطر دهانه پخش گاز (اینچ)	قطر الکترود (اینچ)	قطر مفتول (اینچ)	تعداد پاسها	درجه حرارت پیشگرم (۲)	وضعیت جوش (۱)	ضخامت آلومینیم in.
۰/۵	۸-۱۰	۷۰-۱۰۰	۱۶	۳/۸	۱/۱۶ - ۳/۳۲	۳/۳۲	۱	ندارد	F, H, V	۱/۱۶
۰/۵	۸-۱۰	۶۵-۹۰	۲۰	۳/۸	۱/۱۶ - ۳/۳۲	۳/۳۲	۱	ندارد	0	
۱	۸-۱۰	۱۱۰-۱۴۵	۱۸	۳/۸	۱/۸ - ۵/۳۲	۳/۳۲ - ۱/۸	۱	ندارد	F	۳/۳۲
۱	۸-۱۰	۹۰-۱۲۵	۱۸	"	۳/۳۲ - ۱/۸	۳/۳۲	۱	"	H, V	
۱	۸-۱۰	۱۱۰-۱۲۵	۲۰	"	۳/۳۲ - ۱/۸	"	۱	"	0	
۲	۱۰-۱۲	۱۳۵-۱۷۵	۲۰	۷/۱۶	۱/۸ - ۵/۳۲	۱/۸	۱	ندارد	F	۱/۸
۲/۵	۸-۱۰	۱۱۵-۱۴۵	۲۰	۳/۸	۱/۳۲ - ۱/۸	"	۱	"	H, V	
۲	۸-۱۰	۱۲۵-۱۵۵	۲۵	۷/۱۶	۳/۳۲ - ۱/۸	"	۱	"	0	
۴/۵	۸-۱۰	۱۹۰-۲۴۵	۲۵	۱/۲	۵/۳۲ - ۳/۱۶	۵/۳۲	۱	ندارد	F	۳/۱۶
۵/۵	۸-۱۰	۱۷۵-۲۱۰	۲۵	۱/۲	"	"	۱	"	H, V	
۴/۵	۸-۱۰	۱۸۵-۲۲۵	۳۰	۱/۲	"	"	۱	"	0	
۷	۸-۱۰	۲۴۰-۲۹۵	۳۰	۱/۲	۳/۱۶ - ۱/۴	۳/۱۶	۱	ندارد	F	۱/۴
۹	۸-۱۰	۲۲۰-۲۶۵	۳۰	۱/۲	۳/۱۶	"	۱	"	H, V	
۷	۸-۱۰	۲۳۰-۲۷۵	۳۵	"	"	"	۱	"	0	
۱۷	۸-۱۰	۳۲۵-۳۷۵	۳۵	۵/۸	۱/۴ - ۳/۱۶	۳/۱۶	۲	گاهی تا ۱۸۰° (۳۵۴°) ماگزیم	F	۳/۸
۲۰	"	۲۸۰-۳۱۵	۳۵	"	"	"	۲		V	
۲۰	"	۲۷۰-۳۰۰	۳۵	۳۵	"	"	۳		H	
۱۷	"	۲۹۰-۳۳۵	۴۰	۴۰	"	"	۳		0	

۱ - F، سطح - V، قائم - H، افقی، 0 بالای سر

۲ - پیش گرم کردن در درجه حرارت اضافی و زمان طولانی استحکام جوش را کاهش خواهد داد. این بویژه در مورد آلیاژهایی که در تحت عملیات حرارتی قرار گرفته اند صحیح می باشد.

جوشکاری آلومینیم و چدن / ۳۳

جدول (۱۰) - دستورالعمل روش جوشکاری دستی اتصال شکاف دار برای آلومینیم و آلیاژهایش با روش TIG (الکترود منفی)

ضخامت فلز (اینچ)	اتصال	قطر سیم (اینچ)	قطر الکترود توریت - تنگستن (اینچ)	سرعت قوس ipm	شدت جریان (آمپر)	ولتاژ قوس (V)	نرخ جریان هلیم cfh
۰/۰۳۰	شکاف مربعی ۱ پاس	$\frac{3}{64}$	۰۴۰	۱۷	۲۰	۲۱	۲۰
۰/۰۴۰	شکاف مربعی ۱ پاس	$\frac{1}{16}$	۰۴۰	۱۶	۲۶	۲۰	۲۰
۰/۰۶۰	شکاف مربعی ۱ پاس	$\frac{1}{16}$	۰۴۰	۲۰	۴۴	۲۰	۲۰
۰/۰۹۰	شکاف مربعی ۱ پاس	$\frac{3}{32}$	$\frac{1}{16}$	۱۱	۸۰	۱۷	۳۰
۰/۱۲۵	شکاف مربعی ۱ پاس	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$	۱۶	۲۱۸	۱۵	۲۰
۰/۲۵۰	شکاف مربعی ۱ پاس	$\frac{5}{32}$	$\frac{1}{8}$	۷	۲۵۰	۱۴	۳۰
۰/۵۰۰	جناقی یکطرفه بازویه ۹۰° و فاصله ریشه $\frac{1}{4}$ اینچ ۲ پاس	$\frac{5}{8}$	$\frac{1}{8}$	$5\frac{1}{4}$	۳۱۰	۱۴	۴۰
۰/۷۵۰	جناقی یکطرفه بازویه ۹۰° و فاصله ریشه $\frac{3}{16}$ و ۲ پاس	$\frac{5}{32}$	$\frac{1}{8}$	۴	۳۰۰	۱۷	۵۰
۱/۰۰۰	جناقی دوطرفه بازویه ۹۰° بدون فاصله ریشه و ۵ پاس	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$	۳۶۰	۱۹	۵۰

۱ - گاز هلیم برای جوشکاری آلومینیم با فرآیند TIG و جریان یکنواخت قطب مستقیم مناسب است .

۲ - ولتاژ قوس در هلیم ۴۰ درصد بیشتر از ولتاژ قوس با آرگون است ، نتیجه اش قوس گرمتر ، عمق نفوذ بیشتر ، سرعت پیشرفت بیشتر و در بعضی موارد اثر حرارت بر روی فلز قطعه کار می نیمیم می شود .

۳ - برای تغییرات طول قوس داده شده تغییرات ولتاژ قوس در هلیم بیشتر از ولتاژ قوس در آرگون است . این امکان را بوجود می آورد که کنترل دقیق تر در جوشکاری خودکار با گاز هلیم انجام شود .

۴ - آلومینیم بعلت هدایت حرارتی بالایش ، نیاز به نرخ بالای حرارت داده شده دارد که با هلیم بهتر تاءمین میشود .

جدول (۱۱) دستورالعمل روش جوشکاری خودکار اتصال مقطع مربع درآلیاژ آلومینیم ۲۲۱۹ بافرآیند TIG (الکترومنفی)

ضخامت فلز (اینچ)	وضعیت جوشکاری (۱)	مفتول ۲۳۱۹ قطر $\frac{1}{16}$ اینچ سرعت غذا دادن ipm	قطر الکترود (۲) توریت- تنگستن in.	شدت پیشرفت قوس ipm	شدت جریان آمپر	ولتاژ قوس (V)	هلم cfh
۰/۲۵۰	F_H یک طرف	۳۶	$\frac{1}{8} - 0/100$ TIP	۸ ۱۰	۱۴۵ ۱۳۵	۱۱/۵-۱۲/۵	۱۰۰
۰/۳۷۵	F_H دو پاس	۳۲	$\frac{1}{8} - 0/100$ TIP	۸ ۱۰	۲۲۰ ۱۸۰	۱۱/۵-۱۲/۵	۱۲۰
۰/۵۰۰	V دو پاس H یک پاس در هر طرف	۱۰ ۱۰	$\frac{1}{8} - 0/100$ TIP	۸	۲۵۰	۱۱/۵-۱۲/۵	۱۰۰
۰/۶۲۵	V دو پاس H یک در هر طرف	۵-۷ ۵-۷	$\frac{1}{8} - 0/100$ TIP	۷	۳۰۰	۱۱/۵-۱۲/۵	۱۲۰
۰/۷۵۰	V دو پاس H یک در هر طرف	۵-۷ ۵-۷	$\frac{1}{8} - 0/100$ TIP	۶	۳۴۰	۱۱/۵-۱۲/۵	۱۲۵
۰/۸۷۵	V دو پاس H یک در هر طرف	۴-۶ ۴-۶	$\frac{5}{32} - 0/125$ TIP	۵	۳۸۵	۱۱/۵-۱۲/۵	۱۲۵
۱/۰۰۰	V دو پاس H یک در هر طرف	۳-۵ ۳-۵	$\frac{3}{16} - 0/156$ TIP	۴	۴۲۵	۱۱/۵-۱۲/۵	۱۲۰

(۱) مسطح = F ، قائم = V ، افقی = H

(۲) TIP = فرو رفتگی تنگستن زیر سطح ورق

جدول (۱۲) - دستورالعمل روش جوشکاری لبه‌ای و گوشه‌ای برای آلومینیم و آلیاژهایش با TIG

مصرف تقریبی مفتول / پوند / فوت ۱۰۰	سرعت پیشرفت قوس ipm	(۳ و ۲) آمپر AC	نرخ جریان آرگون cfh	قطر دهانه توزیع گاز (اینچ)	قطر الکترود (اینچ)	قطر مفتول (اینچ)	تعداد پاس	آماده سازی (۱) لبه	ضخامت فلز (اینچ)
۵/۰	۱۰-۱۶	۶۰-۸۵	۲۰	$\frac{2}{8}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{3}{32}$	۱	I, K	$\frac{1}{16}$
۱	۱۰-۱۶	۹۰-۱۲۰	۲۰	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{1}{8}$	۱	I, K	$\frac{3}{32}$
۲	۱۰-۱۶	۱۱۵-۱۵۰	۲۰	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{5}{32} - \frac{1}{8}$	۱	I, K	$\frac{1}{8}$
۴/۵	۱۰-۱۶	۱۶۰-۱۲۰	۲۵	$\frac{7}{16}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{5}{32}$	۱	J, K	$\frac{3}{16}$
۷	۸-۱۲	۲۰۰-۲۵۰	۳۰	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	۲	J, K	$\frac{1}{4}$

۱ - به شکل (۱۱) مراجعه شود.

۲ - شدت جریان و سرعت جوشکاری بالاتر می‌تواند بکار رود، اگر پشت بند موقت برای اتصال گوشه‌ای بکار رود.

۳ - طرف کم شدت جریان برای جوشهای افقی و قائم استفاده شود.

جدول (۱۳) - دستورالعمل روش جوشکاری خودکار اتصال مقطع مربع آلیاژهای آلومینیم با فرآیند (SPDC) TIG

ضخامت فلز (اینچ)	نرخ غذا دادن مفتول (۲) (اینچ در دقیقه)	سرعت پیشرفت (۳) (اینچ در دقیقه)	شدت جریان (آمپر)	قطر مفتول (اینچ)	ولتاژ قوس هلیم cfh (V)	نرخ جریان هلیم cfh
۰/۰۴۱	۶۰	۵۴	۶۵	$\frac{1}{16}$	۱۴	۳۰
۰/۰۹۰	۷۵	۵۴	۱۸۰	$\frac{1}{16}$	۱۳	۳۰
۰/۱۲۵	۵۵	۴۰	۲۴۰	$\frac{1}{16}$	۱۱	۳۰
۰/۲۵۰	۴۰	۱۵	۳۵۰	$\frac{1}{16}$	۱۱	۳۰
۰/۳۷۵	۳۰	۸	۴۳۰	$\frac{1}{16}$	۱۱	۴۰

(۱) جریان یکنواخت قطب مستقیم ، الکترو د توریت تنگستن

(۲) سیستم خودکار غذا دهنده مفتول

(۳) وضعیت مسطح ، جوش تک پاسی

۳- جوشکاری با گاز یا شعله: جوشکاری با گاز یا شعله یکی از اولین روش های جوشکاری معمول در قطعات آلومینیمی بوده و هنوز هم در کارگاه های کوچک در صنایع ظروف آشپزخانه دکوراسیون و تعمیرات بکار میرود. در این روش فلاکس، روانساز یا تنه کار برای برطرف کردن لایه اکسیدی بکار میرود. از مزیت های آن سادگی، ارزانی و قابل حمل و نقل بودن تجهیزات جوشکاری است. این روش بیشتر برای ورق های نازک $\frac{1}{8}$ - $\frac{3}{16}$ اینچ میلیمتر (۰/۰۶۴ - ۰/۰۳۲ اینچ) مناسب است. از محدودیت های این روش تمایل خورده شدن فلز توسط بقایای روانساز در لابلای درز جوش، همچنین وجود منطقه متاثر از جوش H.A.Z وسیع تر و سرعت عملیات کندتر می باشد. قطعات آلومینیمی با ضخامت بیش از یک اینچ (۲/۵ سانتی متر) را با این روش جوش نمی دهند، چون حرارت تلف شده زیاد خواهد بود و شدت تمرکز حرارت باندازه کافی نیست. برای قطعات آلومینیم با ضخامت های مختلف، اندازه نوک نازل، فشار گازها، قطر مفتول در جدول (۱۴) آورده شده است.

جدول (۱۴) - وضعیت تقریبی جوشکاری آلومینیم با گاز

ضخامت فلز (اینچ)	قطر مفتول (اینچ)	اکسی هیدروژن			اکسی استیلن	
		قطر افشاک in.	فشار اکسیژن psi	فشار هیدروژن psi	قطر نازل (اینچ)	فشار اکسیژن psi
۰/۰۳۲	۳/۳۲	۰/۰۴۵	۱	۱	۰/۰۳۵	۱
۰/۰۶۴	۳/۳۲	۰/۰۶۵	۲	۱	۰/۰۴۵	۲
۰/۰۸۱	۱/۸	۰/۰۷۵	۲	۱	۰/۰۵۵	۳
۰/۱۲۵	۳/۳۲ یا ۱/۸	۰/۰۹۵	۳	۲	۰/۰۶۵	۴
۰/۲۵۰	۳/۱۶	۰/۱۰۵	۴	۲	۰/۰۷۵	۵
۰/۳۲۵	۳/۱۶	۰/۱۱۵	۴	۲	۰/۰۸۵	۵
۰/۳۷۵	"	۰/۱۲۵	۵	۳	۰/۰۹۵	۶

عمدتاً " از جوشکاری با گاز در مواردی استفاده می شود که قطعات کم ، کارگاه کوچک و احیاناً " دسترسی به نیروی برق وجود نداشته باشد . در این روش می توان از گازهای سوختنی مختلف برای ایجاد شعله و حرارت استفاده کرد اما گاز استیلن بیشتر رایج است . البته در مورد قطعات بسیار نازک از گاز هیدروژن و حتی از گاز بوتان ، پروپان و غیره هم که دارای شعله با درجه حرارت کمتر می باشند استفاده می شود . * (پاورقی ۸) .

* (پاورقی ۸)

روش جوشکاری با گاز : حرارت لازم برای جوشکاری از واکنش شیمیایی گاز با اکسیژن بوجود می آید . حرارت توسط نیروی جابجائی و تشعشع به کار منتقل می شود . قدرت جابجائی به فشار گاز و قدرت تشعشع به توان چهارم درجه حرارت مطلق شعله بستگی دارد . بنابراین تغییر کوچکی در درجه حرارت شعله می تواند میزان حرارت تشعشعی و شدت آنرا بمقدار زیادی تغییر دهد . درجه حرارت شعله به حرارت ناشی از احتراق ، حجم اکسیژن لازم برای احتراق ، گرمای ویژه و حجم محصول احتراق بستگی دارد . اگر از هوا برای عمل احتراق استفاده شود ازتی که وارد واکنش سوختن نمیشود قسمتی از حرارت احتراق را جذب کرده و موجب تقلیل درجه حرارت می شود ، همچنین حجم گاز سوختنی یا اکسیژن اضافی میتواند باعث کاهش درجه حرارت شعله شود . بنابراین تنظیم کامل گاز سوختنی و اکسیژن لازمه ایجاد شعله با درجه حرارت بالا است . گازهای مختلف سوختنی نظیر استیلن ، پروپان ، هیدروژن و گاز طبیعی نیز قابل استفاده است که مقدار حرارت احتراق و بالنتیجه

یکی از نکات حساس و مهم در جوشکاری با شعله برروی قطعات آلومینیم یا آلیاژهای آن، میزان و تنظیم کردن شعله مناسب است. شعله اکسیدی باعث ایجاد لایه‌ها و ذرات اکسید آلومینیم شده و در مقابل شعله احیائی بعلت هیدروژن گاز سوختنی اضافی میتواند موجب وقوع خلل و فرج در فلز جوش یا لکه‌های سیاه کربن در سطح یا داخل آن شود. شعله خنثی یا کمی متمایل به حالت احیائی مناسب است. در شکل (۱۷) حالت‌های مختلف شعله اکسی استیلن نشان داده شده است.



درجه حرارت شعله حاصله هم متفاوت بوده و کاربردهای گوناگون دارد. معمول‌ترین و مرسوم‌ترین گاز سوختنی مصرفی در جوشکاری، گاز استیلن است.

تجهیزات و وسایل اولیه این روش شامل سیلندر گاز اکسیژن، سیلندر گاز استیلن یا مولد گاز استیلن، رگولاتور تنظیم فشار برای هر گاز، لوله لاستیکی انتقال دهنده گاز به مشعل و مشعل جوشکاری است. معمولاً کلیه این وسایل توسط یک گاری یا چرخ دستی قابل حمل و نقل است. اکسیژن با خلوص ۹۹/۵ درصد معمولاً در سیلندرهایی با فشار ۲۲۰۰ psi و ظرفیت ۲۵ متر مکعب (۲۲۴ فوت مکعب) در دسترس قرار دارد. استیلن با فرمول C_2H_2 و بوی بد در فشار بالا ناپایدار و قابل انفجار است. نگهداری و حمل و نقل آن نیاز به مراقبت و رعایت نکات ایمنی خاص دارد. فشار توسط رگولاتورهای خاص تا زیر ۱۵ psi کاهش یافته و به لوله لاستیکی و مشعل هدایت می‌شود چون در فشار بالاتر ایمنی کافی وجود نخواهد داشت. نکته مهم اینکه اگر استیلن از میزان ۵ متر مکعب (۴۵ فوت مکعب) در ساعت بیشتر مصرف شود از سیلندر استن بیرون خواهد زد که خطرناک است. گاهی اوقات از مولدهای گاز استیلن استفاده می‌شود که بر اساس ترکیب سنگ کربید با آب طبق فرمول زیر:

$$CaC_2 + 2H_2O = C_2H_2 + Ca(OH)_2$$

قرار دارد. این مولدها از نظر گشایش، فشار و روش کار چند نوع هستند و بطور کلی

→ به دو روش کار می‌کنند.

الف: آنهائیکه آب روی کاربید می‌ریزند

ب: آنهائیکه کاربید با آب تماس حاصل می‌کند و با کم و زیاد شدن فشار گاز سطح

آب در مخزن تغییر می‌کند.

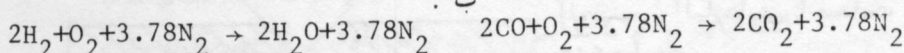
رگولاتور یا دستگاه تنظیم فشار برای گازهای مختلف فرق کرده و معمولا " برای فشارهای مختلف ورودی و خروجی طرح شده‌اند. غالبا " رگولاتورها دارای دو فشار سنج هستند که یکی فشار داخل مخزن و دیگری فشار گاز خروجی یا داخل لوله لاستیکی را مشخص می‌کند. از نظر کلی دونوع فشار سنج یک مرحله و دو مرحله‌ای وجود دارند که از مکانیسم‌های مختلف برای تقلیل فشار استفاده می‌کنند. رگولاتور خوب در اثنای تقلیل فشار داخل سیلندر فشار گاز خروجی را تقریبا " ثابت نگه‌میدارد.

کار مشعل آوردن حجم مناسب گاز سوختنی و اکسیژن، مخلوط کردن آنها و هدایتشان به سوی نازل (پستانک) است تا شعله مورد نظر ایجاد شود. مشعل شامل اجزاء: شیرهای تنظیم گاز سوختنی و اکسیژن، دسته مشعل، لوله اختلاط و نازل است. طرح‌های مختلفی در قسمت ورودی گاز به "لوله اختلاط" مشعل وجود دارد تا ماگزیم حرکت اغتشاشی به مخلوط گازها داده شود و سپس حرکت گاز در ادامه مسیر در لوله مشعل کندتر شده تا شعله‌ای آرام بوجود آید. سیستم کار "لوله اختلاط" مشعل به دو صورت است. مشعل انژکتور یا فشار ضعیف و سیستم فشار بالا که گاز سوختنی و اکسیژن هر دو با فشار مساوی وارد محفظه اختلاط می‌شوند. هر مشعل دارای چندین نازل با اندازه‌های مختلف است که بر روی مشعل قابل تنظیم و تعویض بوده و بر حسب فشار گاز و ضخامت قطعه مورد جوش انتخاب می‌شوند. نازل باریک برای فشار کم گاز و کار ظریف انتخاب می‌شود و بر عکس. حرارت یا قدرت مشعل بر حسب حجمی از گاز سوختنی که در واحد زمان از نازل بیرون رفته و می‌سوزد برآورد می‌شود که به فشار گاز، قطر نازل یا سوراخ پستانک ارتباط دارد که ایندو مشخص‌کننده سرعت عبور گازها هستند. فشار گاز زیاد با نازل نامناسب باعث تولید شعله سخت یا تند می‌شود که احتمالا " مذاب حوضچه جوش را به اطراف می‌پاشد. گاز استیلن و اکسیژن در جلوی نازل چندین منطقه احتراق در شعله بوجود می‌آورند که بوضوح قابل تفکیک هستند. این واکنش در دو مرحله انجام می‌شود:



که بصورت ناحیه کوچک مخروطی شکل در هسته شعله دیده می‌شود.

ب:



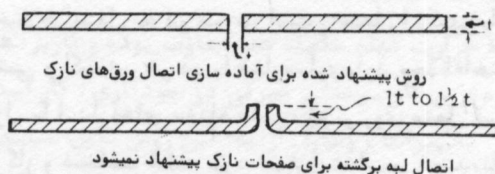
بنابراین $\frac{2}{5}$ کل اکسیژن لازم برای احتراق از سیلندر اکسیژن و بقیه از هوای مین می‌شود.

جوشکار با تجربه، از طریق طول و نسبت طول مناطق مختلف شعله (با رنگهای متفاوت) و با تغییر شیر اکسیژن و استیلن شعله مورد نظر و مناسب را بدست می‌آورد. البته باید توجه داشت که از شعله نرم استفاده کرد، شعله صدا دار و قوی موجب متلاطم شدن مذاب و هاله پوششی گاز بر روی حوضچه مذاب می‌شود. این تلاطم مذاب یا هاله گاز محافظ موجب ایجاد خلل و فرج، اکسید شدن، یا محبوس شدن ذرات سرباره در جوش می‌شود.

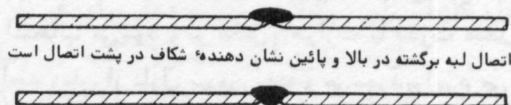
در طرح لبه مورد اتصال باید علاوه بر ضخامت قطعه به احتمال محبوس شدن ذرات فلاکس هم توجه کرد. در ضخامت‌های بین $1/6 - 5/8$ میلیمتر ($1/32$ تا $1/16$ اینچ) کافی است لبه‌ها خم شده و عملیات جوشکاری بدون استفاده از مفتول انجام گیرد شکل (۱۸). در بعضی از آلیاژهای آلومینیم از مفتول با عناصر آلیاژی خاص استفاده میشود. ورق‌های در حدود ضخامت مذکور را میتوان بدون پخ کردن بصورت لب به لب یا سر به سر نیز جوش داد. ضخامت تا $1/25$ سانتی متر ($1/4$ اینچ) را معمولا "بصورت جناقی" (V) یا "لاله‌ای" (U) به صورت یکطرفه پخ می‌کنند شکل (۱۸). در این شکل آماده سازی مناسب برای جوشکاری در وضعیت قائم توسط دو جوشکار هم ملاحظه می‌شود. عموماً

شکل (۱۸)

روش پیشنهاد شده برای آماده سازی اتصال ورق‌های نازک



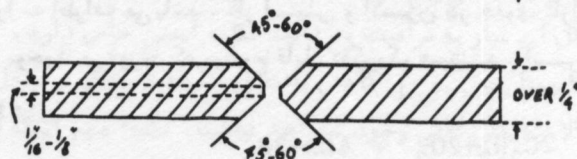
اتصال لبه برگشته برای صفحات نازک پیشنهاد نمیشود



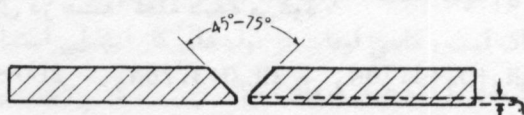
اتصال لبه برگشته در بالا و پائین نشان دهنده شکاف در پشت اتصال است



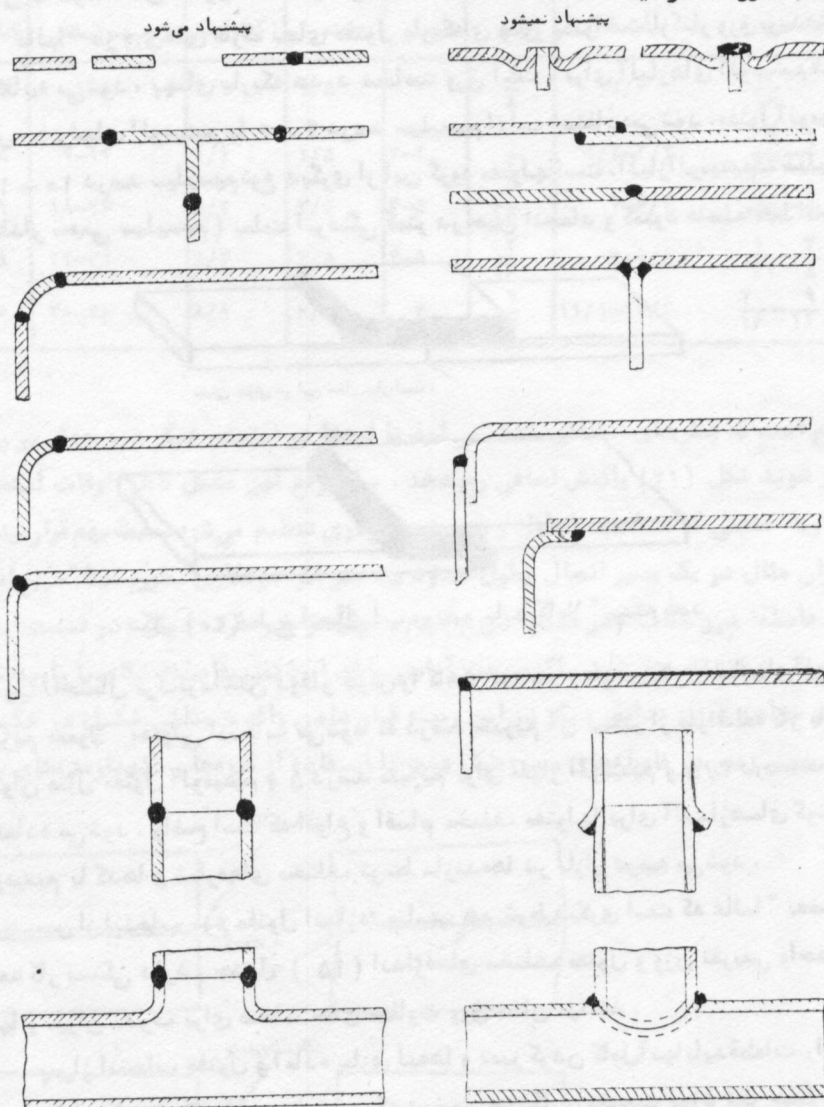
آماده سازی اتصال برای جوشکاری قائم دو جوشکار



آماده سازی اتصال برای جوشکاری آلومینیم و آلیاژهایش تا ضخامت $6/4$ میلیمتر



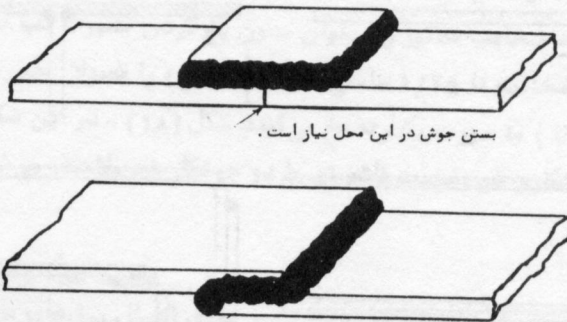
جوش نبشی و رویهم بعلت احتمال حبس ذرات سرباره تجویز نمی‌شود. در بعضی اتصالات مطابق شکل (۱۹) میتوان تغییراتی در طراحی داده و آنها را بصورت سر برسر درآورد، در غیراینصورت مطابق شکل (۲۰) باید کلیه درزها رویهم بسته شوند تا بدین ترتیب اگر ذراتی از فلاکس در سطح مشترک محبوس شد نتواند با رطوبت هوا تماس حاصل کرده و بصورت ترکیب خورنده درآید.



شکل (۱۹) طرح و وضعیت اتصال برای جوشکاری با گاز در آلومینیم، طرحهای طرف راست باید تواءم با تدابیری خاص برای جلوگیری از خوردگی بوسیله بقایای روانساز باشد.

اضافه کردن فلاکس یا تنه کار به موضع جوش معمولا " از طریق فرود بردن مفتول گرم به داخل پودر روانساز و نزدیک کردن آن به شعله و کناره حوضچه مذاب ، یا مالیدن یک لایه از خمیر آن به لبه‌های مورد جوش انجام میگردد . پاشیدن فلاکس به شعله در اثنای جوشکاری صحیح نیست . گاهی اوقات مفتولها با پوشش مخصوصی در دسترس هستند که همزمان با ذوب شدن مفتول ، بمقدار کافی روانساز هم به حوضچه جوش اضافه می‌شود .

غالبا " در ورق‌های نازک بجای مفتول باریک‌ای بطور یکنواخت از کنار ورق بریده شده و استفاده می‌شود ، پهنای باریک حدود ضخامت ورق است . برای آلیاژهای آلومینیم همراه با مس ، مفتولهای آلومینیم با ۶ - ۴ درصد سیلیسیم اغلب استفاده می‌شود . مفتول آلومینیم با ۱۳ - ۱۰ درصد سیلیسیم نوع دیگری از این گروه مفتولهاست . آلیاژ آلومینیم - سیلیسیم (بامقدار معینی سیلیسیم) بعلت آبرفتگی کمتر در حین انجماد و کمبود فاصله خط انجماد



شکل (۲۰) طرح اتصال لب رویهم باید کاملا " بسته شود

و ذوب ، احتمال ترک برداشتن در فلز جوش را کاهش میدهد . در جوشکاری آلیاژهای آلومینیم منیزیم معمولا " مفتولی انتخاب می‌شود که درصد منیزیم آن بیشتر از فلز قطعه کار باشد . بعنوان مثال مفتول آلومینیم و ۵ درصد منیزیم برای آلیاژ آلومینیم و ۳/۵ درصد منیزیم استفاده می‌شود . واضح است که انواع و اقسام مختلف مفتولها برای آلیاژهای گوناگون آلومینیم با کدها و شماره‌های مختلف توسط سازنده‌ها در بازار عرضه می‌شود .

پس از انتخاب نوع مفتول اندازه مناسب هم شرط دیگری است که غالبا " به ضخامت قطعه کار بستگی دارد . جدول (۱۵) اندازه‌های مختلف مفتول و وزن تقریبی واحد طول آنها و میزان مصرف برای ضخامت‌های متفاوت ورق نشان میدهد .

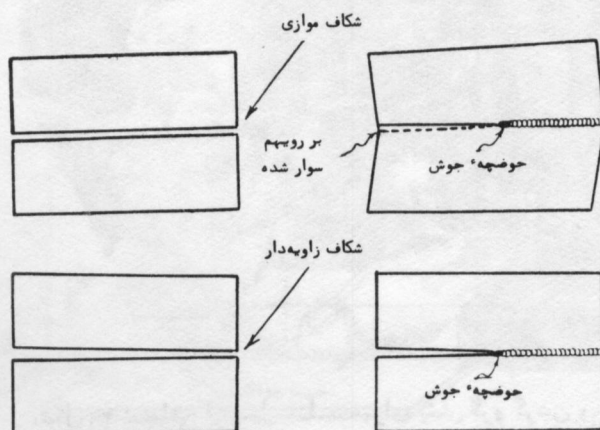
پس از انتخاب مفتول و آماده سازی لبه‌ها و تمیز کردن کامل آنها باید قطعات را مجاور یکدیگر قرار داد یا نگهداشت به نحوی که در ضمن جوشکاری وضعیت مورد نظر حفظ شود . قرار دادن و نگهداشت صحیح آنها باعث کاهش تنش‌ها ، پیچیدگی و احتمال ترک برداشتن می‌شود . اگر لبه‌ها بطور موازی کنار هم قرار گرفته و عملیات جوشکاری از یکطرف شروع شود

جوشکاری آلومینیم و چدن/۴۳

جدول (۱۵) - اعداد مربوط به مفتول برای جوشکاری با گاز در آلومینیم بطریق جهت چپ Leftward

ضخامت فلز		قطر مفتول		وزن تقریبی مفتول		میانگین وزن مفتول مصرفی برای هر پاس از جوش	
				هر ۱۰۰ فوت	هر ۱۰۰ متر	۱۰۰ فوت	۱۰۰ متر
اینچ	میلیمتر	اینچ	میلیمتر	پوند	کیلوگرم	پوند	کیلوگرم
$\frac{1}{16}$	۱/۶	$\frac{1}{8}$	۳	۱/۵	۲/۲	۴-۶	۶-۹
$\frac{3}{32}$ - $\frac{1}{8}$	۲/۴ - ۳/۲	$\frac{1}{8}$	۳-۴	۱/۵	۲/۲	۹-۱۲	۱۳-۱۸
$\frac{5}{32}$ - $\frac{1}{4}$	۴-۶/۴	$\frac{3}{16}$	۴-۵	۳/۵	۵/۲	۱۸-۲۶	۲۷-۳۹
$\frac{9}{32}$ - $\frac{1}{2}$	۷-۹/۵	$\frac{3}{16}$	۴-۵	۳/۵	۵/۲	۲۲-۳۲	۳۳-۴۸
$\frac{7}{16}$ - $\frac{1}{2}$	۱۱/۱ - ۱۴/۳	$\frac{1}{4}$	۶	۶/۰	۸/۹	۳۰-۴۰	۴۵-۶۰

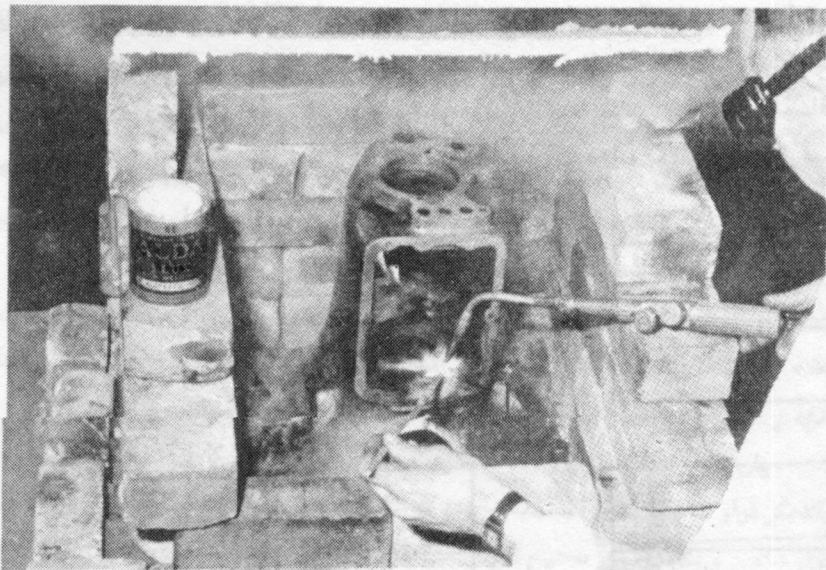
واضح است که تنش‌های انقباض باعث می‌شود تا لبها در انتهای دیگر درز جوش بر رویهم سوار شوند شکل (۲۱) یا تنش اضافی رخ دهد. برای رفع این مشکل گاهی اوقات لبها را با زاویه معینی که متناسب با طول و سرعت جوشکاری تنظیم می‌شود نسبت بههم قرار میدهند بعنوان مثال در یک مسیر اتصال بطول حدود یک متر اگر جوشکاری بطور نسبتاً "سریع انجام شود فاصله درز شکاف (در قسمت شروع) $5/8$ میلیمتر و در طرف دیگر (در قسمت انتها) ۱۵ میلیمتر انتخاب می‌شود. اگر سرعت آرامتر باشد این تغییر فاصله شکاف یا زاویه شکاف بیشتر خواهد بود. تدابیر دیگر در این زمینه قرار دادن زائده مثلی شکل در شکاف، خال جوش زدن در فاصله‌های معین طول مسیر یا استفاده از گیرها و نگهدارنده‌های پیش



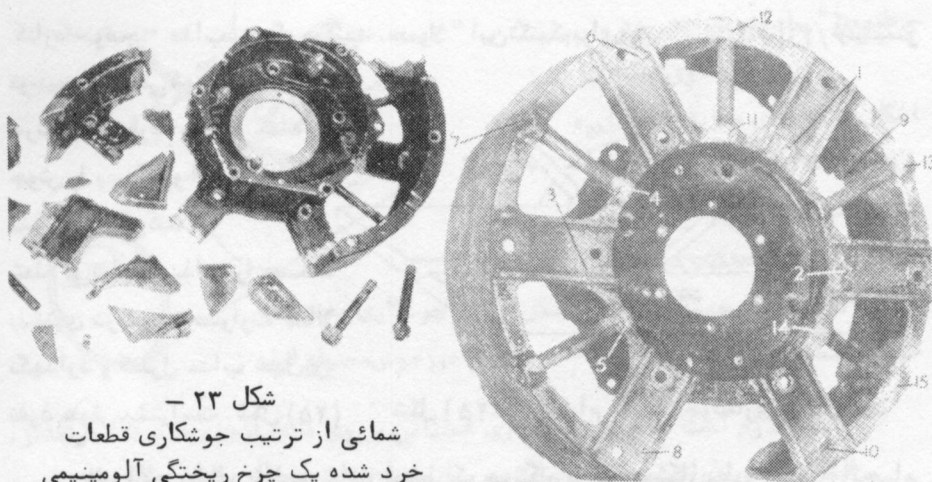
شکل ۲۱ -
سوار کردن موازی و زاویه دار
دو صفحه برای جوشکاری

طرح شده مناسب می باشد. در مورد استفاده از انواع گیره ها و نگهدارنده ها باید دقت کرد که بانداژه ای محکم نباشند تا در ضمن جوشکاری و انبساط و نرم شدن آلومینیم باعث فرو رفتن فک گیره یا نگهدارنده به داخل سطح قطعه آلومینیم شوند.

از آنجا که آلومینیم و آلیاژهای آن گرمای ویژه بالا و ضریب انتقال حرارت زیادی دارند، حرارت زیادی برای جوشکاری ذوبی لازم است و چون شدت و نرخ حرارت در جوشکاری با شعله نسبت به قوس الکتریکی کم است، در قطعات بزرگ "پیش گرم کردن" قطعه ضروری است. البته این پیش گرم کردن باعث کاهش شیب حرارتی در ضمن گرم و سرد شدن و بالنتیجه تقلیل تنش ها و احتمال ترک برداشتن و پیچیدگی هم می شود. پیش گرم کردن بویژه در مورد قطعات ریختگی شکسته شده با طرح پیچیده از ضرورت بیشتری برخوردار است. درجه حرارت پیش گرم کردن بین $250^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$ بوده که به اندازه، درجه مهار یا ممانعت Restraint و نوع آلیاژ بستگی دارد. در مواقع جوشکاری دو قطعه با ضخامت های مختلف میتوان قطعه ضخیم تر را تا درجه حرارت بالاتری پیش گرم کرد. در تعمیرات قطعات ریختگی "ترک" برداشته یا کاملاً شکسته شده، پیش گرم کردن یکنواخت در درجه حرارتی بالاتر از قطعات مشابه غیر ریختگی ضروری است. این عمل می تواند در کوره یا محفظه هایی شبیه شکل (۲۲) انجام شود. آرام سرد شدن قطعه پس از جوشکاری، ایجاد سوراخهائی در انتهای ترکها برای جلوگیری از پیشرفت آن و ترتیب صحیح جوشکاری از موضع های مختلف شکسته شده شکل (۲۳) و همچنین خال جوش زدن و استفاده از گیره ها، نگهدارنده ها و وضعیت دهنده ها



شکل ۲۲ - نمائی از محل مناسب برای پیش گرم کردن و جوشکاری قطعات ریختگی



شکل ۲۳ -

شمائی از ترتیب جوشکاری قطعات
خرد شده یک چرخ ریختگی آلومینیمی

کمک زیادی به موفقیت انجام کار می کنند .

در تکنیک جوشکاری با گاز سه تکنیک شناخته شده و به کار گرفته می شود :

Left - ward

الف : مسطح و افقی بطرف چپ

Right-ward

ب : مسطح و افقی بطرف راست

Vertical - up

ج : قائم بطرف بالا

همانطور که از شکل (۲۴) مشاهده می شود در تکنیک بطرف چپ ، شعله لبه قطعه در

پیشاپیش حوضچه جوش را پیش گرم می کند . زاویه مشعل با سطح کار در ابتداء شروع

45° یا حتی بیشتر خواهد بود . اما همزمان با گرم شدن ورق و پیشرفت جوشکاری زاویه

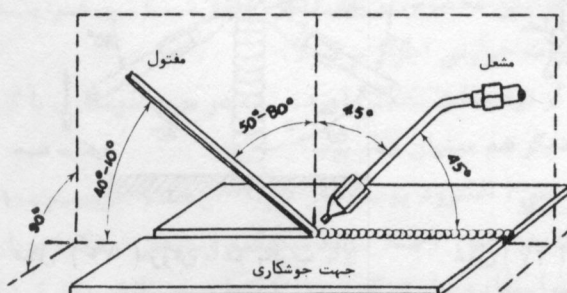
مشعل با صفحه کاهش می یابد تا شدت حرارت کمتر شود . در مواقعی که ذوب زیادی در قطعه

ایجاد شده یا احتمال سوراخ شدن وجود دارد ، دور کردن مشعل از سطح کار صحیح نیست

چون موجب تماس اتمسفر با مذاب خواهد شد . در این حالت با کاهش زاویه مشعل میتوان

از شدت تمرکز حرارت کاست ، زاویه مفتول با خط جوش معمولاً $30^{\circ} - 40^{\circ}$ درجه نگهداشته

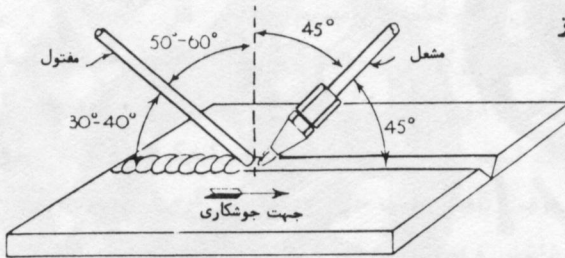
می شود . هنگام اضافه کردن مفتول آغشته به فلاکس که در هاله شعله قرار دارد آنرا به



شکل ۲۴ - دیاگرام برای

جوشکاری جهت چپ در
روی صفحه در وضعیت مسطح

کناره حوضچه مذاب نزدیک میکنند. معمولاً این تکنیک برای ورق های نازک تر از ۴/۶ میلی متر ترجیح داده می شود.



در تکنیک "بطرف راست" شعله، فلز جوش را پس گرم و احیاناً "انیل یا تنش گیری می کند.

شعله می تواند مذاب را بمدت بیشتری در درجه حرارت بالا نگهدارد و کنترل مذاب سهل تر و

نفوذ جوش بیشتر است. شکل (۲۵) دیاگرام تکنیک جوشکاری جهت راست

روش قائم بطرف بالا می تواند توسط یک جوشکار یا دو جوشکار بطور همزمان انجام

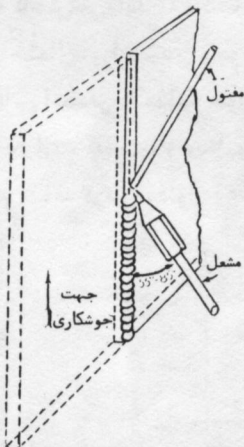
شود و برای قطعات ضخیم ۱۰ - ۲ میلی متر مناسب است. شکل های (۲۶) و (۲۷).

برای کاهش احتمال ترک برداشتن در مسیرهای خطی افقی بهتر است شروع عملیات

جوش دادن از فاصله ای دورتر از ابتدای مسیر انجام شود. این فاصله حدود $\frac{1}{4}$ کل مسیر است. پس از پایان این قسمت، قطعه را گردانده و جوشکاری از نقطه شروع اولیه آغاز کرده و $\frac{1}{4}$ باقیمانده مسیر را (در حقیقت در خلاف جهت قسمت مرحله اول) جوش داد.

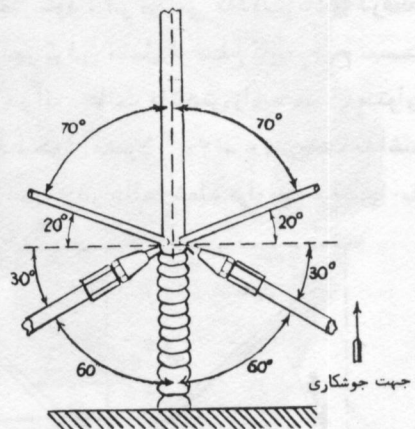
اگر در اثر نگهداشتن شعله در یک نقطه سوراخی ایجاد شود باید از تلاش برای پر

کردن سوراخ در همان لحظه اجتناب کرد. غالباً پس از خاتمه جوشکاری مسیر، پرکردن اینگونه سوراخها با دقت و مهارت بیشتر و با حرکت محیطی در اطراف سوراخ انجام میشود



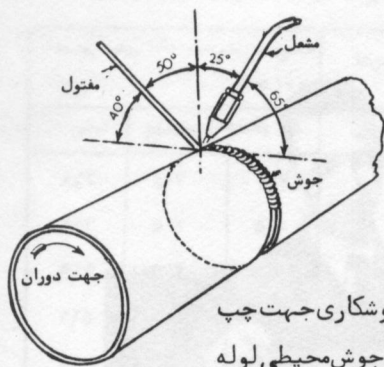
شکل (۲۷) روش قائم بطرف بالا با یک

جوشکار



شکل (۲۶) روش قائم بطرف بالا

با دو جوشکار بطور همزمان



شکل (۲۸) جوشکاری جهت چپ
از درز جوش محیطی لوله

و طبیعتاً " ساده تر خواهد بود .

در جوشکاری لوله و

اشکال استوانه‌ای مطابق شکل

(۲۸) لوله بطور خودکاری با کمک

سیستم ساده اهرم و قرقره‌وپای

جوشکار آنچنان حرکت دورانی

می‌کند که عملیات جوشکاری در

حالت مسطح انجام پذیرد .

غالباً " لازم است که پس از جوشکاری عملیاتی بر روی قطعه انجام شود که عبارتند از:

الف: شستن ذرات و بقایای سرباره و روانساز از مواضع جوش، این عمل ممکن است

با آب گرم و یا محلول ۵ درصد اسید نیتریک و سپس آب گرم انجام شود. برای اطمینان از

تمیز شدن کامل، میتوان از محلول ۱۲ درصد نیترات نقره استفاده کرد. اگر رسوب سفیدی

در این محلول مشاهده شود نشان میدهد که عمل شستن ذرات روانساز و سرباره بطور کامل

انجام نگرفته است.

ب: کار سرد و مکانیکی: در قطعات آلومینیمی که با کار مکانیکی به استحکام بالایی

دست یافته‌اند، منطقه مجاور خط جوش بر روی آنها، تحت سیکل حرارت جوشکاری (بویژه

با شعله) مقداری از سختی و استحکام خود را از دست داده و نرم می‌شود. همچنین مشخصات

فلز جوش شبیه قطعه ریخته شده (as-cast) می‌باشد. برای بالا بردن استحکام و

سختی فلز جوش و منطقه نرم شده مجاور آن (بویژه در مورد آلیاژهای غیر قابل عملیات

حرارتی) با عملیات نورد، کوبیدن یا چکش کاری آرام بر روی آنها کار سرد انجام میدهند

شکل (۲۹).

ج: عملیات حرارتی: گاهی لازم می‌شود برای دستیابی به خواص هموزن قطعات

آلومینیمی و آلیاژهای آن که تحت عملیات جوشکاری قرار گرفته‌اند بر حسب نوع آلیاژ و

مشخصات اولیه قطعه، عملیات حرارتی مخصوص بر روی آنها انجام شود. این فرآیند

بیشتر بر روی آلیاژهای قابل عملیات حرارتی اجراء می‌شود.

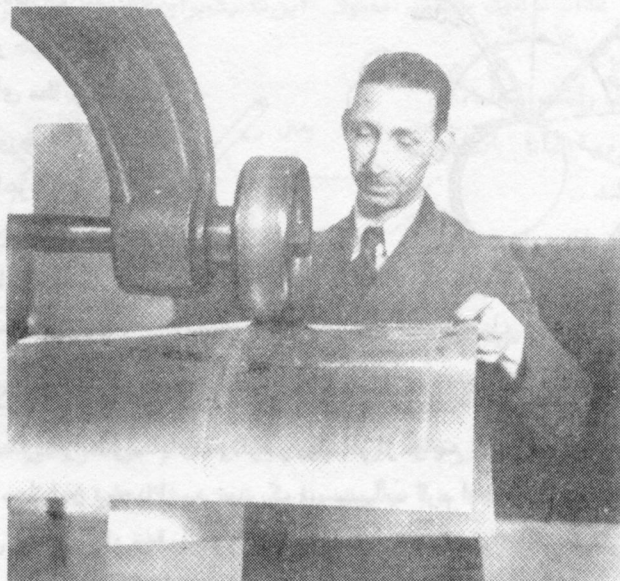
لازم به تذکر است بسیاری از توضیحات تکنیکی آورده شده در مورد جوشکاری با گاز

بر روی آلومینیم را در روش‌های دیگر هم میتوان بکار برد.

۴- جوشکاری با الکتروود دستی: الکتروود پوشش دار عموماً " از هسته آلومینیم ۱۱۰۰

(۹۹/۵ درصد آلومینیم) و آلومینیم ۴۰۴۳ (۶-۴ درصد سیلیسیم) تهیه می‌شود که با جریان

یکنواخت معکوس (RPDC) مورد استفاده قرار می‌گیرد. فلاکس یا پوشش الکتروود که از



شکل (۲۹) بازگرداندن استحکام منطقه آنیل شده مجاور جوش توسط کار سرد

ترکیبات فلورید و کلرید و بی سولفیت فلزات قلیائی بوده از طریق اکستروژن بر روی هسته پوشیده می شود و دو نقش مهم را ایفا می کند :

الف : تولید گاز برای ایجاد هاله های اطراف قوس و حوضچه مذاب

ب : تشکیل مخلوط شیمیائی بالاییه اکسید آلومینیم در سطح و زدودن این قشر و تشکیل سرباره های در روی مذاب تا آنرا از اتمسفر محافظت کند .

چون این روش جوشکاری شناخته شده و مرسوم است از توضیح جزئیات آن صرف نظر می شود . استفاده از این روش برای آلومینیم بعلت عدم سهولت تمیز کردن کامل سرباره ، جرقه قوس و شدت حرارت زیاد محدود می باشد و در قطعات تعمیراتی و ضخیم بالای ۳ میلیمتر ($\frac{1}{8}$ اینچ) کاربرد مختصری دارد .

حدود تقریبی شدت جریان و قطر الکترود مناسب برای جوشکاری ضخامت های مختلف آلومینیم در جدول (۱۶) آورده شده است . طول قوس باید حتی المقدور کوتاه انتخاب شده و سرعت جوشکاری سریع تر از فولاد مشابه باشد . همانطور که اشاره شد تمیز کردن سرباره کمی مشکل است و بعضی مواقع لازم است با محلول های آب گرم و اسید نیتریک یا اسید سولفوریک ذرات سرباره را تمیز کرد .

مذاب بعلت درجه حرارت بالایی که در زیر قوس دارد ، بسیار روان است ، به همین خاطر گاهی اوقات از تسمه های مسی یا فولادی برای جلوگیری از جاری شدن مذاب در پشت

جوشکاری آلومینیم و چدن/۴۹

جدول (۱۶) حدود وضعیت برای جوشکاری قوس - الکتروود دستی از آلومینیم با جریان یکنواخت و الکتروود مثبت

ضخامت فلز (اینچ)	قطر الکتروود (اینچ)	حدود شدت جریان (آمپر)	تعداد پاس‌ها		حدود تقریبی مصرف الکتروود - پوند / ۱۰۰ فوت		
			لب به لب	نبشی	لب به لب	لب روی هم	نبشی
۰/۰۸۱	$\frac{1}{8}$	۶۰	۱	۱	۴/۷	۵/۳	۶/۳
۰/۱۰۲	$\frac{1}{8}$	۷۰	۱	۱	۵/۰	۵/۷	۶/۳
۰/۱۲۵	$\frac{1}{8}$	۸۰	۱	۱	۵/۷	۶/۳	۶/۳
۰/۱۵۶	$\frac{1}{8}$	۱۰۰	۱	۱	۶/۳	۶/۵	۶/۵
۰/۱۸۸	$\frac{5}{32}$	۱۲۵	۱	۱	۸/۷	۹/۰	۹/۰
۰/۲۵۰	$\frac{3}{16}$	۱۶۰	۱	۱	۱۲	۱۲/۰	۱۲/۰
۰/۳۷۵	$\frac{1}{4}$ و $\frac{3}{16}$	۲۰۰	۲	۳	۲۵	۲۹/۰	۳۵/۰
۰/۵۰۰	$\frac{3}{16}$ و $\frac{1}{4}$	۳۰۰	۳	۳	۱۳۵	۳۵/۰	۳۵/۰
۱/۰۰	$\frac{5}{16}$	۴۵۰	۳	۳	۱۳۰	۱۵۰/۰	۱۵۰/۰
۲/۰۰	$\frac{5}{16}$ یا $\frac{3}{8}$	۵۵۰	۸	۸	۴۰۰	۴۵۰/۰	۴۵۰/۰

۰ برای جوش های نبشی
+ برای جوش های لب به لب

درز جوش استفاده می کنند. الکتروود در شروع جوشکاری، سطح کار را طوری لمس می کند که قوس در فاصله ۲۵ میلیمتری نقطه شروع اصلی ایجاد شده و سپس به این نقطه برگشت داده می شود. بدین ترتیب عیوبی که در اولین قطرات ذوب از الکتروود بوجود آمده اند در برگشت قوس بر روی آنها برطرف و یا کاهش داده می شوند (اولین قطرات بعلت عدم وجود هاله پوششی پایدار ممکن است با ترمسفر تماس حاصل کنند). در مواقعی که قوس به دلایلی قبل از پایان الکتروود قطع شود، شروع مجدد آن ممکن است مشکل باشد، چون لایه ای از سرباره نوک الکتروود را می پوشاند و مانع تماس الکتریکی می شود. در چنین حالت باید با ضربه زدن به نوک الکتروود این مانع را برطرف کرد.

بسیاری از نکات از نظر آماده سازی لبه ها یا عملیات ضروری پس از جوشکاری مشابه مطالبی است که قبلاً "در روش های دیگر بحث شد و در اینجا از تکرار آن خودداری می شود.

۵- جوشکاری مقاومتی Resistance welding (نقطه ای، نواری و جرقه ای):

روش های جوشکاری مقاومتی* (پاورقی ۹) در ساختن قطعات آلومینیم بویژه در مورد آلیاژهایی با استحکام بالا و قابل عملیات حرارتی معمول است، چون توسط روش های ذوبی گفته شده در قسمت های قبل، استحکام در محل اتصال و مناطق مجاور آن کاهش می یابد.

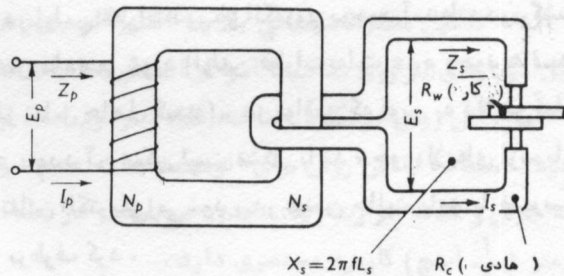
حد پلاستیکی آلومینیم نسبت به فولاد باریک است و خیلی سریع با افزایش درجه

حرارت نرم می شود و این موجب فرو رفتن فک الکترودها به سطح قطعه می شود. بنابراین باید عمل در زمان بسیار کوتاه ۰/۰۰۵ - ۰/۰۰۲ ثانیه و سریع انجام شود. همچنین در سیستم فرود آمدن فکها به این مسئله باید توجه کرد.

* (پاورقی ۹)

جوشکاری مقاومتی: عمل اتصال در این روش توسط حرارت و فشار توأم انجام میگیرد. حرارت در عرض داخلی و سطح مشترک دو ورق بر رویهم در موضع اتصال در اثر عبور جریان الکتریکی و مقاومت الکتریکی فلز تولید و منتشر می شود. جریان الکتریکی مذکور از طریق تماس الکترودها و تماس آنها با سطح کار منتقل می شود، یا از طریق ایجاد حوزه مغناطیسی احاطه شده در اطراف کار به قطعه القاء می شود. عوامل شدت جریان و زمان از طریق دستگاه جوش قابل کنترل هستند اما مقاومت الکتریکی به عوامل مختلفی از جمله جنس و ضخامت قطعه کار، فشار بین الکترودها، اندازه، شکل و جنس الکترودها و چگونگی صافی و تمیزی سطح کار بستگی دارد. شکل (۳۰) شمائی از دستگاه و مقاومت های مختلف را نشان میدهد، مجموعه آنها مقاومتها، است که در مسیر جریان الکتریکی قرار میگیرد. مقاومت ۳ مقاومت تماس بین دو ورق، مهمترین آنها می باشد. فلزات دارای مقاومت الکتریکی کم بوده بالنتیجه مقاومت های ۱ و ۳ و ۵ اهمیت بیشتری پیدا می کند. مقاومت های ۲ و ۴ بستگی به ضریب مقاومت الکتریکی و درجه حرارت قطعه کار دارد. مقاومت های ۱ و ۵ ناخواسته بوده و باید

شدت جریان I_p, I_s
ابتدائی و ثانوی P, P_s
ولتاژ ابتدائی و ثانوی E_p, E_s
دور ابتدائی و ثانوی N_p, N_s
مقاومت ثانوی X_s

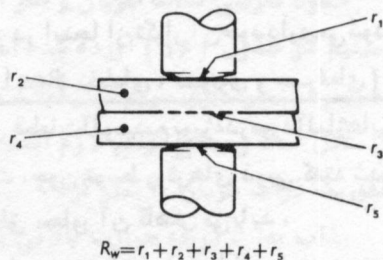


$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

$$Z_p = \left(\frac{N_p}{N_s}\right)^2 Z_s$$

$$Z_s^2 = R_s^2 + X_s^2$$

$$R_s = R_w + R_c$$



شکل (۳۰) شمائی از دستگاه جوش مقاومتی

به علت آب رفتگی زیاد آلومینیم (۷-۶) از حالت مایع به جامد، آلیاژهای استحکام بالای آن در مقابل ترک برداشتن ناشی از آبرفتگی حساس هستند. لایه اکسید آلومینیم علاوه بر ایجاد مزاحمت‌های گذشته از نظر هدایت الکتریکی در سطح مشترک هم

حتی المقدور آنرا کاهش داد. تمیزی سطح کار و الکتروود، و نیروی فشاری وارد بر الکتروود عوامل تقلیل دهنده این مقاومت‌ها (۱ و ۵) می‌باشند.

از نظر اقتصادی قابل توجه است که فاکتور زمان حتی المقدور کاهش یابد. نتیجتاً نیاز به جریان لحظه‌ای بالا در حدود چند هزار آمپر با ولتاژ ۱۰-۵/۰ ولت است. معمولاً دو سیستم مکانیکی و هوای فشرده برای اعمال نیرو یا فشار به الکتروودها بکار گرفته می‌شود.

خواص فیزیکی فلز مورد جوش نظیر ضریب مقاومت الکتریکی، ضریب هدایت حرارتی، گرمای ویژه و ضریب انبساط حرارتی عوامل مهمی هستند که بر روی چگونگی فرآیند و مشخصات جوش مقاومتی تأثیر مستقیم دارند. بعنوان مثال با توجه به ضرایب مقاومت الکتریکی آلومینیم و فولاد زنگ‌نزن ($\rho_{\text{Al}} = 2/87 \mu\Omega$ و $\rho_{\text{Fe}} = 70 \mu\Omega$ فولاد زنگ‌نزن) میتوان پیش‌بینی کرد در جوش مقاومتی ورقهای مشابه از آلومینیم و فولاد زنگ‌نزن، نیاز به شدت جریان بیشتری برای آلومینیم است.

جوش مقاومتی نقطه‌ای یکی از معمولی‌ترین فرآیند جوش کاری مقاومتی است. در عمل روابط و جداولی بین قطر الکتروود، ضخامت ورق و عوامل دیگر وجود دارد. معمولاً قطر دکمه جوش نزدیک قطر الکتروود است.

جوشکاری مقاومتی با اصلاحات و تغییرات انجام شده بر آن دارای تنوع و کاربردهای مختلف است. مهمترین آنها عبارتند از: جوش چند نقطه‌ای همزمانه، جوش لِه‌کردنی Mash Welding، جوش بخیه‌ای stichwelding شبیه جرخ خیاطی جوش‌های نقطه‌ای متمازی بطور منفک از یکدیگر یا سوار بر هم انجام میدهد)، جوش پیش‌طرحی-Projection Welding (مواضعی از سطوح تماس دارای برجستگی‌هایی بوده که جریان الکتریکی از این برجستگی‌ها عبور کرده و ذوب و اتصال در این مواضع انجام میگردد)، جوش مقاومتی نواری Seam Welding (الکتروودها بصورت غلطک‌هایی می‌باشد و سطوح مورد جوش در زیر الکتروودهای غلطکی عبور می‌کند)، جوش لب به لب لوله‌ای بافرکانس بالا، جوشکاری جرقه‌ای Flash Welding (که غالباً برای اتصالات سر به سر میله‌ای استفاده می‌شود)، و جوشکاری مقاومتی سر به سر Upset Welding توضیح جزئیات این فرآیندهای جوشکاری مقاومتی در حوصله این کتاب نیست (به ماءخذ شماره ۱ مراجعه شود).

مشکل ساز بوده و قشر آن باید قبل از جوشکاری برطرف شده یا نازک شود .
قابلیت جوشکاری مقاومتی آلیاژهای مختلف آلومینیم متفاوت می باشد .
هر چند دستگاههای معمولی جوش مقاومتی قابل استفاده برای قطعات آلومینیومی می باشد ولی بهترین نتیجه با دستگاههایی بدست می آید که دارای قابلیت های زیر باشند :
الف : قابلیت دست یابی به شدت جریان بالا در زمان کوتاه جوش ، شدت جریان لازم برای آلومینیم تقریباً " چهار برابر قطعه فولادی مشابه است .

ب : دارای سیستم الکترونی دقیق کنترل شدت جریان و زمان
ج : سیستم حرکت سریع و بدون اصطکاک برای فک های الکترو
د : شدت جریان برای پس گرم کردن و کنترل سرد شدن آرامتر دکمه جوش
ه : سیستم سرد کننده خوب برای الکترودها
و : سیکل کنترل نیروی فشاری . فشار زیاد اولیه برای تماس الکتریکی خوب ، فشار کم در مرحله ذوب و مجدداً " فشار زیاد برای له کردن دکمه جوش و کاهش عیوب در آن نظیر خلل و فرج .

بطور کلی دو نوع دستگاه برای جوش نقطه ای وجود دارد . نوع اول مصرف انرژی مستقیم که فقط در اثنای جوش دادن نیرو مصرف می شود . نوع دوم انرژی انبار شده ، که بطور مداوم انرژی کمی مصرف و تدریجاً " انبار شده و در یک لحظه یعنی زمان جوشکاری رها می شود . هر یک از دو نوع بالا بر حسب تک فاز یا سه فاز بودن ، و خصوصیات دیگر در چندین نوع وجود دارند که توضیح جزئیات آنها در اینجا ضروری نیست .

شکل ، اندازه ، نوع و سیستم سرد کننده الکترودها پارامترهای مهم دیگری هستند که حائز اهمیت بوده و باید به آن توجه دقیق کرد . بعلاوه فشار و شدت جریان زیاد باید اولاً الکترودها از آلیاژهای خاص مس با سختی و هدایت حرارتی و الکتریکی بالا درست شوند . ثانیاً " الکترودها باید دارای سیستم سردکننده با آب باشند تا افزایش احتمالی درجه حرارت موجب نرم شدن آن نشود . شدت جریان بالا ، زمان جوشکاری طولانی تر و با سرعت جوشکاری سریع تر نیاز به الکترودهای قطورتر دارد . بعنوان مثال الکترودها با قطر ۱۶ میلیمتر ($\frac{5}{8}$ اینچ) برای جریان الکتریکی تا ۶۵۰۰۰ آمپر و زمان جوشکاری ۱۵ سیکل ($\frac{1}{4}$ ثانیه) مناسب است .

یکی از مشکلات مهم چسبیدن یا جذب آلومینیم بر روی سطوح الکترودها است که این آلیاژ آلومینیم - مس دارای هدایت الکتریکی پائین می باشد . ادامه جوش دادن در این شرایط باعث چسبیدن کار به الکترودها می شود و باید حتماً " این لایه از روی الکترودها تمیز شود . شکل نوک الکترودها در اثنای تمیز کردن و کار کردن باید حفظ شود .
پر واضح است تمیز کردن سطوح لبه هایی که بر رویهم قرار میگیرند یا با الکترودها در

تماسند ، از چربی ، ناخالصی‌ها و برطرف کردن لایه اکسیدی (از طرق مکانیکی یا شیمیائی) برای دست یابی به جوش با کیفیت خوب ضروری است .

جدول (۱۷) پارامترهای ماشین ساده جوش مقاومتی برای ضخامت‌های مختلف آلومینیم را نشان میدهد . این جدول بعنوان نمونه آورده شده است . در دستگاه‌های مختلف جوش نقطه‌ای مشخصات متفاوت است و معمولاً " جداولی ضمیمه آنها می باشد . برای دست یابی به وضعیت صحیح دستگاه لازم است با کمک این چنین جداولی جوش‌هایی بر روی ورق‌های قراضه از جنس ، ضخامت و شرایط مشابه قطعه کار انجام داده و پس از بررسی و مطالعه کیفیت جوش انجام شده و تنظیم نهایی دستگاه ، عملیات جوشکاری بر روی قطعه

جدول (۱۷) - بعضی پارامترها در جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای با تجهیزات تک فاز C-A

ضخامت فلز* اینچ	قطر الکترود		نیروی خالص بر الکترود پوند	حدود شدت جریان آمپر	حدود زمان جوشکاری سیکل
	قطر به اینچ	قطر به اینچ بالا-پائین			
۰/۰۱۶	۵/۸	۱- تخت	۳۲۰	۱۵۰۰۰	۴
۰/۰۲۰	۵/۸	۱- تخت	۳۴۰	۱۸۰۰۰	۵
۰/۰۲۵	۵/۸	۲- تخت	۳۹۰	۲۱۸۰۰	۶
۰/۰۳۲	۵/۸	۲- تخت	۵۰۰	۲۶۰۰۰	۷
۰/۰۴۰	۵/۸	۳- تخت	۶۰۰	۳۰۷۰۰	۸
۰/۰۵۰	۵/۸	۳- تخت	۶۶۰	۳۳۰۰۰	۸
۰/۰۶۳	۵/۸	۳- تخت	۷۵۰	۳۵۹۰۰	۱۰
۰/۰۷۱	۵/۸	۴-۴	۸۰۰	۳۸۰۰۰	۱۰
۰/۰۸۰	۷/۸	۴-۴	۸۶۰	۴۱۸۰۰	۱۰
۰/۰۹۰	۷/۸	۶-۶	۹۵۰	۴۶۰۰۰	۱۲
۰/۱۰۰	۷/۸	۶-۶	۱۰۵۰	۵۶۰۰۰	۱۵
۰/۱۲۵	۷/۸	۶-۶	۱۳۰۰	۷۶۰۰۰	۱۵

* ضخامت یکی از دو صفحه است

انواع آلیاژهای آلومینیم H18 - H12 - 1100 , H12-H18 - 3003 ,
H38-H32-3004 , H38-H32-5050 , H38-H32-5052 , H38-H32-5154 ,

T6 - T4 - 6061 , T4-T6 - 6063

اصلی پیاده می‌شود. اگر قطر دکمه جوش کم باشد می‌توان با افزایش شدت جریان یا قطر الکترود آنرا بزرگتر کرد. اگر از محل دکمه جوش فلز مذاب بین سطح مشترک پاشیده شده باشد باید نیروی فشاری الکترودها افزایش داده شود یا شدت جریان کاهش یابد. اگر در روی سطح، آثار زیادی از تاریک و کدر شدن یا ذوب سطحی و یا چسبیدن الکترود پس از یک یا دو جوش مشاهده شود باید یا نیروی فشاری الکترود را افزایش داد، یا از زمان یا شدت جریان کاست. همچنین ممکن است این عیب در اثر عدم تمیز بودن کامل سطح یا عیبی در سیستم سرد کننده الکترودها بوده باشد. نفوذ جوش بین ۲۰ تا ۸۰ درصد از ضخامت ورق معمولاً "رضایتبخش" است. افزایش شدت جریان باعث بیشتر شدن عمق نفوذ، و برعکس بزرگتر شدن قطر الکترود موجب کاهش نفوذ می‌شود. جدا شدن صفحات بیش از ده درصد مجاز نیست و برای کاهش جدایش صفحات میتوان قطر الکترود را بزرگتر گرفت، نیروی فشاری و شدت جریان را کاهش داد. سرعت سرد شدن سریع و نیروی فشاری ناقص عواملی هستند که ترک برداشتن و خلل و فرج را موجب می‌شوند. پس از دست یابی به ظاهر خوب جوش باید چند نمونه هم برای آزمایش استحکام برشی، متالوگرافی و احیاناً "رادیوگرافی" تهیه کرد.

در هنگام جوشکاری دو صفحه با ضخامت‌های مختلف پارامترهای ماشین باید براساس صفحه نازک‌تر تنظیم شود، و اگر چندین صفحه بر روی هم جوش داده شود اساس تنظیم بر روی صفحه رویی با اندک افزایش در شدت جریان و فشار است. گاهی اوقات از الکترودهای نوک باریک و نوک پخ برای تمرکز شدت حرارت یا فشار نامساوی بر روی صفحه غیرهمگن استفاده می‌شود، بعنوان مثال الکترود باریک‌تر بر روی صفحه ضخیم‌تر و الکترود پخ بر روی صفحه نازک تماس حاصل می‌کند.

اصولاً "جوش مقاومتی نقطه‌ای و نواری بر روی لبه‌های رویهم انجام میگیرد و بیشتر استحکام اتصال بصورت استحکام برشی مطرح می‌شود. این استحکام به قطر دکمه‌ها یا نوار جوش، فاصله نقطه‌ها نسبت به یکدیگر، وضعیت پارامترها در دستگاه، ضخامت و نوع آلیاژ قطعه و فاصله‌ای که لبه‌ها بر رویهم سوار شده‌اند بستگی دارد که معمولاً "در جداول و استانداردهای مختلف آورده شده است.

۶- جوشکاری حالت جامد Solid State Welding: همانطور که از اسم این روش استنباط می‌شود، جوشکاری بدون ذوب انجام شده و در صورت لزوم اضافه کردن فلز پرکننده تحت فشار و درجه حرارت (درجه حرارتی پائین‌تر از نقطه ذوب) انجام میگیرد. جوشکاری فشاری سرد، جوشکاری با امواج صوتی، جوشکاری اصطکاکی و جوشکاری دیفیوژیونی از انواع جوشکاری جامد است. از این روش می‌توان برای اتصال قطعات آلومینیمی به یکدیگر یا حتی به قطعات مسی و فولادی استفاده کرد* (پاورقی ۱۰).

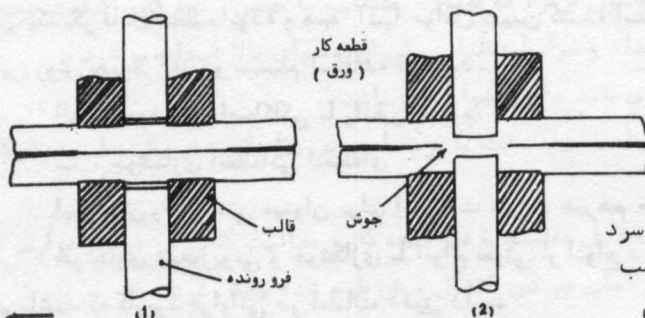
در درجه حرارت محیط به نیروی فشاری زیادی نیاز است ($15000 - 150000 \text{ psi}$) که با افزایش درجه حرارت میتوان این نیرو را تقلیل داد. معمولاً منطقه متصل شده دارای سختی و استحکام بیشتر و ضخامت و انعطاف پذیری کمتری است. در اینجا هم تمیزی سطح از چربی، ناخالصی و لایه اکسیدی به دست یابی اتصال محکم تر کمک می کند. موفقیت در انجام جوش جامد آلیاژهای مختلف آلومینیم متفاوت است. یکی از روش های بسیار مرسوم برای جوشکاری ورق های نازک و بسیار نازک آلومینیم، روش جوشکاری با امواج صوتی است.

* (پاورقی ۱۰)

جوشکاری حالت جامد: این عمل به چندین روش انجام میگردد. یکی از قدیمترین روش اتصال فلزات، گداختن آنها و سپس رویهم قرار دادن و چکش کاری آنها بوده است که اصطلاحاً "جوشکاری آهنگری" Forge Welding نام دارد. جوشکاری فشاری سرد نوع دیگری است که دو قطعه مورد اتصال از طریق فشار بصورت پلاستیکی درهم ادغام می شوند و بیشتر در مورد فلزات نرم نظیر آلومینیم و مس قابل اجراء است. در این نوع فرآیند حتی فلزات غیر هم جنس را میتوان بیکدیگر متصل کرد.

آماده سازی و تمیز کردن سطح یکی از مهمترین عامل تعیین کننده خواص اتصال است. عملیات حرارتی بر روی اینگونه اتصالات ممکن است اثرهای مختلفی داشته باشد که به خصوصیت فلز یا دو فلز مورد اتصال بستگی دارد.

شکل (۳۱) جوش نقطه ای با سمبه تحت فشار را نشان میدهد. با افزایش سطح سمبه و بزرگتر شدن سطح مقطع جوش، استحکام بالاتر میرود. از سوی دیگر هر چه میزان فرو رفتن سمبه بیشتر شود، استحکام نیز تا حد معینی افزایش یافته و سپس کاهش می یابد. قطر سمبه معمولاً یک تا سه برابر ضخامت کار است. از قالب های دوبله نیز میتوان برای بهبود استحکام استفاده کرد تا امکان جدا شدن صفحات در اطراف سمبه بوجود نیاید. بجای سمبه میتوان از غلطک های مخصوص نیز استفاده کرد و اتصال را بصورت نواری انجام داد. نوع دیگر جوش جامد، روش اصطکاکی است. در این روش انرژی جنبشی دورانی در



شکل (۳۱) شمائی از جوش سرد فشاری از طریق سمبه و قالب برای جلوگیری از پیچیدگی

۷- لحیم کاری سخت و نرم Brazing and soldring: بسیاری از آلیاژهای

آلومینیم قابلیت لحیم کاری سخت را دارند. آلیاژهای لحیم سخت مناسب، ساختار و خواصی شبیه آلومینیم با مقاومت خوردگی خوب، استحکام بالا و ظاهر رضایتبخش برای اتصال ایجاد می کنند. نقطه ذوب مفتول لحیم سخت مناسب برای آلومینیم، نزدیک نقطه ذوب آلومینیم می باشد و با نتیجه کنترل درجه حرارت قطعه در اثنای لحیم کاری بسیار دقیق و حساس است. لحیم کاری سخت بر روی بعضی از آلیاژهای آلومینیم با نقطه ذوب پائین و هم چنین آلیاژهای آلومینیم با درصد بالای منیزیم، مشکل یا عملاً "غیر ممکن است. یکی از آلیاژهای لحیم سخت برای آلومینیم BA1Si-4 با ۱۲ درصد سیلیسیم و نقطه ذوب ۵۸۲-۵۷۷ درجه سانتی گراد (۱۰۷۰-۱۰۸۰ درجه فارنهایت) و درجه لحیم کاری ۶۰۴-۵۸۲ درجه سانتی گراد (۱۱۲۰-۱۰۷۰ درجه فارنهایت) می باشد که میتوان با مشعل استفاده از فلاکس یا روانساز مخصوص، قطعات آلومینیمی را لحیم سخت کرد* (پاورقی ۱۱)

بیشتر آلیاژهای آلومینیم که قابلیت لحیم کاری نرم دارند بیش از ۱ درصد منگنز یا ۵ درصد سیلیسیم ندارند. از سوی دیگر نتیجه لحیم کاری نرم آلیاژهای آلومینیم با درصد بالای مس یا روی هم چندان رضایتبخش نیست. غالباً "قطعات ریختگی آلومینیم را نمیتوان لحیم نرم کرد. آلیاژهای لحیم نرم برای آلومینیم به سه دسته تقسیم میشوند: الف: درجه حرارت پائین ۲۶۰-۱۵۰ درجه سانتی گراد (۵۰۰-۳۰۰ درجه فارنهایت) شامل قلع و سرب و مقدار جزئی روی و کادمیم که خاصیت خیس کنندگی و استحکام نسبتاً پائینی دارد.

سطح تماس دو قطعه به انرژی حرارتی تبدیل شده و پس از بالا رفتن درجه حرارت و پلاستیکی شدن سطوح تماس با فشاری اضافی درهم فرو رفته و از جنبش باز می ایستند و بدین ترتیب عمل اتصال انجام میگردد. قرار گرفتن کامل دو سطح در روبروی یکدیگر، سرعت گردشی، فشار اولیه برای ایجاد اصطکاک و حرارت، زمان و بالاخره فشار نهایی برای فرو بردن لبه ها در یکدیگر قابل تنظیم بوده و همه آنها عوامل تعیین کننده استحکام اتصال هستند. در این روش معمولاً "از دو سیستم استفاده می کنند.

الف: جوشکاری اصطکاکی با راندن مداوم

ب: جوشکاری اصطکاکی لحظه ای

این روش را براحتی میتوان برای اتصالات فلزات غیرهم جنس بکار گرفت. جوشکاری دیفوزیونی و جوشکاری با امواج صوتی از انواع دیگر جوشکاری حالت جامد می باشند که کاربرد فراوانی در قطعات دقیق دارند.

ب : درجه حرارت متوسط $370^{\circ}\text{C} - 260^{\circ}\text{C}$ ($700^{\circ}\text{F} - 500^{\circ}\text{F}$) شامل روی و کادمیم (۴۰ درصد کادمیم + ۶۰ درصد روی) ، یا روی و قلع (۸۰ درصد روی + ۲۰ درصد قلع) که خاصیت خیس کنندگی خوب و استحکام متوسطی دارند .

* (پاورقی ۱۱)

لحیم کاری سخت و نرم : لحیم کاری به آن دسته از روش‌های اتصال فلزات گفته می‌شود که در آنها چسبندگی قطعات بیکدیگر بکمک حرارت دادن تا درجه حرارت معین و سپس استفاده از مفتول فلزی جداگانه با نقطه ذوبی پایین‌تر از نقطه ذوب فلز قطعه مورد اتصال که به محل فصل مشترک دو سطح اضافه شده ، انجام میگیرد . مفتول فلز لحیم پس از تماس با سطح داغ قطعه کار ذوب شده و براساس خاصیت لوله‌های موئین یا موئینگی Capillary action در فصل مشترک دو سطح نفوذ کرده و پس از انجماد موجب چسباندن دو سطح می‌شود . اگر مفتول دارای نقطه ذوبی بالاتر از 450°C درجه سانتی‌گراد باشد آنرا لحیم سخت و اگر آلیاژ آن دارای نقطه ذوبی پایین‌تر از درجه حرارت مذکور باشد آنرا لحیم نرم می‌گویند . مکانیسم اتصال ، طرح لبه‌های مورد اتصال ، روش‌های اجرای عملیات و بسیاری از نکات دیگر در این دو فرآیند مشابه است .

یکی از عوامل مهم در لحیم‌کاری میزان فاصله شکاف دو لبه اتصال یا میزان لقی Clearance است . بیشتر خاصیت موئینگی و خیس کردن سطح در نتیجه کشش سطحی بین مفتول لحیم ، فلز یا فلزهای مورد اتصال ، روانساز یا اتمسفر و زاویه تماس فلز اصلی و مفتول لحیم است . در عمل ، جریان فلز مذاب لحیم تحت تأثیر سیالیت ، ویسکوزیته ، فشار بخار ، چگالی و مخصوصاً " اثرات واکنش‌های متالورژیکی بین فلز اصلی و مفتول لحیم قرار دارد .

بر حسب نوع گرم کردن و نحوه عملیات ، روشهای لحیم‌کاری متعددی متداول است که اهم آنها عبارتند از : لحیم‌کاری با مشعل ، لحیم‌کاری در کوره ، لحیم‌کاری از طریق القائی ، لحیم‌کاری از طریق مقاومت الکتریکی ، لحیم‌کاری از طریق فرو بردن یا غوطه‌وری و لحیم‌کاری با اشعه مادون قرمز ، که معمولاً " متناسب با جنس و نوع کار ، کیفیت محصول ، اندازه قطعه کار و تعداد و شرایط عملیات یکی از روشهای بالا اتخاذ می‌شود .

مفتول لحیم‌کاری باید دارای خواص زیر باشد :

۱ - قابلیت ایجاد لحیم سخت یا نرم با خواص مکانیکی و فیزیکی مناسب برای کاربرد مورد نظر .

۲ - نقطه ذوب قابل مقایسه با فلز قطعه کار و سیالیت کافی در درجه حرارت لحیم کاری ، تا بطور کامل و آسان در درز اتصال پیش طرح شده پخش شود .

ج: درجه حرارت بالا $370 - 430^{\circ}\text{C}$ ($700 - 800^{\circ}\text{F}$) شامل روی با ۳ تا ۱ درصد آلومینیم با مقدار کمی مس و نقره و نیکل که کارکردن با آن کمی مشکل است، اما قدرت خیس کنندگی و استحکام بالائی دارند.

در لحیم کاری سخت و نرم باید سطح اکسیدی بر روی آلومینیم از طرق مکانیکی، امواج صوتی یا شیمیائی کاملاً " برطرف شود. عملیات لحیم کاری را میتوان از طرق مختلف با مشعل، فرو بردن، کوره، خلاء و غیره انجام داد. چون عملیات لحیم کاری معمولاً " در درجات پائین انجام میگردد. امکان تغییر خواص و ایجاد وسعت منطقه مجاور خط اتصال کمتر از حالت های جوشکاری ذوبی می باشد، اما از سوی دیگر استحکام در سطح موضع جوش داده شده خیلی زیاد نیست.

* * * * *

۳- ترکیب همگن و پایدار بطوریکه ترکیبات تشکیل دهنده آن در حین عملیات لحیم کاری جدا نشوند.

۴- قابلیت خیس کردن سطح فلز مورد اتصال و ایجاد یک اتصال قوی.

همانطور که اشاره شد مفتول های گوناگون لحیم سخت و نرم برای آلیاژهای مختلف و شرایط متفاوت موجود است. البته آلیاژ لحیم به شکل های دیگر ورق، پودر و خمیر هم در دسترس است. نقش فلاکس یا روانساز و یا تنه کار هم بسیار حائز اهمیت و غالباً " همراه با مفتول، روانساز مناسب هم توسط سازنده ها معرفی می شود.

طرح اتصال در لحیم کاری به لبه های رویهم محدود است، که گاهی در لحیم نرم برای بالا بردن استحکام، آنها را در یکدیگر بطرق مکانیکی قفل می کنند. استحکام اتصال لحیم شده غالباً " از فرآیندهای جوشکاری ذوبی کمتر است. یکی از فرآیندهای معمول برای اتصال فلزات غیر هم جنس، روشهای مختلف لحیم کاری است.

جدول (۲) ترکیب شیمیایی الکترود و مفتول‌های جوشکاری برای آلومینیم با فرآیندهای MIG و TIG

مشخصه AWS	درصد سیلیسیم	درصد آهن	درصد مس	درصد منگنز	درصد منیزیم	درصد کرم	درصد نیکل	درصد روی	درصد تیتانیم	درصد عناصر دیگر هر کدام جمع	درصد آلومینیم
ER ۱۱۰۰	(b)	(b)	۰/۰۵-۰/۲۰	۰/۰۵	-	-	-	۰/۱۰	-	۰/۰۵ ۰/۱۵	می‌نیمم ۹۹/۰۰ (h)
ER ۱۲۶۰	(c)	(c)	۰/۰۴	۰/۰۱	-	-	-	-	-	۰/۰۳	"
ER ۲۳۱۹ (j)	۰/۲۰	۰/۳۰	۵/۸-۶/۸	۰/۲۰-۰/۴۰	۰/۰۲	-	-	۰/۱۰	۰/۱۰-۰/۲۰	۰/۰۵ ۰/۱۵	با قیما نده
ER ۴۱۲۵	۹/۳-۱۰/۷	۰/۸	۳/۳-۴/۷	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	-	۰/۲۰	-	۰/۰۵ ۰/۱۵	"
ER ۴۰۴۳	۴/۵-۶/۰	۰/۸	۰/۳۰	۰/۰۵	۰/۰۵	-	-	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۰۵ ۰/۱۵	"
ER ۴۰۴۷	۱۱/۰-۱۳/۰	۰/۸	۰/۳۰	۰/۱۵	۰/۱۰	-	-	۰/۲۰	-	۰/۰۵ ۰/۱۵	"
ER ۵۰۳۹	۰/۱۰	۰/۴۰	۰/۰۳	۰/۳-۰/۵	۳/۳-۴/۳	۰/۱۰-۰/۲۰	۰	۲/۴-۳/۲	۰/۱۰	۰/۰۵ ۰/۱۰	"
ER ۵۵۵۴	(c)	(c)	۰/۱۰	۰/۵۰-۱/۰	۲/۴-۳/۰	۰/۰۵-۰/۲۰	-	۰/۲۵	۰/۰۵-۰/۲۰	۰/۰۵ ۰/۱۵	"
ER ۵۶۵۴ (j)	(d)	(d)	۰/۰۵	۰/۰۱	۳/۱-۳/۹	۰/۱۵-۰/۳۵	-	۰/۲۰	۰/۰۵-۰/۱۵	۰/۰۵ ۰/۱۵	"
ER ۵۳۵۶	(e)	(e)	۰/۱۰	۰/۰۵-۰/۲۰	۴/۵-۵/۵	۰/۰۵-۰/۲۰	-	۰/۱۰	۰/۰۶-۰/۲۰	۰/۰۵ ۰/۱۵	"
ER ۵۵۵۶	(c)	(c)	۰/۱۰	۰/۵۰-۱/۰	۴/۷-۵/۵	۰/۰۵-۰/۲۰	-	۰/۲۵	۰/۰۵-۰/۲۰	۰/۰۵ ۰/۱۵	"
ER ۵۱۸۳	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۱۰	۰/۵۰-۱/۰	۴/۳-۵/۲	۰/۰۵-۰/۲۵	-	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۰۵ ۰/۱۵	"
R-C4A(a)	۱/۵	۱/۰	۴/۰-۵/۰	۰/۳۵	۰/۰۳	-	-	۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۰۵ ۰/۱۵	"
R-CN42(a)	۰/۷	۱/۰	۳/۵-۴/۵	۰/۳۵	۱/۲-۱/۸	۰/۲۵	۱/۷-۲/۳	۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۰۵ ۰/۱۵	"
R-SCSiA(A)	۴/۵-۵/۵	۰/۴۸ (f)	۱/۰-۱/۵	۰/۵۰	۴/۰-۰/۶۰	۰/۲۵	-	۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۰۵ ۰/۱۵	"
R-SG70A(a)	۶/۵-۷/۵	۰/۶	۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۲۰-۰/۴۰	-	-	۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۰۵ ۰/۱۵	"

یاد داشت ۱ - اعداد تنها، نشان دهنده ماکزیم مقدار عنصر بوده مگر اینکه می‌نیمم هم اشاره شده باشد.

یادداشت ۲ - آنالیز باید براساس عناصری باشد که در جدول مشخص شده است. اگر عناصر دیگری هم آنالیز می‌شود نباید مجموع آنها از مقدار درصد مشخص شده بعنوان عناصر دیگر تجاوز کند.

a: برای تعمیر قطعات ریختگی

b: سیلیسیم باضافه آهن از ۱ درصد تجاوز نکند

c: سیلیسیم باضافه آهن از ۰/۴ درصد تجاوز نکند

d: سیلیسیم باضافه آهن از ۰/۴۵ درصد تجاوز نکند

e: سیلیسیم باضافه آهن از ۰/۵۰ درصد تجاوز نکند

f: اگر آهن از ۰/۴۵ درصد تجاوز کرد منگنز باید برابر نصف آن وجود داشته باشد

g: برلیوم نباید از ۰/۰۰۰۸ درصد تجاوز نکند

h: مقدار آلومینیم از ۱۰۰ درصد و مجموع عناصر فلزی دیگر حاضر در مقادیر ۰/۱۰ درصد یا بیشتر برای هر کدام

i: مقدار وانادیم بهتر است ۰/۱۵-۰/۰۵ درصد و زیرکونیم ۰/۲۵-۰/۱۰ درصد باشد

j: با توجه به تجدید نظر ۱/۰ AWS ۱۹۶۹A ۵۶۵۴ مفتول جایگزین شده است با ۵۱۵۴ ER ۵۶۵۲، ER ۵۶۵۴

5154 5254a	5086	5083	5052 5652a	5005 5050	3004 Alc. 3004	2219	2014 2024	1100 3003 Alc. 3003	1060 EC
ER4043 <i>e,i</i>	ER5356 <i>c</i>	ER5356 <i>c</i>	ER4043 <i>i</i>	ER1100 <i>c</i>	ER4043	ER4145	ER4145	ER1100 <i>c</i>	ER1260 <i>c,f</i>
ER4043 <i>e,i</i>	ER5356 <i>c</i>	ER5356 <i>c</i>	ER4043 <i>e,i</i>	ER4043 <i>e</i>	ER4043 <i>e</i>	ER4145	ER4145	ER1100 <i>c</i>	
...	...	...	...	...	...	ER4145 <i>g</i>	ER4145 <i>g</i>		
ER4043 <i>i</i>	ER4043	ER4043	ER4043 <i>i</i>	ER4043	ER4043	ER2319 <i>c,f,i</i>			
ER5654 <i>b</i>	ER5356 <i>e</i>	ER5356 <i>e</i>	ER4043 <i>e,i</i>	ER4043 <i>e</i>	ER4043 <i>e</i>				
ER5654 <i>b</i>	ER5356 <i>e</i>	ER5356 <i>e</i>	ER4043 <i>e,i</i>	ER4043 <i>d,e</i>					
ER5654 <i>b</i>	ER5356 <i>e</i>	ER5356 <i>e</i>	ER5654 <i>a,b,c</i>						
ER5356 <i>e</i>	ER5356 <i>e</i>	ER5183 <i>e</i>							
ER5356 <i>b</i>	ER5356 <i>e</i>								
ER5654 <i>a,b</i>									

یادداشت ۱- حالت سرویس قطعه نظیر آب تازه یا نمکدار، در معرض بودن با محلول شیمیایی خاص یا درجه حرارت بالای ۸۰۰ درجه سانتی گراد) ممکن است محدودیت‌هایی در انتخاب مفتول بوجود آورد. مفتول‌های ۵۳۵۶، ۵۱۸۳، ۵۵۵۶ و ۵۶۵۴ برای درجات حرارت بالای کاربرد، تجویز نمی‌شوند.

یادداشت ۲- پیشنهادات در این جدول برای جوشکاری قوس محفوظ در گاز (TIG و MIG) است. برای جوشکاری با گاز یا شعله فقط ۱۱۰۰ R و ۱۲۶۰ R و ۴۰۴۳ R غالباً استفاده می‌شود.

یادداشت ۳- فلز پرکننده مشخص شده با ER بطور کامل در AWS A۵/۱۰ آورده شده است.

a: آلایزهای فلز اصلی ۵۶۵۲، ۵۲۵۴ برای خدمات هیدرژن پراکسید بکار میرود، مفتول ۵۶۵۴ ER برای جوشکاری هر دو آلایز و درجات کاربرد پائین (۷۰ درجه سانتی‌گراد به پائین) مناسب است.

b: ۵۱۸۳ ER، ۵۳۵۶ ER، ۵۵۵۶ ER، ۵۶۵۴ ER ممکن است استفاده شود. در بعضی موارد این مفتول‌ها (۱) بهبود تطابق رنگ بعد از عملیات آندی کردی، (۲) بالاترین انعطاف پذیری جوش، (۳) استحکام بالاتر جوش را فراهم می‌کنند. ۵۵۵۴ ER برای درجات سرویس پائین مناسب است.

c: ۴۰۴۳ ER ممکن است برای بعضی کاربردها استفاده شود.

d: فلز پرکننده با آلایز مشابه فلز قطعه کار هم در بعضی موارد استفاده می‌شود.

e: ۵۱۸۳ ER، ۵۳۵۶ ER یا ۵۵۵۶ ER ممکن است بکار برده شود.

f: ۴۱۴۵ ER ممکن است برای بعضی درخواست‌ها بکار رود.

g: ۲۳۱۹ ER ممکن است برای بعضی درخواست‌ها بکار رود.

h: ۵۳۰۳۹ ER ممکن است برای بعضی درخواست‌ها بکار رود.

i: ۴۰۴۷ ER ممکن است برای بعضی درخواست‌ها بکار رود.

j: ۱۱۰۰ ER ممکن است برای بعضی درخواست‌ها بکار رود.

k: این اشاره فقط به ۷۰۵۵ اکستروود شده است.

یادداشت ۴- جائیکه فلز پرکننده آورده نشده است ترکیب فلز قطعه کار برای جوشکاری مناسب نیست.

جوشکاری آلومینیم و چدن/ ۶۱

جدول (۳) راهنمای انتخاب مفتول برای هدف کلی جوشکاری آلیاژهای آلومینیم

فلز اصلی مورد جوش	319.0, 333.0, 354.0, 355.0, C355.0, 380.0	413.0, 443.0 A444.0, 356.0 A356.0, A357.0, 359.0	514.0, A514.0, B514.0, F514.0	7005k, 7939, A712.0, C712.0, D712.0	6070	6061, 6063 6101, 6151 6201, 6951	5456	5454
1060, EC	ER4145c,i	ER4043i,f	ER4043e,i	ER4043i	ER4043i	ER4043i	ER5356c	ER4043e,i
1100, 3003 Alclad 3003	ER4145c,i	ER4043i,f	ER4043e,i	ER4043i	ER4043i	ER4043i	ER5356c	ER4043e,i
2014, 2024	ER4145g	ER4145	...	...	ER4145	ER4145	...	...
2219	ER4145g,c,i	ER4145c,i	ER4043i	ER4043i	ER4043f,i	ER4043f,i	ER4043	ER4043i
3004	ER4043i	ER4043i	ER5654b	ER5356e	ER4043e	ER4043b	ER5356e	ER5654b
Alclad 3004 5005, 5050	ER4043i	ER4043i	ER5654b	ER5356e	ER4043e	ER4043b	ER5356e	ER5654b
5052, 5652a	ER4043i	ER4043b,i	ER5654b	ER5356e,h	ER5356b,c	ER5366b,c	ER5356b	ER5654b
5083	...	ER5356c,e,i	ER5356e	ER5183e,h	ER5356e	ER5356e	ER5183e	ER5356e
5086	...	ER5356c,e,i	ER5356e	ER5356e,h	ER5356e	ER5356e	ER5356e	ER5356b
5154, 5254a	...	ER4043b,i	ER5654b	ER5356b,h	ER5356b,c	ER5356b,c	ER5356b	ER5654b
5454	ER4043i	ER4043b,i	ER5654b	ER5356b,h	ER5356b,c	ER5356b,c	ER5356b	ER5554c,e
5456	...	ER4043b,i	ER5356e	ER5556e,h	ER5356e	ER5356e	ER5556e	
6061, 6063, 6101 6201, 6151, 6951	ER4145c,i	ER5356c,e,i	ER5356b,c	ER5356b,c,h,i	ER4043b,i	ER4043b,i		
6070	ER4145c,i	ER4043e,i	ER5356c,e	ER5356c,e,h,i	ER4043e,i			
7005k, 7039, A712.0, C712.0, D712.0	ER4043i	ER4043b,h,i	ER5356b,h	ER5039e				
514.0, A514.0, B514.0, F514.0	...	ER4043b,i	ER5654b,d					
413.0, 443.0, A444.0, 356.0,	ER4145c,i	ER4043d,i						
A356.0, A357.0, 359.0	ER4145d,e,i							

جدول (۴) مفتول های معمول برای جوشکاری آلیاژهای آلومینیم

کمترین تمایل به ترکیدگی	مقاومت خوردگی در برابر آب نمک	تطابق رنگ بعد از عملیات آندی گردن	انعطاف پذیری	استحکام	مواد مورد جوش
۴۰۴۳	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۴۰۴۳	۱۱۰۰
۲۳۱۹	۲۳۱۹	۲۳۱۹	۲۳۱۹	۲۳۱۹	۲۲۱۹
۴۰۴۳	۴۰۴۳	۵۶۵۴	۵۳۵۶	۵۳۵۶	۶۰۶۱
۴۰۴۳	۴۰۴۳	۵۳۵۶	۵۳۵۶	۵۳۵۶	۶۰۶۳
۴۰۴۳	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۴۰۴۳	۳۰۰۳
۵۳۵۶	۵۵۵۴	۵۳۵۶	۵۶۵۴	۵۳۳۶	۵۰۵۲
۵۳۵۶	۵۳۵۶	۵۳۵۶	۵۳۵۶	۵۳۵۶	۵۰۸۶
۵۳۵۶	۵۱۸۳	۵۱۸۳	۵۳۵۶	۵۱۸۳	۵۰۸۳
۵۳۵۶	۵۵۵۴	۵۵۵۴	۵۵۵۴	۵۳۵۶	۵۴۵۴
۵۳۵۶	۵۵۵۶	۵۵۵۶	۵۳۵۶	۵۵۵۶	۵۴۵۶
۵۳۵۶	۵۰۳۹	۵۰۳۹	۵۳۵۶	۵۰۳۹	۷۰۰۵
۵۳۵۶	۵۰۳۹	۵۰۳۹	۵۳۵۶	۵۰۳۹	۷۰۳۹

* * * * *

فصل دوم

جوشکاری چدن

(مقدمه: قبل از شروع بحث در مورد جوشکاری چدن بد نیست شناخت مختصری از چدن و انواع آن داشته باشیم. چدن به گروه وسیعی از مواد با عنصر اصلی آهن همراه با عناصر کربن $4/5 - 1/7$ درصد، سیلیسیم $3 - 0/5$ درصد، منگنز $1/3 - 0/2$ درصد، فسفر $0/8$ درصد و گوگرد $0/2$ درصد اطلاق می‌شود. مولیبدن، نیکل، کرم مس و بعضی عناصر دیگر هم برای تولید انواع چدن‌های آلیاژی خاص اضافه می‌شوند* (پاورقی ۱۲).

* (پاورقی ۱۲)

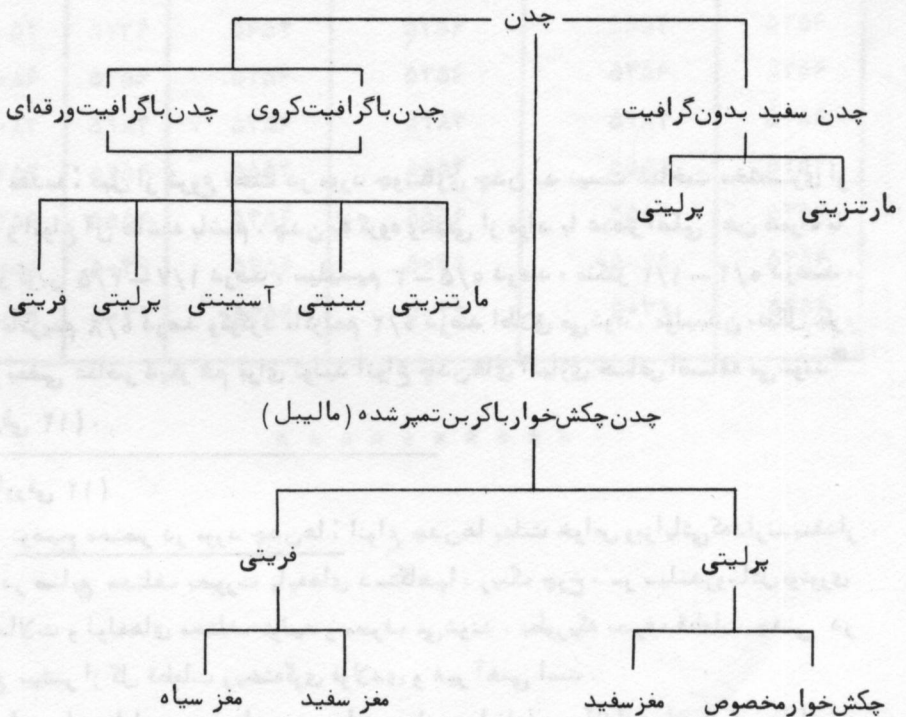
توضیح مختصر در مورد چدن‌ها: انواع چدن‌ها بعلاوه خواص و مزایایی که دارند بمقدار زیاد در صنایع مختلف بصورت پایه‌های دستگاه‌ها، رینگ چرخ، سر سیلندروسائل موتوری یا اتصالات و لوله‌های مختلف تولید و مصرف می‌شوند. بطوریکه مصرف قطعات چدنی در صنایع بیشتر از کل قطعات ریخته‌گری فولادی و غیر آهنی است.

از جمله مزایا و برتری‌های چدن‌ها در مقایسه با فلزات و آلیاژهای دیگر قابلیت انعطاف پذیری آنها از نظر ریخته‌گری می‌باشد، بدین معنی که قطعات چدنی را میتوان با روش‌های متنوع ریخته‌گری تهیه کرد. از طرف دیگر چدن را می‌توان بعلاوه نقطه ذوب نسبتاً پائین در کوره‌های شعله‌ای با سوخت گاز، مایع و جامد ذوب کرد. از مزایای دیگر چدن‌ها، سیالیت خوب و انقباض حاصل از انجماد ناچیز (بجز چدن سفید) آنها است.

خواص خوب مهندسی چدن‌ها از قبیل استحکام فشاری بالا، مقاومت در مقابل سایش و لغزش (بعثت ذرات نرم گرافیت یا خاصیت جذب روغن)، قابلیت جذب ارتعاش و صدا، قابلیت ماشین‌کاری خوب، مقاومت در مقابل خوردگی بعضی چدن‌های آلیاژی موجب شده تا بتوان قطعات ریختگی چدنی را در دامنه گسترده‌ای از نظر خواص فیزیکی و مهندسی در صنایع مختلف مورد استفاده قرار داد.

از محدودیت‌های مهم چدن‌ها عدم قابلیت انعطاف پذیری و شکل دادن و ضربه - پذیری آنها است.

چدن‌ها را میتوان برحسب نوع گرافیت، نحوه توزیع و اندازه گرافیت، ساختار میکروسکوپی زمینه و خواص مکانیکی دسته‌بندی کرد. یکی از انواع تقسیم بندی‌ها در شمای زیر نشان داده شده است:



بطور کلی چند نوع چدن مشهورترند که اختصاراً "تعریف می‌شود." (چدن سفید: مقطع شکسته شده آن سفید نقره‌ای رنگ است. بسیار سخت ولی ترد و شکننده می‌باشد) کربن در این نوع چدن بصورت ترکیبی بوده و بدو صورت پایدار و ناپایدار

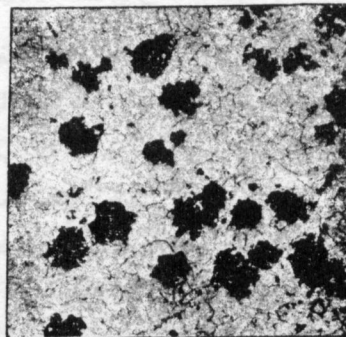
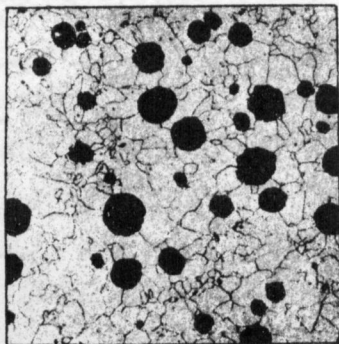
وجود دارد که بعلت ترکیب شیمیائی خاص پایدار و بعلت سریع سرد شدن ناپایدار است. در حالت ناپایدار میتوان با انجام عملیات حرارتی امکان آزاد شدن گرافیت یا تجزیهٔ کاربید را فراهم آورد. این چدن دارای صدای زنگ دارای است که طریق ساده‌ای برای تشخیص آن است.

چدن مالیل: چدنی است با گرافیت برفکی و دیر شکننده و به چدن قیچی یا چکش خوار یا نشکن معروف است. این چدن ابتدا بصورت چدن سفید (چیلد) ریخته می‌شود. ترکیب شیمیائی آن بطریقی است که پس از انجام یک سیکل مشخص عملیات حرارتی، کربن که بصورت ناپایدار و ترکیبی است، آزاد شده و بشکل تجمعی یا برفکی مطابق شکل (۳۲) در می‌آید. همانطور که اشاره شد این نوع چدن در دو مرحله تهیه می‌شود و قابلیت شکنندگی کمتری نسبت به چدن‌های معمولی دارد.

تأثیر عناصر مختلف در ترکیب شیمیائی چدن، بر روی سیکل عملیات مالیل کردن و خواص مهندسی چدن بحث مفصلی است که در حوصلهٔ این کتاب نیست.

(چدن با گرافیت کروی یا چدن نودولار: این نوع چدن دارای قابلیت انعطاف پذیری نسبتاً "خوبی بوده و شکننده نیز نمی‌باشد و به چدن داکتیل هم شناخته می‌شود) اضافه کردن منیزیم معمولاً "بصورت آلیاژ به مذاب چدن باعث می‌شود تا کربن حین سرد شدن مذاب بصورت ورقه‌ای جدا نشده بلکه بصورت کروی تجمع یابد شکل (۳۳).

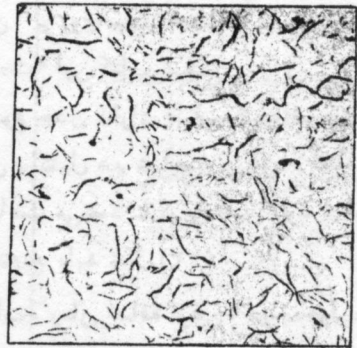
روش‌های اضافه کردن آلیاژهای مخصوص به مذاب، زمان اضافه کردن، درجه حرارت مذاب و مکانیسم بوجود آمدن گرافیت کروی هم موضوع بحث مفصلی است که توضیح آن در اینجا ضرورتی ندارد.



شکل (۳۲) گرافیت در چدن مالیل شکل (۳۳) گرافیت در چدن نودولار

(چدن خاکستری: اگر قطعه‌ای از چدن خاکستری را شکسته، مقطع شکست ملاحظه شود این مقطع بصورت خاکستری رنگ دیده می‌شود). ملاحظه رنگ مقطع چدن یا صدای خفه ضربه بر روی آن روش ساده‌ایست برای شناخت آن. کربن آزاد یا گرافیت بصورت ورقه‌ای در زمینه پخش شده است شکل (۳۴). این نوع چدن خاصیت چکش خواری ندارد. این نوع چدن در مقایسه با انواع دیگر از نظر تولید و مصرف، بیشترین حجم و وزن را دارند.

چدن‌های آلیاژی را میتوان از انواع چدن‌های مالیل، نودولار یا خاکستری دانست که با اضافه کردن عناصر آلیاژی میتوان آنها را در مقابل خوردگی، سایش یا در درجه حرارت بالا مقاوم کرد.



شکل (۳۴) گرافیت در چدن خاکستری

خواص چدن خاکستری و انواع دیگر چدن مالیل و نودولار بستگی دارد به:
الف: ترکیب شیمیائی یعنی میزان عناصری که در چدن وجود دارد که این خود به نوع شارژ کوره بستگی دارد.

ب: نحوه انجماد: چگونگی تبدیل مذاب به جامد مشخص کننده نحوه انجماد چدن بوده و تعیین کننده خواص چدن می‌باشد. بعنوان مثال آیا مذاب در قالب ماسه‌ای خیس یا خشک یا قالب فلزی ریخته شده است؟ آیا درجه حرارت مذاب قبل از ریختن خیلی بالا بوده است یا نه؟ عوامل جوانه‌زا در مذاب وجود داشته است یا خیر؟

ج: عملیات حرارتی بعد از انجماد، منظور اینست که آیا پس از انجماد قطعه زود از ماسه بیرون آورده شده است یا خیر؟ و آیا بعداً "در کوره مجدداً" در درجه حرارت معین گرم و سرد شده است (عملیات حرارتی تنش‌گیری، انیل کردن، سخت کردن و انواع دیگر

بطور کلی در صنعت چند نوع چدن مشهورترند و بیشتر مورد کاربرد قرار میگیرند که عبارتند از چدن خاکستری، چدن باگرافیت کروی، چدن مالبیل یا قیچی و چدن سفید. هر کدام از این انواع چدن ها بنا به ترکیب شیمیائی، ساختار میکروسکپی زمینه، اندازه و نحوه توزیع گرافیت دارای کلاس های مختلف با خواص مهندسی متفاوت می باشند. در جدول (۱۸) و (۱۹) و (۲۰) بعضی مشخصات مکانیکی چند نوع چدن آورده شده است.

با سیکل های حرارتی متفاوت تکنولوژی مهمی است که می تواند خواص تمام قطعه چدنی یا مواضع خاصی از آنرا دگرگون کند؟

عوامل فوق الذکر از چند طریق خواص چدن را تحت تأثیر قرار میدهند.

۱ - میزان کربن آزاد (گرافیت)

۲ - نحوه توزیع گرافیت و اندازه ذرات آن (چه بصورت ورقه ای، کروی یا برفکی)

۳ - نوع زمینه یا ساختار میکروسکپی زمینه (پرلیت و فریت ...)

۴ - عناصر حل شده در زمینه

۵ - ایجاد ناخالصی یا فازهای اضافی در زمینه چدن

۶ - تنش های باقیمانده

بطور خلاصه می توان به رابطه و وابستگی هر یک از عوامل فوق با خواص چدن اشاره کرد. بعنوان مثال: میزان کربن آزاد و ترکیبی را مطرح می کنیم. کربن ترکیبی بصورت Fe_3C که فازی ترد، شکننده و سخت است وجود دارد. هر چه میزان این فاز بیشتر باشد چدن سخت تر اما شکننده تر می شود. همچنین اندازه و نوع گرافیت های ورقه ای یا میزان کروی بودن گرافیت در چدن نودولار بر روی استحکام و خواص دیگر چدن اثر می گذارد. مثلاً "چدن با گرافیت ورقه ای درشت خاصیت خفه کردن صدای بهتری دارد، یا چدن با گرافیت ورقه ای ریز استحکام بالاتری دارد.

عناصر در چدن ها به دو گروه تقسیم می شوند: آنهایی که گرافیت را هستند یعنی شرایط برای ایجاد گرافیت آزاد را تسهیل می کنند نظیر سیلیسیم، و گروه دوم عناصری که تأثیر متقابل دارند یعنی کاربیدزا می باشند نظیر منگنز. بنابراین تعادل بین این دو گروه عناصر تأثیر مستقیم بر روی نسبت کربن آزاد و ترکیبی دارد.

ساختار میکروسکپی زمینه در چدن ها تقریباً همان اهمیتی دارد که در فولادها.

شرایط انجماد، ترکیب شیمیائی و عملیات حرارتی پس از انجماد نیز می توانند در این فازها دگرگونی هایی ایجاد کرده و خواص چدن را تحت تأثیر قرار دهد.

جدول (۱۸) - خواص مکانیکی چدن مالیل فریتی و پرلیتی *

نوع	۳۲۵۱۰	۳۵۰۱۸	۴۵۰۱۰	۴۵۰۰۷	۵۰۰۰۷
استحکام کششی، psi	۵۰۰۰۰ (مینیم)	۵۳۰۰۰	۶۵۰۰۰	۶۸۰۰۰	۷۵۶۰۰
نقطه تسلیم، psi	۳۲۵۰۰ (مینیم)	۳۵۰۰۰	۴۵۰۰۰	۴۵۰۰۰	۵۰۰۰۰
درصد تغییر طول نسبی	۱۰	۱۸	۱۰	۷	۷
موارد استفاده	قطعات پل، اتصالات لوله، کلیدهای راه آهن				

* استحکام خستگی تقریباً ۵۰ درصد استحکام کشش (psi ۵۰۰۰۰ = ۲۵۰۰۰۰)

مدل الاستیسیته psi ۲۵۰۰۰۰۰۰

جدول (۱۹) - خواص چدن خاکستری

کلاس (۱)	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۵۰	۶۰
استحکام کششی	۲۴-۲۹	۲۷-۳۳	۳۵-۴۰	۳۸-۴۲	۵۰	۶۰	۷۰
۱۰۰۰ psi (۲)	۲۰-۲۴	۲۵-۳۰	۳۰-۳۴	۳۵-۴۰	۴۰-۴۸	۵۰-۵۶	۶۰-۶۶
سختی برینل قطعه ریخته شده (۲۳)	۱۵-۱۹	۲۰-۲۴	۲۰-۲۴	۲۵-۳۳	۳۳-۴۵	۵۲	۵۰-۷۵
سختی برینل قطعه ریخته شده (۲۳)	۲۰۰	۲۰۵	۲۱۰	۲۲۰	۲۳۰	۲۴۰	۲۶۰
موارد استفاده	۱۸۰	۱۹۰	۲۰۰	۲۱۰	۲۲۰	۲۴۰	۲۹۰
اتصالات، رینگ پیستون، بعضی کالاهای بهداشتی، قطعات ریختگی تزئینی	۱۷۵	۱۸۰	۱۸۰	۱۹۰	۲۱۰	۲۳۰	۲۷۵
شبیه کلاس ۲۰، با استحکام بالاتر	کاسه چرخ، مهره ماسوره، اجزاء ماشین، پره تلمبه	کاسه چرخ، کاسه چرخ، ترمز سبک، ترمز سبک، کارتیل، مهره ماسوره، اجزاء ماشین	صفحات کلاچ، کاسه چرخ، ترمز سبک، کارتیل، مهره ماسوره، اجزاء ماشین	دنده ها، شافت های بادامک، درپچه ها، پمپ ها، نگهدارنده لوله ها، چرخ ها	دنده ها، درپچه ها، قطعات ریختگی فشاری بخار، آب، کمپرسور، پمپ، کوبه	کاسه ترمز، مخصوص، پایه خرد کننده، کپسول های هیدرولیک، قالب شکل دادن گرم، کمپرسور	

۱- استحکام کششی، ۱۰۰۰ psi، ASTM A48

۲- سه عدد داده شده به ترتیب برای قطعات سبک، نیمه سنگین و سنگین داده شده اند.

۳- حدود وسیع تری با عملیات حرارتی بدست می آید www.Iran-Modelling.com

جدول (۲۰) خواص مکانیکی چدن نودولار (باگرافیت کروی)

حالت	ترکیب شیمیائی خواسته شده	مینیمم ازدیاد طول، درصد در اینج	مینیمم نقطه تسلیم psi	مینیمم استحکام کششی psi	کلاس
حالت ریخته شده	ندارد	ASTM A ۳۳۹-۵۵ ۳/۰	(۲) ۶۰۰۰۰	(۱) ۸۰۰۰۰	۸۰-۶۰-۰۳
معمولا "آنیل شده"	ندارد	۱۰/۰ ASTM A ۳۹۶-۵۸	(۲) ۴۵۰۰۰	(۱) ۶۰۰۰۰	۶۰-۴۵-۱۰
عملیات حرارتی شده	ندارد	۲/۰	(۲) ۹۰۰۰۰	(۱) ۱۲۰۰۰۰	۱۲۰-۹۰-۰۲
عملیات حرارتی شده	ندارد	۳/۰ ASTM A ۳۹۵-۵۶T	(۲) ۷۰۰۰۰	(۱) ۱۰۰۰۰۰	۱۰۰-۷۰-۰۳
بوسیله آنیل کردن فریتی شده	ندارد	۱۵/۰ MIL-I-۱۷۱۶۶ A	(۲) ۴۵۰۰۰	(۱) ۶۰۰۰۰	۶۰-۴۵-۱۵
بوسیله آنیل کردن فریتی شده ماکزیمم سختی ۱۹۰ Bhn	ندارد	۱۵/۰	(۲) ۴۰۰۰۰	(۱) ۶۰۰۰۰	۶۰-۴۰-۱۵
	ندارد	MIL-I-۱۱۴۶۶ ۲/۰	(۴) ۹۰۰۰۰	(۳) ۱۲۰۰۰۰	کلاس ۱
معمولا "عملیات حرارتی شده" (۷)	ندارد	۴/۰	(۴) ۷۵۰۰۰	(۳) ۱۰۰۰۰۰	کلاس ۲
بوسیله آنیل کردن فریتی (۷)	ندارد	۶/۰	(۴) ۶۰۰۰۰	(۳) ۸۵۰۰۰	کلاس ۳
شده	ندارد	۳/۰	(۴) ۶۰۰۰۰	(۳) ۸۰۰۰۰	کلاس ۴
	ندارد	۱۰/۳	(۴) ۴۵۰۰۰	(۳) ۶۰۰۰۰	کلاس ۵
	ندارد	۱۸/۰	(۴) ۴۰۰۰۰	(۳) ۶۰۰۰۰	کلاس ۶

۱- نمونه آزمایش از اینج Keelblok یا Y-block به اندازه ۱/۳،

۱/۴ اینج ماشین شده است.

۲- نقطه تسلیم در ۰/۲ درصد تغییر شکل پلاستیکی

۳- نمونه آزمایش از ۳ و ۱ و ۳/۴ اینج Y-block ماشین شده است در مطابقت

با قسمت بحرانی از قطعه ریخته شده.

۴- نقطه تسلیم در ۰/۱ درصد تغییر طول پلاستیکی یا روش

extension-underload

۵- ۳/۰۰ درصد کربن می نیم، ۲/۷۵ درصد سیلیسیم ماکزیمم و ۰/۰۸ درصد

فسفر ماکزیمم.

۶- همانند ASTM A395-56T با اضافه ماکزیمم کربن معادل ۴/۵ درصد. کاربرد

در ریخته گری با قطعه ضخامت ۲ اینج یا بیشتر، کربن معادل برابر است با درصد کربن +

یک سوم درصد سیلیسیم.

۷- آزمایش متالوگرافی برای هر مقدار زیاد ریخته گری لازم است.

موارد استفاده: برای جاشیکه ضربه زیاد و درجه حرارت ۶۰۰°F لازم است استفاده

می شود. قطعات دریچه، پمپ های ریخته گری، زرمور، میل لنگ و کاربردهای مشابه.

چدن سفید با مقطع شکسته شده سفید نقره‌ای و تردی و شکنندگی بسیار زیاد چون تقریباً "قابل جوشکاری نیست از این بحث جوشکاری چدن‌ها حذف می‌شود. کربن در چدن به دو صورت ترکیبی (سمنتیت Fe_3C ، پرلیت، مارتنزیت و بعضی کاربیدهای دیگر) و آزاد (گرافیت) موجود است. کربن حل شده در فریت بسیار کم و قابل اغماض است.

گرافیت در چدن خاکستری بصورت ورقه‌ای، در چدن مالیل بصورت برقی، و در چدن نودولار بصورت کروی در زمینه پخش و توزیع شده است. بعلت وجود گرافیت‌های جمعی در چدن مالیل و نودولار، این نوع چدن‌ها قابلیت انعطاف پذیری و چکش‌خواری بهتری نسبت به چدن خاکستری دارند.

بطور کلی و به زبان ساده میتوان تصور کرد چدن در حقیقت فولاد (زمینه‌ای شبیه فولاد) به اضافه گرافیت است. بنابراین میتوان، مشابه فولاد، طی عملیات حرارتی مناسب ساختار میکروسکوپی مورد نظر در زمینه ایجاد کرد تا به سخت یا نرم شدن آن منجر شود، با این تفاوت که کربن اضافی (گرافیت) در زمینه به وفوردردسترس است.

موارد جوشکاری (اصولاً چندین ضرورت کلی، انجام عملیات جوشکاری بر روی قطعات ریخته شده چدنی را ایجاب می‌کنند. سه مورد از نیاز به اینگونه عملیات عبارتند از:

الف: برطرف کردن بعضی عیوب ریخته‌گری که پس از بیرون آوردن قطعه از قالب یا در حین تراشکاری ظاهر می‌شوند نظیر حفره‌های گازی، حفره‌های ناشی از ریزش ماسه یا حبس سرباره، ترکهای موضعی، کشیدگی یا تغییر ابعاد در بعضی مواضع کوچک.

ب: تعمیر قطعات مستهلک که از نظر اقتصادی یا عدم دسترسی به تکنولوژی ساخت آنها بهتر است که از طرق جوشکاری بازسازی شوند. این مورد خود دو حالت دارد: قطعات شکسته شده و قطعات سائیده یا خورده شده.

ج: اتصال دو یا چند قطعه که ریختن آن بصورت واحد با مشکلاتی همراه بوده یا از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیستند.

جوش‌های انجام شده در موارد فوق از نظر کلی سه مشخصه زیر را دارند:

- ۱- جوش‌های تحت تنش، که باید موضع جوش داده شده دارای حداقل خواص مکانیکی مورد نظر بوده یا با بقیه قطعه برابری کند، نظیر موضع شکسته جوش داده شده.
- ۲- جوش‌هایی که تحت تنش قرار نمیگیرند و خواص مکانیکی آنها قابل مقایسه با قطعه مورد نیاز نیست. غالباً "قابلیت ماشین کاری و در بعضی موارد تطابق رنگ موضع جوش داده شده با بقیه قطعه لازم است. این حالت بیشتر در تعمیرات بعضی عیوب قطعات ریختگی مورد نظر است.

۳- مقاومت سطحی در مقابل خوردگی، سائیدن، خراش و اصطکاک در موضعی که فلز جوش رسوب داده شده، درخواست می‌شود. در این موارد از فلز پرکننده خاصی با ترکیب شیمیائی ویژه استفاده می‌شود، که بیشتر در مواضع سائیده شده قطعات چدنی مستهلک، یا بالا بردن کارآیی قطعات چدنی نو کاربرد دارد. ﴿۵۰﴾

دسته بندی روش‌های جوشکاری: چندین روش برای عملیات جوشکاری ذکر شده در بالا وجود دارد که بطور کلی میتوان آنها را به دو دسته جوشکاری ذوبی و جوشکاری‌های غیر ذوبی تقسیم کرد. در گروه اول موضع مورد جوش از قطعه کارتوسط انرژی حرارتی ناشی از قوس الکتریکی یا شعله ذوب شده و غالباً " با فلز مذابی که از مفتول یا الکتروود جوش (الکتروود مصرفی) تولید می‌شود ممزوج شده و فلز جوش رسوب داده شده رابوجودمی‌آورد. بنابراین فلز جوش آلیاژی از فلز قطعه کار (چدن) و مفتول است. نسبت آن که اصطلاحاً " رقت گفته می‌شود به عوامل گوناگونی بستگی دارد، از جمله شدت تمرکز منبع حرارتی (شعله یا قوس الکتریکی)، سرعت جوشکاری، ضخامت و درجه حرارت قطعه و طرح موضع مورد جوش. به ندرت از الکتروودهای غیر مصرفی نیز برای ایجاد قوس الکتریکی (الکتروود کربن یا تنگستن) استفاده می‌شود. ترکیب مفتول و الکتروودهای مصرفی که ذوب شده و وارد حوضچه جوش مذاب می‌شود گوناگون بوده و برخی از آنها آهنی و تعدادی از مواد غیرآهنی میتوانند باشد.

توجه خاصی بر روی فلز جوش ذوب و منجمد شده و همچنین منطقه مجاور آن که تحت سیکل حرارتی ناشی از جوشکاری قرار میگیرد مبذول می‌شود.

در گروه دوم عملیات جوش بدون ذوب موضع مورد جوش از قطعه کار انجام میگیرد، عملیات لحیم کاری سخت Brazing، لحیم کاری نرم Soldering، جوش پودری Powder Welding را میتوان در این گروه نام برد. ردیف گسترده‌ای از مفتول، پودر، خمیر یا ورق از آلیاژهای مختلف برای این منظور وجود دارد. جدول (۲۱) تعدادی از انواع مفتول و الکتروود برای جوشکاری چدن بصورت ذوبی و غیر ذوبی نشان میدهد. آنهایی که با حرف E شروع می‌شوند الکتروود پوشش دار برای جوشکاری قوس الکتریکی دستی بوده و آنهایی که با حرف R مشخص هستند مفتولند که برای جوشکاری با شعله یا روش‌های MIG و TIG مناسب هستند، آنهایی هم که با حرف B شروع می‌شوند مفتول‌های لحیم کاری سخت می‌باشند. (توضیحات در مورد فرآیندهای مختلف اشاره شده در این بخش درپاورقی‌های قبلی آورده شده است).

(عواملی که بر روی کیفیت منطقه جوش داده شده تأثیر دارند: پارامترها و نوع جوشکاری بر روی نحوه حرارت دادن و سرد شدن فلز جوش و منطقه مجاور آن، و نتیجتاً بر روی

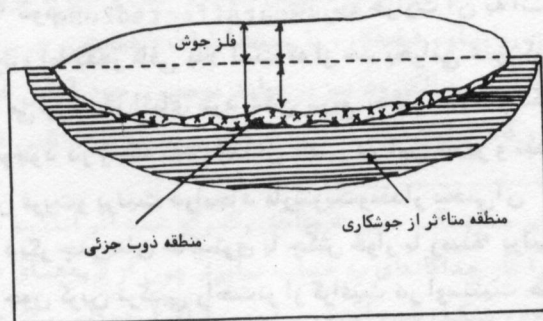
جدول (۲۱) معرفی تعدادی فلز پر کننده برای جوشکاری چدن ها

فلز پرکننده	AWS A5.15 دسته بندی و کد	کربن %	سیلیسیم %	منگنز %	آهن %	نیکل %	مس %	قلع %
پایه آهن	RCI , ECI	۳/۲۵-۳/۵	۲/۷۵-۳/۰۰	۰/۶-۰/۷۵	باقیمانده	ناچیز	-	-
	RCI - A	۳/۲۵-۳/۵	۲/۰۰-۲/۵	۰/۵-۰/۷۰	باقیمانده	۱/۲-۱/۶	-	-
	RCI - B	۳/۲۵-۴/۰۰	۳/۲۵-۳/۷۵	۰/۱۰-۰/۴۰	باقیمانده	۰/۵	-	-
پایه مس	RBCuZn-A	-	-	-	-	-	۵۷-۶۱/۰	۰/۲۵-۱/۰۰
	RCuZn- B	-	۰/۰۴-۰/۱۵	۰/۱۰-۰/۵۰	۰/۲۵-۱/۲۵	۰/۲۰-۰/۸۰	۵۶-۶۰/۰	۰/۵-۱/۱۰
	RCuZn- C	-	۰/۰۴-۰/۱۵	۰/۰۱-۰/۵۰	۰/۲۵-۱/۲۵	۱/۰۰	۵۶/۰-۶۰/۰	۰/۷۵-۱/۱۰
	RBCuZn-D	-	۰/۰۴-۰/۲۵	-	-	۹/۰-۱۱/۰	۴۶/۰-۵۰/۰	-
	ECuSn- A	-	-	-	-	-	باقیمانده	۴/۸۰-۵/۷
	ECuSn- C	-	-	-	-	-	باقیمانده	۷/۰-۹/۰
	ECuAl- A ₂	-	۰/۱۰	-	۱/۵	-	باقیمانده	-
فولاد کم کربن	EST	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۳۰-۰/۶۰	-	-	-	-
پایه نیکل	ENI- C ₁	۲/۰۰	۴/۰۰	۱/۰۰	۸۰۰	می نیمم ۸۵/۰	۲/۵	-
	ENiFe-C ₁	۲/۰۰	۴/۰۰	۱/۰۰	باقیمانده	۴۵-۶۰/۰	۲/۵	-
	ENiCu-A	۰/۳۵-۰/۵۵	۰/۷۵	۲/۲۵	۳/۰-۶/۰	۵۰-۶۰	۳۵-۴۵	-
	ENiCu-B	۰/۳۵-۰/۵۵	۰/۷۵	۲/۲۵	۳/۰-۶/۰	۶۰-۷۰	۲۵-۳۵	-

ساختار میکروسکوپی و خواص و کیفیت اتصال تاثیر قابل ملاحظه دارد. منطقه‌ای که متاثر از این عوامل می‌باشد خود شامل سه جزء یا قسمت است.

شکل (۳۵) قسمت ذوب و منجمد شده، جزء ذوب نشده اما به درجه حرارت بحرانی تغییر فاز رسیده، و بالاخره لایه‌ای بین دو قسمت بالا که ذوب جزئی انجام گرفته را نشان می‌دهد. اثر عوامل مختلف بر روی کیفیت جوش را میتوان بطور کلی یا جزئی در هر یک از قسمت‌های نامبرده در بالا مطالعه کرد. بعضی از مشکلات و معایب در جوشکاری قطعات چدنی به هر سه قسمت یا یکی از آنها مربوط است.

الف: منطقه ذوب یا میزان ذوب (همانطور که قبلاً اشاره شد غالب روش‌های جوشکاری بر روی چدن از الکترودهای مصرفی بوده و منطقه یا حوضچه مذاب دارای ترکیبی از فلز ذوب شده، قطعه کار و مفتول است. اگر عملیات به نحوی باشد که منطقه ذوب کم



شکل (۳۵) شمائی از مقطع جوش و مناطق مختلف آن

عمقی ایجاد کند طبیعتاً "آنالیز آن به ترکیب شیمیائی مفتول پرکننده نزدیک تر می‌باشد در حالیکه فرآیندی با نفوذ عمیق، رسوبی با آنالیزی نزدیک به فلز قطعه کار ایجاد می‌کند. در بسیاری موارد با تنظیم میزان ذوب یا درجه رقت میتوان کیفیت جوش را کنترل کرد. برای روشن شدن بیشتر مطلب به توضیح اضافی نیاز است. هنگامیکه چدن مذاب سریع سرد شد، کربن فرصت کافی برای آزاد شدن بصورت گرافیت نداشته و بحالت ترکیبی سمنتیت یا بعضی کاربیدهای دیگر در می‌آید. اگر مقدار سمنتیت تشکیل شده زیاد باشد مقطع شکست سفید مشاهده شده و چون این ترکیب بسیار سخت و شکننده می‌باشد باعث تردی و الماسه شدن فلز جوش می‌شود. تمایل تشکیل سمنتیت تنها به سرعت سرد شدن بستگی ندارد، بلکه ترکیب شیمیائی مذاب هم تأثیر مهمی بر آن دارد. میزان کربن، سیلیسیم، منگنز و بعضی عناصر آلیاژی دیگر از آنجمله‌اند. بعنوان مثال اگر الکتروود فولادی استفاده می‌شود با ذوب آن و ممزوج شدن با چدن مذاب و رقیق شدن ترکیب حاصله از نظر کربن و سیلیسیم میتوان حدس زد که تمایل به ایجاد سمنتیت بیشتر می‌شود. بنابراین ایجاد گرافیت آزاد و

زمینه نرم در منطقه ذوب به سرعت سرد شدن آرام و وجود کربن و سیلیسیم و اصولاً عناصر گرافیت زای کافی در مذاب نیاز دارد، البته با توجه به اینکه مقداری از این عناصر ممکن است در تماس با اکسیژن هوا در حین جوشکاری اکسید شوند. پرواضح است که گرافیت کروی هم هنگامی در این منطقه بوجود می آید که تکنیک جوشکاری صحیح بوده و عناصر ایجاد کننده گرافیت کروی (نظیر Mg و Ce) در مذاب بقدر کافی موجود باشند. (۷)

ب؛ منطقه های ذوب جزئی و متناثر از جوش: در منطقه بالائی ذوب جزئی، قسمت های کوچکی از فلز در سطح مشترک گرافیت، یا بعضی فازها و ترکیبات دیگر که نقطه ذوب کمتری دارند نظیر فاز یوتکتیکی آهن و فسفر (استیدیت) ذوب شده و در حین سرد شدن سریع، ممکن است فازهای ترد و شکننده ایجاد کرده یا تحت تنش های حرارتی، گسیختگی و شکست در این مناطق اتفاق افتد.

در منطقه Heat Affected Zone درجه حرارت آن به اندازه ای نمی رسد که ذوب انجام گیرد، اما بقدر کافی بالا است که از حد بحرانی عبور کرده و اوستنیت تشکیل شود. اوستنیت می تواند در اثنای سرد شدن سریع به فاز سخت و شکننده مارتنزیت تبدیل شود. گرافیت موجود در زمینه نقش چندان مهمی در این تغییر و تبدیل ندارد، اما فاز زمینه یعنی میزان فریت و پرلیت در ایجاد مارتنزیت و مقدار سختی آن تا اثر قابل ملاحظه ای دارد. به بیان دیگر چدن های خاکستری یا چکش خوار با زمینه پرلیتی دارای کربن ترکیبی بیشتری است و چون کربن ترکیبی راحت تر از گرافیت در اوستنیت حل می شود، بنابراین خطر تشکیل فاز مارتنزیت با کربن بالا در منطقه مجاور جوش بیشتر است. از آنجا که در چدن های با زمینه فریتی تقریباً تمام کربن بصورت آزاد وجود دارد، مناطقی که به درجه حرارت بحرانی میرسند باید زمان کافی در آن درجه حرارت باقی بمانند تا کربن از گرافیت در زمینه اوستنیت نفوذ کرده و در مرحله سرد شدن سریع به مارتنزیت تبدیل شود که عملاً کمتر این شانس و موقعیت بوجود می آید. * (توضیح مختصر در مورد بعضی فازهای نام برده در بالا در پاورقی ۱۳ آورده شده است).

* (پاورقی ۱۳)

توضیح مختصر در مورد بعضی فازهای زمینه چدن ها: فریت دانه های آهن خالص یا α است که زیر میکروسکپ بصورت سفید روایت می شود و شبکه کریستالی آن b.c.c می باشد. البته بعضی عناصر می تواند بصورت محلول جامد در فریت حل شوند و در زیر میکروسکپ مشاهده نشوند. حلالیت کربن در فریت از ۰/۰۲ تا ۰/۵ درصد بیشتر نیست. فریت نظیر فولادهای بسیار کم کربن نرم است. البته عناصر حل شده در فریت نظیر Si و Ni این نرمی را تا حدودی افزایش میدهد.

با توجه به توضیحات بالا میتوان تأثیر بعضی عناصر ناخالصی و همچنین زمینه چدن از قطعه مورد جوش، بر روی کیفیت دو منطقه مذکور را پیش بینی کرد. واضح است که در اینجا هم نقش سیکل گرم و سرد شدن در اثناى جوشکاری حائز اهمیت زیادی، بویژه بر روی ضخامت این قشرها، است.

(ج: خلل و فرج Porosity: یکی از مشکلات یا معایبی که در جوشکاری انواع چدن‌ها بوجود می‌آید خلل و فرج و حفره‌های گازی در فلز جوش می‌باشد که باعث کاهش استحکام جوش و عدم موفقیت بر روی آب بندی یک مخزن یا وسیله چدنی میگردد. همانطور که قبلاً اشاره شد کربن آزاد یا گرافیت در زمینه بطور فراوان وجود دارد، اگر این کربن در حین عملیات ذوب در جوشکاری با اکسیژن هوا تماس حاصل کند، و حتی در برخی مواقع بعضی اکسیدها را احیاء کند، حبابهای گاز CO یا CO تولید شده که می‌تواند از مذاب خارج شده یا احياناً " حین انجماد در فلز جوش محبوس مانده و خلل و فرج را بوجود آورند. رطوبت در پوشش الکتروود، روانساز، قطعه‌کار، یا محیط اطراف، همچنین چربی و کثافات دیگر در سطح مورد جوش یا مفتول و الکتروود نیز می‌تواند موجب بوجود آمدن خلل و فرج شود. برای تقلیل و کاهش این مشکل علاوه بر تمیز و خشک نگهداشتن قطعه کار و الکتروود و

پرلیت در زیر میکروسکپ بصورت مناطق رگه رگه شبیه اثر انگشت دیده می‌شود که در حقیقت میتوان آنرا فاز جداگانه‌ای به حساب نیاورد چون از لایه‌های فریت و سمنتیت (کاربید آهن Fe_3C) تشکیل شده است. پرلیت دارای استحکام بیشتری نسبت به فریت است. درصد کربن در پرلیت به عناصر دیگر بستگی دارد. ریزی و درشتی رگه‌های پرلیت بر روی خواص آن تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارد.

اوستنیت: در چدن‌های می‌توان اوستنیت را محلولی از کربن و حالت $TF.C.C$ آهن (آهن ۸) دانست که هنگام انجماد چدن‌ها بوجود می‌آید. اوستنیت در ادامه سرد شدن چدن‌ها به پرلیت و فریت و یا مخلوطی از این دو، تغییر حالت میدهد. اوستنیت بصورت قسمتی از زمینه چدن در درجه حرارت محیط، آن موقع دیده می‌شود که باندازه کافی نیکل در آن وجود داشته باشد. زمینه چدن‌های غیر آلیاژی بالای درجه حرارت بحرانی (حدود ۷۳۰ درجه سانتی‌گراد) اوستنیت است.

مارتنزیت: بطور کلی هنگامیکه چدن را سریع سرد کنند استحاله‌ای صورت می‌گیرد و ساختمان $TF.C.C$ آهن ۸ به تتراگونال $B.C.T$ تبدیل میگردد. در این حالت چون سرعت سرد کردن سریع بوده و مقدار زیادی کربن در مارتنزیت بصورت محلول باقی مانده، در جهت محور C ازدیاد طول صورت می‌گیرد که حالت ناپایداری است. این زمینه بصورت ساختمان سوزنی شکل در زیر میکروسکپ دیده می‌شود، سختی مارتنزیت بسیار بالا است.

روان‌ساز باید از تکنیک‌های صحیح جوشکاری هم استفاده کرد. بعنوان مثال تنظیم صحیح شعله مناسب، طول قوس، حرکت الکتروود، زاویه مناسب از آنجمله‌اند. (د: ترک برداشتن و الماسه شدن: معمولاً " در جوشکاری قطعات چدنی بامشکل اساسی دیگری که جوشکار مواجه می‌شود، ترک برداشتن موضع جوش داده شده پس از عملیات جوشکاری می‌باشد. ترکیب‌دهی ممکن است در فلز جوش یا منطقه مجاور آن باشد، در بعضی موارد حتی تشخیص آن ساده نیست. با توضیحاتی که در بندهای "الف" و "ب" داده شد تا حدودی چگونگی الماسه شدن و ترک برداشتن روشن شد، به عبارت بهتر، ایجاد فازهای سمنتیت، مارتنزیت و بعضی کاربیدهای سخت و شکننده تواءم با تنش‌های حرارتی و درجه مهار یا ممانعت بالا high restraint در قطع مجرب ترک برداشتن موضع جوش می‌شود* (درجه مهار در پاورقی ۱۴ توضیح داده شده است). آبرفتگی ناشی از انجماد مذاب و حتی تنش‌های باقیمانده در قطعه پس از ریختن و یا طرح قطعه و موضع اتصال هم می‌تواند عوامل تشدید کننده تنش‌ها و ترکیدگی باشند. گاهی اوقات این تنش‌ها موجب عدم تثبیت ابعاد پس از تراشکاری یا پیچیدگی قطعه می‌شوند.

پیش گرم کردن، تغییر زاویه یا طرح پخ (V به شکل)، تغییر روش جوشکاری با شدت تمرکز حرارت کمتر، تصحیح نوع فلز پرکننده یا تکنیک جوشکاری، چکش کاری خاص یا کوبیدن بر روی فلز جوش و عملیات حرارتی پس گرم کردن، تدابیر مختلفی برای کاهش

* (پاورقی ۱۴)

درجه مهار یا ممانعت Restraint: همانطور که در پاورقی ۱ راجع به ترک برداشتن بحث شد، تنش حاصل از انقباض در حین سرد شدن برابر است با $x E \cdot \alpha \cdot \Delta t$ که x فاکتور مهار یا ممانعت می‌باشد. این فاکتور بستگی به طرح اتصال، ناموزونی اسکلت یا قطعه مورد جوش، مقدار فاصله بین لبه‌های درز جوش، ضخامت ورق یا قطعه کار و نسبت ضخامت ورق به مقطع جوش و بعضی عوامل دیگر دارد. در دو ورق با ضخامت زیاد، متصل شده با یک جوش با مقطع کوچک نظیر جوش پاس ریشه‌ای root pass فاکتور x بزرگ است، یا در قطعاتی ریختگی نظیر چرخ‌های لنگر با چندین پره درجه مهار یا ممانعت در گوشه‌های پره‌ها به قسمت محیطی بزرگ بوده و طبیعتاً "جوشکاری بر روی این گونه قطعات نیاز به پیش گرم کردن بکنواخت قطعه در درجات بالاتر و بطور کلی مهارت بیشتر دارد. اینگونه قطعات ریختگی ممکن است حتی در ضمن جوشکاری موضعی، قسمت‌های دیگری دورتر از منطقه جوشکاری بشکند.

گاهی اوقات تنش‌های باقیمانده در قطعه (ناشی از ریخته‌گری) موجب افزایش غیر مستقیم درجه مهار می‌شود.

تنش‌های باقیمانده و احتمال ترک برداشتن و بالا بردن قابلیت ماشین‌کاری موضع جوش داده شده می‌باشد.

ه: پیش گرم کردن Preheating: (پیش گرم کردن قطعه مورد جوش و کنترل درجه حرارت بین پاسی InterPass Temperature موجب کاهش شیب حرارتی و بالنتیجه تقلیل سرعت سرد شدن منطقه جوشکاری می‌شود. آرام سرد شدن، احتمال کاربید رادر فلز جوش و مارتنزیت را در منطقه مجاور جوش کاهش می‌دهد، از طرف دیگر تنش‌های انبساطی و انقباضی نیز با پیش گرم کردن تقلیل می‌یابند.

پیش گرم کردن می‌تواند بطور موضعی و توسط شعله انجام شده یا با قرار دادن - قطعه در کوره یا محفظه‌ای پیش ساخته شده شبیه کوره اعمال شود. واضح است که پیش گرم کردن کل قطعه بعلت عدم احتمال ایجاد تنش‌های داخلی در مواضع دیگر قطعه ترجیح داده می‌شود. درجه حرارت پیش گرم کردن به اندازه، طرح، میزان درجه‌مهار، ساختار میکروسکوپی و خواص چدن، نوع فلز پرکننده، اندازه فلز جوش و روش جوشکاری بستگی دارد. بعنوان مثال قطعات سنگین و ضخیم چون قابلیت جذب حرارت بیشتری دارند و موجب سرد شدن سریع تر منطقه جوش می‌شوند نیاز به درجه حرارت پیش گرم کردن بالاتری دارند یا فلز جوش حجیم کندتر سرد شده و نیاز به درجه حرارت پیش گرم کردن پائین تری دارد (باید توجه داشت که فلز جوش طویل، عمیق و بزرگ در مقابل ترک برداشتن حساستر از فلز جوش کم عمق و کوتاه است).

✓ (در جوش‌های چندین پاسه درجه حرارت بین پاسی هم باید کنترل شود. این درجه حرارت نباید کمتر یا بیشتر از درجه حرارت پیش گرم کردن اولیه باشد. در قطعات سنگین گاهی اوقات لازم می‌آید تا برای نگهداشتن درجه حرارت بین پاسی معینی در حین جوشکاری از منبع حرارتی دیگر برای گرم نگهداشتن قطعه کار استفاده شود و یا از آنها در محفظه‌ای که قابلیت هدایت حرارتی آن کم است نگهداری گردد.

در مواقعی که نیاز به پیش گرم کردن کار قبل از جوشکاری ضروری است باید قطعه طوری قرار گیرد تا مسیر جوشکاری و عملیات آسان و راحت در دسترس جوشکار باشد. در صورتیکه قطعه بر روی میز کار یا زمین بطور مناسبی قرار نگیرد باعث تمرکز تنش در موضعی حتی دورتر از منطقه جوش شده ترک ایجاد شود. اگر در بعضی قطعات ریخته شده با طرح پیچیده عملیات تنش‌گیری انجام نشده باشد، امکان دارد در برخی نقاط و مواضع مقداری تنش باقیمانده باشد که با تنش‌های ناشی از جوشکاری جمع و تشدید شده و منجر به شکست شود. در این موارد تنش‌گیری قطعه ریختگی قبل از جوشکاری و پس از آن لازم و مناسب می‌باشد.

پرواضح است که تاءثیر مقدار حرارت داده شده Heat input و میزان شدت تمرکز

آن در سرعت گرم کردن و سرد شدن و حتی عمق نفوذ را نباید نادیده گرفت .
و: تکنیک رسوب دادن: روشی که برای رسوب دادن فلز جوش انتخاب می شود برروی اثرهای حرارتی جوش تاءثیر دارد . ازدیاد سرعت جوشکاری موجب سریع تر سرد شدن جوش شده و ترک برداشتن سرد و تشکیل مارتنزیت و کاربید افزایش می یابد ، در حالیکه تاب برداشتن و پیچیدگی کاهش می یابد . با افزایش درجه حرارت پیش گرم کردن نقش سرعت جوشکاری کم اهمیت تر می شود . شکل و اندازه حوضچه جوش و نحوه حرکت زیگزازی الکتروود یا مشعل عوامل مؤثر دیگر هستند . بعنوان مثال بعضی از جوشکارها برای ایجاد حرارت بیشتر و سرد شدن آرامتر برای فلز جوش مبادرت به ایجاد حوضچه های جوش بزرگ و گرد می کنند . واضح است که هر چه حجم مذاب بیشتر باشد آرامتر سرد می شود و در حوضچه گرد از تمرکز تنش در گوشه و زوایا جلوگیری می شود . این خود تدبیر خوبی برای کاهش احتمال ترک برداشتن یا نرم شدن جوش است ، اما در مقابل احتمال ایجاد خلل و فرج در جوش افزایش می یابد ، چون هرچه حوضچه مذاب وسیع تر و عمیق تر باشد اولاً احتمال تماس هوا و عدم محافظت کامل مذاب توسط قوس یا شعله کمتر میگردد ، ثانیاً "عمق زیاد مذاب احتمال محبوس شدن حبابهای گازی را افزایش میدهد ، ثالثاً "درصد ناخالصی ها نظیر فسفر که در فلز قطعه کار بیشتر از الکتروود است در فلز جوش افزایش یافته و کیفیت جوش را پائین می آورد . بنابراین جوشکار باید در تکنیک رسوب دادن فلز و ایجاد حوضچه جوش تعادلی بین عوامل فوق الذکر برقرار کند . حرکت زیگزازی الکتروود یا مشعل از نظر دامنه و فرکانس هم دارای مزایا و محدودیت هایی است که تقریباً " شبیه مطالب بالا است .
ز - سرباره ، فلاکس و گازهای محافظ: در اثنای جوشکاری نوک مفتول یا الکتروود ، به ویژه با قوس الکتریکی به درجه حرارت بالائی میرسد . این درجه حرارت علاوه بر اینکه میتواند موجب تبخیر بعضی عناصر شود ، در صورت عدم دقت ممکن است در تماس با اکسیژن هوا قسمتی از عناصر فعال را اکسید کند . این واکنش های اکسیداسیون علاوه بر اینکه باعث کاهش بعضی عناصر در فلز جوش می شوند بلکه موجب ایجاد ذرات اکسید شده که اگر در مذاب محبوس شوند (slag inclusion) ، کیفیت اتصال را پائین می آورند . محافظت نوک مفتول از اکسیداسیون و حل کردن بعضی اکسیدها بوجود آمده دیرگداز در سرباره ، توسط پوشش های مخصوص الکتروود ، فلاکس یا روان ساز ، گازهای در شعله یا گازهای خنثی انجام میگردد . مواد سرباره ساز می تواند بصورت پوشش همراه با الکتروود یا مفتول بوده یا بطور جداگانه به شکل پودر یا خمیر به موضع مورد جوش اضافه شود .

ح: عملیات حرارتی پس گرم کردن: حرارت دادن قطعه جوش داده شده مستقیماً پس از جوشکاری یا بعد از سرد شدن به منظور تنش گیری یا کاهش سختی و بالا بردن قابلیت ماشین کاری انجام میگردد . گاهی اوقات قطعه جوش داده شده گرم را در خاکستر داغ یا

پوشش نسوز و عایق حرارت قرار داده یا آنرا با شعله آرام سرد می‌کنند. عملیات آنیل کردن کامل، نرماله کردن و انجام عملیات حرارتی مالیل کردن هم بر روی قطعه جوش داده شده چدنی مرسوم است.

جوشکاری چدن با روش قوس الکتریکی - الکتروود دستی (جوش برق): بدون توضیح مفصل درباره روش الکتروود دستی و تجهیزات آن باید گفت که حرارت ناشی از قوس الکتریکی ایجاد شده بین نوک الکتروود و سطح قطعه کار، موجب ذوب شدن الکتروود و قسمتی از سطح کار می‌شود. بنابراین فلز جوش، ترکیبی از فلز الکتروود و قطعه کار می‌باشد و آنالیز آن به میزان رقت بستگی دارد. پوشش الکتروود انجام عمل محافظت و تصفیه مذاب و احیاناً "اضافه کردن بعضی عناصر آلیاژی را به عهده دارد. شدت تمرکز حرارت زیاد و نتیجتاً "سرعت جوشکاری می‌تواند بالا بوده و منطقه باریکی را تحت سیکل حرارتی قرار دهد، اما در مقابل بعلت سریع سرد شدن فلز جوش و منطقه مجاور آن، مشکلاتی نظیر الماسه شدن و ترک برداشتن بوجود می‌آید. قسمتی از این مشکلات را میتوان با انتخاب صحیح الکتروود پیش گرم کردن، استفاده از تکنیک صحیح جوشکاری برطرف کرد. دامنه گسترده‌ای از الکتروود برای این منظور وجود دارد.

برای اتصالات لب به لب یا سربه سر (Butt) یا تعمیرات عیوب ریخته‌گری، پخ جناقی یا V شکل با زاویه ۶۰ تا ۹۰ درجه ضروری است. گاهی اوقات برای کاهش تمرکز تنش در ریشه جوش، پخ سازی لاله‌ای یا U شکل ترجیح داده می‌شود. پخ سازی بهتر است با ماشین کاری و سنگ زدن انجام گیرد، چون با قوس الکتریکی یا شعله از طریق ذوب کردن (gouging) اشکالاتی از جمله ادامه پیشرفت ترک، محبوس شدن گاز، وجود ذرات ناخالصی در عمق ترک، ایجاد منطقه ترد در مجاورت مسیر برش یا پخ سازی بروزی می‌کند. در مورد تعمیر ترکیدگی‌های موضعی باید مناطق اطراف ترکیدگی تا منتهی علیه آن برداشته شود، بدین ترتیب از محبوس شدن هرگونه حباب گاز، ماسه و کثافات دیگر در عمق ترک جلوگیری شده و از ادامه پیشرفت ترک جلوگیری می‌شود شکل (۳۶). برای مشاهده منتهی علیه پیشرفت ترک لازم است از انواع ذره بین و یا وسایل دیگر استفاده

شده و فقط به چشم غیر مسلح اکتفاء نشود. اگر قطعه کار کاملاً "جدا نشده است باید ابتداء و انتهای مسیر پیشرفت ترکیدگی را با ایجاد سوراخهایی بامته بست. یکی دیگر از مراحل آماده



تعمیر غلط ترکیدگی



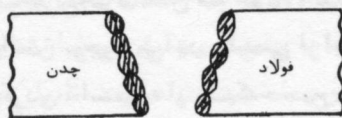
تعمیر صحیح ترکیدگی

شکل (۳۶) تعمیر غلط و صحیح ترکیدگی

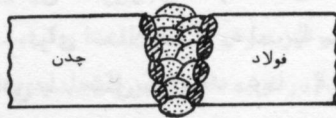
سازی قطعه مورد جوش قبل از عملیات جوشکاری تمیز کردن ماسه، پوسته‌های اکسیدی و پاکیزه کردن سطح از کلیه چربی و کثافات دیگر است. این مسئله بویژه در قطعات مستهلک که غالباً "آغشته به چربی و گریس می‌باشد و روغن حتی در ذرات گرافیت در سطح نفوذ کرده است اهمیت بیشتری دارد. در اینمورد، تمیز کردن توسط محلول‌های شیمیائی نظیر کربن تتراکلراید، یا سوزاندن و حرارت دادن برای مدت کوتاهی در ۳۷۰ درجه سانتی‌گراد انجام میگردد.

غالباً "اولین لایه" جوش حاوی مقداری خلل و فرج است که بهتر است آنرا سنگ‌زده و دوباره یک پاس جوش‌بر روی آن انجام داد. گاهی اوقات لازم است این عمل چندین مرتبه تکرار شود تا پاس جوش بدون خلل و فرج رسوب داده شود، پس از آن لایه‌های بعدی بطور عادی رسوب داده می‌شوند.

در بعضی مواقع دو سر از قطعه جدا شده را که قرار است به‌همدیگرموصل شوند چندین



لایه دادن با الکتروود مناسب (نیکلی)



اتصال پس از لایه دادن

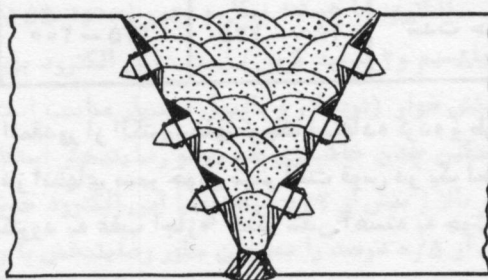
شکل (۳۷) اتصال دو
قطعه چدنی با روش
لایه دادن

لایه جوش رسوب داده و سنگ می‌زنند، سپس آنها را درکنار یکدیگر قرار داده و با چندین پاس دیگر جوش را تکمیل می‌کنند شکل (۳۷). این عمل را لایه‌دادن (Buttering) می‌گویند. در مورد اتصالات

فلزات غیر هم جنس نظیر اتصال فولاد به چدن هم از این تکنیک استفاده می‌شود. یکی دیگر از کاربردهای این تکنیک وصله زدن قطعه فولادی به قطعه چدنی خورده شده می‌باشد باید توجه شود که حتی‌الامکان از اتصال مستقیم وصله فولادی به چدنی بدون لایه دادن با الکترودهای مخصوص (نیکلی) جلوگیری شود، چون مخلوط فلز جوش حاصل از ذوب شدن لبه فولادی (کربن حدود ۰/۳٪) و لبه چدنی (کربن حدود ۳٪) و الکتروود، دارای آنچنان ترکیب شیمیائی است (کربن حدود ۱/۸٪) که ترد و شکننده می‌باشد.

بطور کلی در جوشکاری قطعات چدنی با قوس الکتریکی دو تکنیک بکار میرود. جوش سرد و جوش گرم. در روش جوش سرد برای جلوگیری از ایجاد منطقه ترد و شکننده در مجاور مسیر جوش سعی می‌شود تا حتی‌المقدور از بالا رفتن درجه حرارت قطعه جلوگیری شود، بدین معنی که با بکار بردن الکترودهای کوچک، آمپر پائین و انجام رسوب بطور پیرویی و زمان‌های کوتاه و توقف برای سرد شدن منطقه جوش، دائماً "درجه حرارت قطعه کار حتی در مواضع نزدیک خط اتصال پائین نگهداشته می‌شود. طبیعتاً با اینکار منطقه باریک‌تری به درجه حرارت بحرانی (برای حل شدن کربن در اوستنیت و احیاناً "برگشت به صورت

مارتنزیت و یا فاز ترد دیگر) میرسد. اگر جنس الکتروود مناسب انتخاب شود و مشکلی از نظر الماسه شدن فلز جوش یا ایجاد ترکیدگی‌هایی در فلز جوش در پیش نباشد احتمال وقوع ترک‌هایی در منطقه مجاور خط جوش کاهش می‌یابد و این منطقه بسیار باریک می‌گردد. در روش جوش گرم که اکثراً " عملیات جوشکاری بر روی چدن با این طریق انجام می‌گیرد با پیش گرم کردن قطعه تا 200°C یا بیشتر و کنترل سرعت سرد شدن پس از عملیات جوشکاری ساختار میکروسکوپی زمینه در فلز جوش و بویژه منطقه مجاور خط جوش کنترل می‌شود. بدین ترتیب حتی المقدور از بوجود آمدن فاز ترد و تنش‌ها جلوگیری می‌شود. یکی دیگر از روش‌های مرسوم دیگر برای تعمیر قطعات سنگین شکسته چدنی که نیاز به فلز جوش حجیم دارند، روش دوختن پایین زدن (Studding) است. در این روش ابتدا قطعات را درگیره بسته و تعدادی سوراخ بر روی دیواره یا سطح پخ شده موضع اتصال مطابق شکل تعبیه و حذیده می‌کنند. سپس میله‌های فولادی به قطر ۱۰ - ۶ میلیمتر در داخل



شکل (۳۸) روش دوختن قطعات شکسته چدنی

این سوراخ‌ها پیچ می‌شوند، بطوریکه معادل نصف تا $\frac{3}{4}$ قطر آنها از سوراخ بیرون بماند. قدم بعدی انجام جوش اطراف این میله‌ها و سپس جوش معمولی کامل بر روی موضع اتصال می‌باشد شکل (۳۸). با این تکنیک اولاً " مقدار زیادی از تنش‌ها در محل میله‌ها جذب می‌شوند، ثانیاً " محل اتصال دارای استحکام کافی بوده و احتمال ترکیدگی در منطقه مجاور خط جوش کاهش می‌یابد.

همانطور که اشاره شد الکتروودهای پوشش دار مختلفی برای جوشکاری چدن‌ها وجود دارد که اختصاراً در زیر به خصوصیت و کاربرد آن‌ها اشاره می‌شود.

الف: الکتروود چدنی با هسته چدنی و پوشش نسبتاً ضخیم محتوی مقدار کافی سیلیسیم و گرافیت. برای تولید فلز جوش چدنی و برای هر دو جریان متناوب و یکنواخت قطب معکوس مناسب می‌باشد. این الکتروود غالباً " با کد EC_1 (مطابق استاندارد AWS) مشخص می‌شود. کاربرد آن بیشتر در تعمیرات بعضی عیوب ریختگی می‌باشد و تحت شرایط

معینی میتوان به جوش با استحکام و قابلیت ماشین کاری در مقایسه با قطعه کار رسید .
پیش گرم کردن قطعه بین ۱۵۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی گراد ، بسته به پیچیدگی ، وزن قطعه و مشخصات مورد درخواست برای جوش ، مناسب می باشد فلز جوش مذاب از این نوع الکتروود بسیار روان است و پس از انجماد حدود BHN ۲۳۰ - ۱۷۰ برینل سختی خواهد داشت .
معمولاً " میزان شدت جریان لازم ، برحسب اندازه الکتروود انتخاب شده و درکارخانه های سازنده آن را بر روی بسته های الکتروود منعکس می کنند ، اما ارقام جدول (۲۲) هم میتواند بعنوان راهنما مورد استفاده قرار گیرد ، البته میزان ولتاژ حدود ۳۰ - ۲۵ ولت انتخاب شود .

جدول (۲۲) میزان آمپر بر حسب قطر الکتروودهای چدنی

اندازه الکتروود mm	$3\left(\frac{1}{8}\right)$	$4/5\left(\frac{3}{16}\right)$	$6\left(\frac{1}{4}\right)$
شدت جریان A	۱۵۰ - ۱۷۵	۱۷۵ - ۲۰۰	۲۰۰ - ۲۵۰

بهتر است حتی المقدور از الکتروودهای کوچک استفاده کرده و طول قوس متوسط تا بلند نگهداشته شود . در انتهای مسیر جوش بهتر است قوس در یک لحظه خاموش نشود ، بلکه با کشیدن آرام الکتروود به عقب اجازه خنک شدن آهسته به جوش داده شود و حفره انتهائی بوجود نیاید .

تکنیک خاصی نیز برای نیل به نرخ رسوب بالا هست که در آن از الکتروودهای بزرگ به قطر ۸ میلیمتر $\left(\frac{1}{4}\right)$ و آمپر ۵۰۰ - ۴۰۰ بر روی قطعه پیش گرم شده تا ۷۶۰ - ۶۵۰ درجه سانتی گراد $(1400^{\circ}F - 1600^{\circ}F)$ استفاده می شود و قبل از سرد شدن کامل آنرا در حدود ۵۴۰ درجه سانتی گراد تنش گیری می کنند . AS

(ب : الکتروود فولادی : چدن های خاکستری و نشکن (نودولار و مالیبیل) را میتوان با الکتروود فولادی کم کربن Est (کربن ۰/۱۵ درصد) جوش داد ، اما بعلت الماسه و سخت شدن فلز جوش از این الکتروود بیشتر در تعمیرات بعضی عیوب کوچک ریخته گری که به ماشین کاری نیازی ندارد استفاده می شود . محدودیت دیگر این الکتروودها احتمال ترک برداشتن جوش بویژه در مواضع با درجه مهار بالا است .

در بعضی موارد به هنگام جوشکاری چدن های مالیبیل فریتی به فولاد از الکتروودهای فولادی استفاده می شود . البته ابتداء سطح مورد اتصال تا عمق معینی (حدود وسعت منطقه متاثر از سیکل جوشکاری) کاملاً " دگرپوره شده و سپس عملیات جوشکاری با الکتروود فولادی انجام میگیرد . پرواضح است که در استفاده از الکتروود فولادی تمام سعی باید در این سمت

ENiCu الکتروود با هسته نیکل و مس (۷۰٪ نیکل و ۳۰ درصد مس) را در بسیاری موارد میتوان بجای الکتروودهای ENi-C₁ و ENiFe-C₁ بکار گرفت. این الکتروودها خود دو نوع هستند. با درصد مس بالاتر ENiCu-A و با درصد نیکل بالاتر ENiCu-B، که هر دو فلز جوش با قابلیت ماشین کاری خوب بدست می دهند. مزیت عمده این الکتروودها مقاومت خوردگی بهتر فلز جوش است و برای بعضی چدن های آلیاژی اوستینیتی مناسب می باشند.

نکته مهم که در استفاده الکتروودها با پایه نیکلی باید تذکر داد تا اثر تغییرات میزان رقت بر روی کیفیت فلز جوش است. بعنوان مثال با میزان رقت بالا و جوش تک پاسی سختی فلز جوش ۳۵۰ BHN می باشد در حالیکه در جوش چندین پاسی که میزان رقت پائین است این عدد به ۲۰۰-۱۷۵ BHN تقلیل پیدا می کند. برای تقلیل آلیاژ شدن فلز جوش با فلز قطعه کار، گاهی اوقات سعی می شود تا جوش راحتی المقدور سرد نگه داشت با توجه به آرام بودن قوس و عملیات و نقش خیس کردن کافی برای قوس، شدت جریان باید پائین انتخاب شود. شدت جریان برای جوشکاری در وضعیت عمودی تقریباً ۲۵ درصد و برای بالای سر ۱۵ درصد کمتر از وضعیت مسطح و افقی انتخاب می شود.

پهنای فلز جوش رسوب داده شده نباید از سه برابر قطر الکتروود بیشتر باشد. به علاوه باید کوچکترین اندازه ممکن برای الکتروود انتخاب شود تا کمترین حرارت به کار رود. عملیات رسوب دادن را می توان بتدریج از کناره یک فرو رفتگی تحت تعمیر، بطرف مرکز بصورت محیطی انجام داد. طول قوسی کوتاه حدود ۱/۵ میلیمتر (۱/۶ اینچ) برای پائین نگهداشتن حرارت پیشنهاد می شود. بهتر است طول های کوتاه حدود ۵ میلیمتر (۲ اینچ) فلز جوش رسوب داده شده و سپس با چکش های مخصوص با مقطع کروی شکل با دقت خاصی کوبیده شده و پس از سرد شدن کامل و برطرف کردن پوسته سرباره یا خاک جوش (گل جوش) طول کوتاه دیگر در کنار یا ادامه آن رسوب داده شود. این نکات تقریباً همان تکنیک جوش سرد است.

واضح است که سختی و کیفیت منطقه مجاور جوش به سرعت گرم و سرد شدن منطقه جوش و ترکیب شیمیائی چدن قطعه کار بستگی دارد. همانطور که قبلاً اشاره شد چدن ها باز مینه پرلیتی شانس تشکیل مارتنزیت در منطقه مجاور خط جوش را افزایش می دهند، که مارتنزیت بوجود آمده را میتوان توسط عملیات حرارتی تمپر کرده و سختی و تردی آنرا کاهش داده و بدین ترتیب قابلیت ماشین کاری آنرا بهبود بخشید. در جوش های چندین پاسی غالباً عمل تمپر کردن توسط سیکل حرارتی پاس بعدی اجراء می شود.

در جدول (۳۳) شدت جریان های معمولی برای اندازه های مختلف الکتروودها با عنصر پایه نیکل آورده شده است، البته این اعداد بر روی جعبه های انواع الکتروودها هم

نوشته می شوند و معمولاً " بعنوان راهنما برای جوشکار مفید هستند و جوشکار این اجازه را دارد که بنا به وضعیت جوش، طرح و اندازه قطعه کار و تکنیک و مهارت خودش تاحدودی آنها را تغییر دهد. ^{۸۹}

جدول (۲۳) میزان آمپر برای الکترودهای نیکل دار

قطر الکترو میلیمتر (اینچ)	ENiFe-C ₁		ENi-C ₁	
	شدت جریان d.c	شدت جریان a.c	شدت جریان d.c	شدت جریان a.c
۲/۴ (۳/۳۲)	۴۰-۷۰	۴۰-۷۰	۴۰-۸۰	۴۰-۸۰
۳/۲ (۱/۸)	۷۰-۱۰۰	۷۰-۱۰۰	۸۰-۱۱۰	۷۰-۱۱۰
۴/۰ (۵/۳۲)	۱۰۰-۱۴۰	۱۱۰-۱۴۰	۱۱۰-۱۴۰	۱۱۰-۱۵۰
۴/۸ (۳/۱۶)	۱۲۰-۱۸۰	۱۳۰-۱۸۰	۱۲۰-۱۶۰	۱۲۰-۱۷۰

جدول (۲۴) اثر پیش گرم و پس گرم کردن را بر روی سختی فلز جوش و منطقه مجاورش که با روش قوس الکتریکی و الکتروود ENiFe-C₁ تولید شده نشان میدهد. در اینجا بد نیست به چند نکته خاص در مورد جوشکاری چدن داکتیل و مالیل با الکتروود دستی اشاره شود.

اگر عملیات جوشکاری با الکتروود چدنی بر روی چدن نودولار و یا مالیل انجام شود کربن جدا شده در فلز جوش بصورت ورقه‌ای است و بالنتیجه خواص فلز جوش با بقیه فلز قطعه کار قابل مقایسه نخواهد بود. اگر فلز جوش بر روی چدن مالیل از نظر ترکیب شیمیایی کاملاً " با بقیه چدن قطعه کاریکسان باشد این امکان وجود دارد که تحت سیکل کامل مالیل کردن به گرافیت برفکی در فلز جوش دست یافت.

مشکل دوم ساختار میکروسکوپی منطقه مجاور جوش است که در درجه حرارت بالا ناشی از سیکل حرارت جوشکاری، این زمینه تبدیل به اوستنیت شده و در صورتیکه این زمینه پرلیتی باشد، اوستنیت با کربن بالا، ضمن سرد شدن سریع تبدیل به مارتنزیت می شود و تردی و شکنندگی منطقه مجاور خط جوش را شبیه چدن خاکستری پیش می آورد. عملیات پس گرم کردن در ۵۴۰-۶۵۰ درجه سانتی گراد مارتنزیت سخت را تمپر می کند، اما برای نرم کردن به عملیات آنیل کردن کامل در ۸۷۰° C نیاز است. با اینهمه بهرحال شانس بازگشت خواص ابتدائی به این منطقه کم است، هر چند پیش گرم کردن ۱۲۰ درجه سانتی گراد و حتی تا ۶۵۰ درجه سانتی گراد هم می تواند انجام شده و کمکی در این مورد

جدول (۲۴) اثر پیش گرم و پس کردن بر روی خواص موضع جوش داده شده

درجه حرارت پیش گرم کردن	درجه حرارت پس گرم کردن	سختی برینل	
		فلز جوش	مجاور جوش
—	—	—	۲۴۱
۲۶۰°C	—	—	۲۳۵
—	۶۲۰°C	—	۱۹۷
—	—	۳۴۲—۳۶۲	۴۲۶—۴۸۰
۱۱۰°C	—	۲۹۷—۳۶۲	۴۰۴—۴۲۶
۲۳۰°C	—	۳۰۵—۳۴۰	۳۶۲—۴۰۴
۳۱۰°C	—	۱۸۵—۲۲۸	۲۵۵—۳۲۲

انجام دهد .

الکتروود نیکل - آهن $ENiFe-C_1$ با ۵۵ درصد نیکل، الکتروود بسیار مناسبی برای رفع عیوب و اتصالات چدن نودولار است . در قطعات کوچک نیازی به پیش گرم کردن هم نیست ، اما عموماً لازم است که انواع چدن نودولار فریتی تا ۱۸۰-۱۲۰ درجه سانتی گراد و نوع پرلیتی آن تا ۳۰۰-۲۰۰ درجه سانتی گراد پیش گرم شوند که احتمال ترک برداشتن منطقه مجاور جوش کاهش یابد .

پیشنهاد میشود جریان یکنواخت قطب معکوس با آمپر پائین و همچنین الکتروود خشک یا پخته شده بکار رود . برای دست یابی به قابلیت ماشین کاری خوب در منطقه مجاور جوش عملیات حرارتی ، انیل کردن کامل ، یا نرماله کردن ضروری است . با رعایت کلیه جوانب در اتصال سربه سر چدن نودولار فریتی به استحکامی در حدود ۶۶ درصد و انعطاف پذیری ۳۳ درصد از قطعه کار دست یافته اند .

یکی از محدودیت های این الکتروود برای جوشکاری چدن نودولار اوستنیتی ، مغناطیسی بودن فلز جوش در مقابل غیر مغناطیسی بودن بقیه قطعه کار می باشد ، از این جهت در بعضی موارد از الکتروود ۲۵ درصد کرم ۲۰ درصد نیکل ویژه فولاد زنگ نزن استفاده می شود که الکتروود اخیر هم متأسفانه موجب افزایش احتمال ترک برداشتن زیر خط جوش می شود .

الکتروود مغزدار شامل دو عنصر یتیم Yttrium و منیزیم گزارش شده است که جوش ناتابیده (as-welded) کاربردی تولید می کند که پس از انیل کردن دارای خواص قابل

مقایسه‌ای با چدن نودولار قطعه کار است. این دو عنصر در فلز جوش به ترتیب ۲۵/۰ - ۱۰/۰ درصد و ۵۱/۰ - ۵/۰ درصد هستند.

در اثنای جوشکاری چدن مالیبیل انعطاف پذیری منطقه مجاور جوش بطور شدیدی کاهش می‌یابد، زیرا گرافیت حل شده و به صورت مارتنزیت سخت تبدیل می‌شود. چون چدن از نظر آنالیز طوری تنظیم شده که قبل از عملیات مالیبیل کردن بصورت "چیلد" یا سفید است و در این شرایط سریع سرد شدن ناشی از سیکل حرارتی جوشکاری سهولت این تحول را تأمین می‌کند. اگر چه عملیات حرارتی آنیل کردن پس از جوشکاری این منطقه سخت را نرمتر می‌کند اما بهر حال انعطاف پذیری کمی در مقایسه با بقیه قطعه کار خواهد داشت. علی‌رغم این محدودیت در حالت‌های خاصی چدن مالیبیل را با توجه به نکات تکنیکی میتوان با الکتروست جوش داد. برای تعمیرات مواضع شکسته شده ناشی از تنش بر روی قطعه چدن مالیبیل، عملیات جوشکاری تجویز نمی‌شود.

موضع متصل شده تحت نیروهای فشاری، برشی و پیچشی بهتر از نیروهای کششی و خمشی مقاومت می‌کند و اگر تحت تنش خستگی قرار گرفته باشد، میزان تنش نباید از ۱۰۰۰۰ psi بیشتر باشد. استحکام کششی حداکثر ۴۰۰۰۰ - ۳۰۰۰۰ psi را می‌توان برای جوش در نظر گرفت.

چون بیشتر قطعات چدن مالیبیل کوچک هستند معمولاً "نیاز به پیش‌گرم کردن ندارند و در صورت نیاز تنش‌گیری تا ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد خوبست انجام شود. برای قطعات بزرگ و درجه مهار بالا پیش‌گرم کردن ۴۰۰ - ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و عملیات آنیل کردن یا سیکل کامل مالیبیل کردن پیشنهاد می‌شود. البته این عملیات مستلزم مخارجی بوده و در بعضی قطعات که برای استحکام خاصی طرح شده است، کاهش استحکام پس از این عملیات محدودیتی ایجاد می‌کند.

چدن مالیبیل فریتی نوع ۳۲۵۱۰، ۱۳۵۰۱۸ بهترین نوع چدن مالیبیل از نظر قابلیت جوشکاری است اگرچه مقداری از استحکام ضربه‌ای خود را از دست می‌دهد. چون مالیبیل پرلیتی بعلت مقدار بالاتر کربن ترکیبی دارای خواص ضربه‌ای کمتری پس از جوشکاری است. برای پر کردن و تعمیر بعضی حفره‌های کوچک در چدن مالیبیل ۳۲۵۱۰ و ۳۵۰۱۸ روش قوس الکتریکی با الکتروست نیکل مناسب است. اگر چه از الکتروست فولاد کم کربن و کم‌هیدروژن هم میتوان استفاده کرد اما عملیات آنیل کردن کامل حتماً باید انجام شود.

چدن مالیبیل پرلیتی را میتوان به سختی جوش داد چون لایه ترد چدن سفید بدون گرافیت در مجاورت جوش ایجاد می‌شود. این نوع چدن‌ها را در صورتی می‌توان جوش داد که سطح یا لبه مورد اتصال قبلاً "کاملاً" دگرپوره شود (ذرات گرافیت در لایه سطحی سوزانده شود).

چدن‌های آلیاژی معمولاً " برای مقاومت در مقابل سایش، حرارت و خوردگی طرح و تولید می‌شوند. برخی از این چدن‌ها قابل جوشکاری بوده و بعضی نیستند. چدن‌های سفید و سریع سرد شده دارای مقاومت سایشی بسیار خوبی هستند و ساختار میکروسکوپی بدون گرافیت آزاد دارند. این چدن بعلت تردی و شکنندگی بسیار بالا تقریباً " غیر قابل جوشکاری می‌باشد.

چدن‌های مقاوم در مقابل خوردگی معمولاً " به سیلیسیم بالا، کرم بالا و یا نیکل بالا شناخته می‌شوند. برای تعمیرات بعضی عیوب در برخی از این چدن‌ها میتوان جوشکاری کرد. اما نکته مهم و حساس در اینموارد خواص و شرایط کاربرد اینگونه آلیاژها و قطعات می‌باشد بنابراین پیدا کردن الکتروود مناسب که فلز جوشی تولید کند تا بتواند پاسخگوی آن شرایط باشد قدری پیچیده و سخت است و اطلاعات چندانی نیز در زمینه وجود ندارد.

در مورد چدن‌های مقاوم در مقابل حرارت هم مشکل ذکر شده در بالا صادق است. جدول (۲۵) حدود خواص مکانیکی فلزجوش حاصل از چند نوع الکتروود بر روی چدن

خاکستری را نشان میدهد. (A9)

(زر جوش یا جوش برنج با قوس الکتریکی Arcbrazing welding): این روش تقریباً همان روش قوس الکتریکی با الکتروود دستی است اما چون معمولاً "جنس الکتروود از آلیاژهای غیر آهنی مس، روی، قلع و آلومینیم است و دارای نقطه ذوب پائین‌تری می‌باشد بصورت روش جداگانه‌ای شناخته شده است. الکتروودهای برنج (مس- روی) بعلت از دست رفتن روی و ایجاد خلل و فرج زیاد در جوش برای جوشکاری چدن‌ها چندان مناسب نیست. اما الکتروودها با آلیاژ مس- قلع و مس- آلومینیم برای این امر ابداع شده و مناسب می‌باشند الکتروودهای مس- آلومینیم در استاندارد AWS بصورت $ECuAl-A_2$ و الکتروودهای مس- قلع با کد $ECuSn$ مشخص شده است. الکتروودهای مس- قلع خود دو نوع هستند. $ECuSn-A$ با ۵ درصد قلع و $ECuSn-C$ با ۸ درصد قلع. الکتروودهایی با قلع بیشتر فلز جوش مستحکم‌تر و با سختی بیشتری ایجاد می‌کنند. این نوع الکتروودها معمولاً دارای نرخ رسوب بالا می‌باشند و در نتیجه با آمپر و حرارت داده شده پائین میتوان فلز جوش کافی رسوب داده و مشکل ناشی از تشکیل مارتنزیت در منطقه مجاور جوش را نیز کاهش داد. استحکام جوش با الکتروود مس- آلومینیم تقریباً " ۲ برابر الکتروودهای مس- قلع است. یکی دیگر از مزایای الکتروودهای زرجوش مقاومت خوردگی و سایشی خوب آنها است، اما در مقابل محدودیتی دارند که عدم تطابق رنگ موضع جوش داده شده و تفاوت ضریب انبساط حرارتی با بقیه کار می‌باشد. نکته آخری موجب می‌شود تا قطعه زر جوش شده برای درجات سرویس بالا چندان مناسب نباشد. (A12)

جدول (۲۵) خواص مکانیکی فلز جوش تحت آزمایش کشش (۱)

نوع الکتروود و قطر آن اینچ	نوع	وضعیت (۲)	استحکام کششی (psi)	نقطه تسلیم (psi)	درصد تغییر طول نسبی اینچ	درصد تغییر مقطع
ENiFe-Cl ۱ ۸	A	جوش ناتابیده ۱۶۵۰	۵۷,۶۰۰	۴۳,۰۰۰	۱۰/۰	—
ENiFe-Cl ۱ ۸	B	جوش ناتابیده ۱۶۵۰	۶۵,۲۰۰	۵۲,۰۰۰	۸/۰	—
ENiFe-Cl ۵ ۳۲	B	جوش ناتابیده ۱۶۵۰	۶۶,۹۰۰	۵۰,۰۰۰	۱۱/۵	—
ENiFe-Cl ۵ ۳۲	B	جوش ناتابیده ۱۶۵۰	۷۱,۵۰۰	۴۶,۰۰۰	۱۶/۵	—
ENiFe-Cl ۳ ۱۶	B	جوش ناتابیده ۱۶۵۰	۷۱,۷۰۰	۴۸,۰۰۰	۱۳/۰	—
ENiFe-Cl ۳ ۱۶	B	جوش ناتابیده ۱۶۵۰	۷۲,۵۰۰	۴۵,۰۰۰	۱۹/۰	—
ENi-Cl ^(۳) ۳ ۱۶	C	۱۶۵۰	۴۶,۸۰۰	۳۶,۰۰۰	۵/۰ (۴)	۶/۰
ENi-Cl ^(۳) ۳ ۱۶	A	۱۶۵۰	۴۶,۸۰۰	۳۴,۰۰۰	۷/۰ (۴)	۱۰/۰
ENi-Cl ^(۳) ۳ ۱۶	B	۱۶۵۰	۴۹,۰۰۰	۳۷,۰۰۰	۷/۰ (۴)	۶/۰

۱ - نمونه کششی ۵/۵۰ اینچ مطابق استاندارد AWS-۵۵t-۲۹۸ با استفاده از حدود پیش گرم کردن و درجه حرارت بین پاسی $^{\circ}\text{F}$ ۶۰۰ - ۴۰۰

۲ - جوش ناتابیده، سرد شده تا درجه حرارت محیط بعد از جوشکاری.
"۱۶۵۰" منظور عملیات حرارتی پس گرم کردن در $^{\circ}\text{F}$ ۱۶۵۰ برای ۴ ساعت و سپس سرد شدن در کورده.

۳ - از ۱۶ نمونه جوش داده شده برای آزمایش با این الکتروود، با پیش گرم کردن ۷۰ تا $^{\circ}\text{F}$ ۹۵۰ فقط ۵ تا از آنها ترکیدگی در جوش نشان نداد. نمونه کششی عرضی از ۵ جوش سالم بین psi ۵۷۳۰۰ - ۳۴۰۰۰ (میانگین psi ۴۲۰۰۰) شکست.

۴ - انعطاف پذیری کم علی رغم استحکام کششی پائین هنگام مقایسه با رسوب ENiFe-Cl_۱ یاد داشت شده است.

۸۱۰) آماده سازی قطعه از نظر تمیز کردن چربی و ناخالصی ها و همچنین پخ کردن لبه ها و نکات جنبی دیگر شبیه آنچه است که قبلاً " بحث شد و در اینجا تکرار آنها ضرورت ندارد . پیش گرم کردن ۲۱۰ - ۱۵۰ درجه سانتی گراد ، و در مواقعی که قابلیت ماشین کاری خوب مورد نظر باشد ۴۳۰ - ۳۱۰ درجه سانتی گراد پیشنهاد می شود . البته پیش گرم کردن موجب کاهش تنش های باقیمانده و تثبیت ابعاد و عدم پیچیدگی هم می شود . جریان یکنواخت قطب معکوس و حتی الامکان پائین ، سرعت جوشکاری بالا ، و تکنیک های خاص دیگر برای دست یابی به عمق نفوذ و میزان رقت پائین مفید و مثبت می باشد . در این فرآیند میزان رقت پائین است .

۸۱۰

(روش جوشکاری با قوس الکتریکی محفوظ در گاز (MIG و TIG) : همانطور که در پاورقی های ۳ و ۶ به اختصار در مورد روش های جوشکاری MIG و TIG توضیح داده شد ، در این روش ها حرارت ناشی از قوس الکتریکی بوجود آمده بین الکترود و قطعه کار موجب ایجاد حوضچه جوش مذاب می شود و تفاوت عمده آن با روش الکترود دستی نحوه محافظت نوک الکترود و حوضچه جوش مذاب است که در این روش ها هاله ای از گاز خنثی یابی اثر عمل محافظت را انجام میدهد و نتیجتاً " سرباره ای ایجاد نمیشود . در روش TIG الکترود غیر مصرفی و از جنس تنگستن بوده و حوضچه مذاب میتواند فقط از فلز قطعه کار بوده یا در صورت لزوم مفتولی جداگانه به منطقه ذوب به هر نسبت که جوشکار مایل باشد اضافه شود . در روش MIG الکترود مصرفی از نوع آهنی یا غیر آهنی بوده و قوس ایجاد شده بر نوک آن موجب ذوب شدنش می شود . حوضچه مذاب ترکیبی از فلز قطعه کار و مفتول است . سیم الکترود بصورت خودکار با سرعت معین به حوضچه مذاب هدایت می شود . در اینجا هم هاله ای از گاز آرگون یا در بعضی موارد آرگون + CO₂ محفظه قوس الکتریکی را از اتمسفر هوا محافظت می کند . در هر دو روش چون سرباره ای وجود ندارد منطقه جوشکاری واضح تر مشاهده شده و عمل تمیز کردن گل یا پوسته جوش هم لزومی پیدا نمی کند . از مفتول های آلیاژی آلومینیم - برنز ، سیلیسیم برنز و نیکل غالباً استفاده می شود .

در روش MIG بر حسب میزان شدت جریان و بعضی پارامترهای دیگر دو نوع انتقال قطرات مذاب از نوک الکترود به حوضچه جوش وجود دارد .

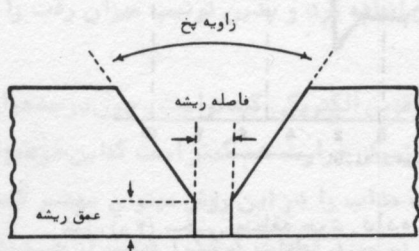
در شدت جریان بالا قطرات ریز بصورت دوش یا باران می بارد و برای جوشکاری چدن خاکستری و نشکن (نودولار و مالیبل) مناسب نیست ، چون حرارت زیاد ، عمق نفوذ بالا و میزان رقت زیادی ایجاد می کند و با بحث هایی که قبلاً شد این حالت نامطلوب است . در شدت جریان پائین و منبع قدرت ویژه انتقال قطرات بزرگ بوده و با ایجاد پل با حوضچه مذاب ، قطع قوس و شروع مجدد قوس تواءم است . فرکانس انتقال قطرات یا

تماس مذاب در نوک سیم با حوضچه مذاب بین ۲۰ تا ۲۰۰ مرتبه در ثانیه است. این روش انتقال به قوس مدار بسته Short Circuit Arc هم مشهور است. سیم با سرعت معین بطرف حوضچه مذاب هدایت می شود و چون شدت جریان کم است نرخ ذوب سیم کم بوده و سبب کوتاه شدن قوس و همزمان با آن کاهش اختلاف پتانسیل می شود، تقلیل پتانسیل موجب افزایش شدت جریان شده و قوس مجدداً شروع می شود. بعنوان مثال وقتی که قطر سیم نیکلی ۵/۷۵ میلی متر بوده و با سرعت ۱۰ - ۹ متر در دقیقه بطرف کار حرکت کرد، اگر آمپر ۱۶۰ - ۱۴۰ ولتاژ ۲۲ - ۲۱ ولت و سرعت انتقال مشعل ۶۰ سانتی متر در دقیقه باشد، در آن صورت فرکانس انتقال قطرات یا اتصال کوتاه ۱۰۰ تا ۱۶۰ مرتبه در ثانیه است.

روش MIG با انتقال قطرات بطریق مدار بسته بعلت حرارت داده شده کم و میزان رقت و نفوذ پائین روش بسیار مناسبی برای جوشکاری چدن های داکتیل می باشد، البته سیم نیکلی و معمولاً نازک نمی تواند نرخ رسوب زیادی ایجاد کند. در جدول (۴۶) پارامترهای معمول برای جوشکاری چند نمونه چدن با این روش بعنوان راهنما آورده شده است. در این جدول قطعه ضخامت ۱۳ میلی متر (نیم اینچ) بصورت جناقی یکطرفه یا V یکطرفه با زاویه ۴۰ درجه، فاصله ریشه ۳/۲ میلی متر و عمق ریشه ۱/۶ میلی متر، و هنگامیکه ضخامت قطعه از ۲۵ میلی متر (یک اینچ) بیشتر باشد جناقی دوطرفه یا V دوطرفه، زاویه ۸۰ درجه، عمق ریشه ۱/۶ میلی متر (۱/۶ اینچ) و فاصله ریشه ۲/۴ میلی متر آماده سازی می شود* (پاورقی ۱۵)

علاوه بر مفتول نیکلی از مفتول های نیکل - آهن و نیکل مس هم استفاده میشود.

در این روش هم نوع زمینه فریتی یا پرلیتی چدن نودولار بر روی نیاز به پیش گرم کردن و عملیات حرارتی پس گرم کردن و کیفیت جوش و منطقه مجاور آن تأثیر دارد. شکل (۴۰) و (۴۱) میزان سختی جوش و منطقه مجاور آنرا که توسط روش MIG بر روی چدن داکتیل پرلیتی و فریتی بوجود آمده نشان میدهد.



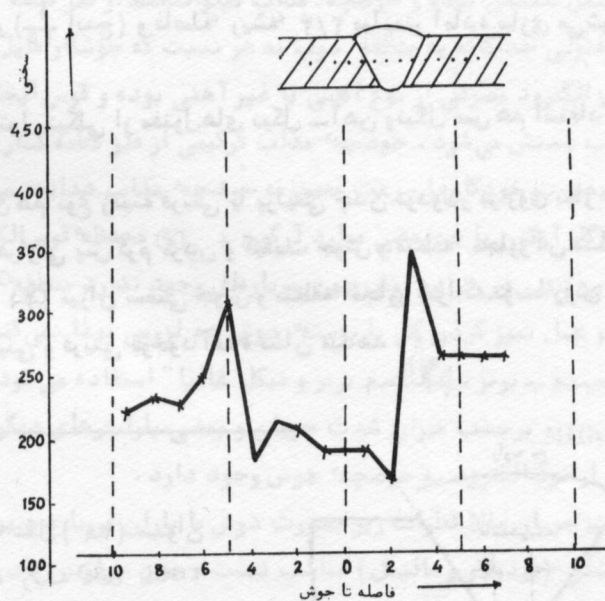
* (پاورقی ۱۵)

با مشاهده شکل (۳۹) میتوان زاویه پخ، فاصله ریشه root gap و عمق ریشه root face را متوجه شد. همین پارامترها برای پخ دوطرفه V هم صادق است.

شکل (۳۹) مشخص کردن بعضی اصطلاحات در پخ سازی لبه ها

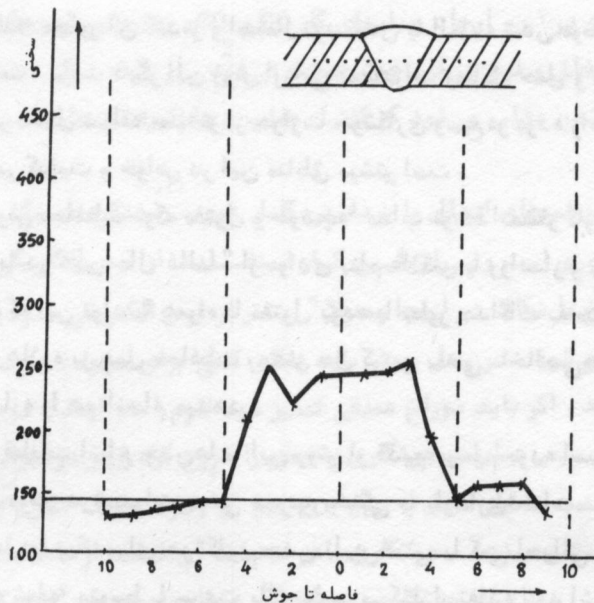
جدول (۲۶) پارامترهای فرآیند جوشکاری MIG برای چدن

درجه حرارت بین پاسی C سانتی گراد	نرخ گاز محافظ مترمکعب در ساعت	سرعت نرخ سیم با قطر ۰/۷۵ میلی متر بر دقیقه	ولتاژ قوس ولت	شدت جریان آمپر	مفتول قطعه کار
۱۲۰	۰/۸	۸/۸۰	۲۲	۱۵۰	نیکل ۶۱ چدن داکتیل
۱۲۰	۰/۸	۸/۴۰	۲۱	۱۴۵	مونل ۶۰ چدن فریتی
۱۲۰	۰/۸	۹/۵۰	۲۳	۱۴۰	نیکل ۵۵ چدن پرلیتی



شکل (۴۰) سختی منطقه جوش داده شده بر روی چدن داکتیل پرلیتی با

فرآیند MIG



شکل (۴۱) سختی منطقه جوش داده شده بر روی چدن داکتیل فریتی با

فرآیند MIG

روش جوشکاری با گاز یا شعله (جوش کاربید) : همانطور که در پارو قی ۸ توضیح داده شد، در این روش منبع حرارتی شعله حاصل از واکنش شیمیایی احتراق یا سوختن گاز است. غالباً در این مورد از احتراق اکسی استیلن و اکسیژن استفاده می شود، چون درجه حرارت نسبتاً بالا ایجاد کرده که برای ذوب چدن و مفتول آن کافی است. با کنترل نسبت گاز سوختنی و اکسیژن میتوان شعله های گوناگون، احیائی، خنثی و اکسیدی با کیفیت های متفاوت بوجود آورد. همینطور با تغییر قطر نازل یا نوک مشعل و فشار گازها میتوان قدرت حرارتی شعله را تغییر داد.

همانطور که اشاره شد بهر میزان که لازم باشد میتوان مفتول را به شعله یا حوضچه مذاب نزدیک کرده، ذوب نمود و به فلز جوش اضافه کرد و بدین ترتیب میزان رقت را به سادگی تحت کنترل درآورد.

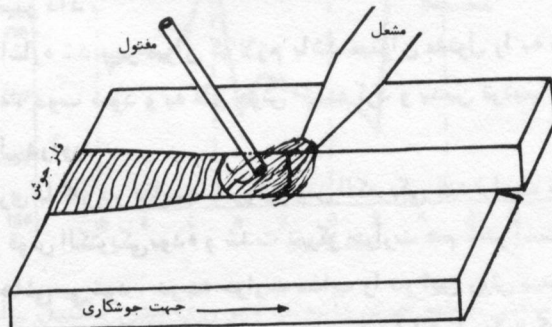
روش جوشکاری با گاز در مقایسه با روش قوس الکتریکی کندتر است، چون درجه حرارت شعله بسیار کمتر از قوس الکتریکی بوده و شدت تمرکز حرارت هم کمتر است که این خود موجب مزایا و محدودیت هایی می شود. درجه حرارت مذاب را در این روش میتوان بهتر کنترل کرد. پیش گرم کردن و پس گرم کردن، بویژه در مورد قطعات کوچک (کمتر از حدود ۱ کیلو) را میتوان با شعله و همزمان با عملیات جوشکاری انجام داد. ضمناً "سرعت سرد شدن

فلز جوش و منطقه مجاور آن کندتر و احتمال ترد شدن یا الماسه شدن موضع جوش داده شده بمراتب کمتر است. مزیت دیگر این روش ارزانی تجهیزات و قابل حمل و نقل بودن آن می باشد. اما در مقابل منطقه متاثر از حرارت جوشکاری وسیع تر بوده و احتمال تغییر ابعاد پیچیدگی و تغییر کیفیت و خواص در این مناطق بیشتر است.

در این روش محافظت نوک مفتول و حوضچه مذاب توسط اتمسفر گازی موجود در شعله انجام می شود اما در عین حال غالبا " از موادی بنام فلاکس یا روانساز و یا تنه کار هم استفاده می شود که این مواد یا همراه با مفتول بوده یا بطور جداگانه به منطقه جوشکاری منتقل می شود و علاوه بر عمل محافظت، نقش حل کردن بعضی ناخالصی ها و اکسیدها و ایجاد لایه سرباره را هم انجام میدهد.

جوشکاری قطعات انواع چدن ها با این روش از قدیم مرسوم بوده است و فعلا " هم یکی از روش های موفق در تعمیرات بعضی عیوب ریختگی یا بازسازی قطعات مستهلک می باشد. شعله مشعل یا پیک برای جوشکاری چدن باید خنثی یا کمی احیائی باشد. در عمل باید از نازلی که شعله متوسط یا سرعت بالا تولید می کند استفاده شود (شبه آنچه در فولاد بکار میرود). از بکار بردن نوک مشعل یا پستانک (افشانک) که شعله پائین (شبه آنچه در فلزات غیر آهنی بکار میرود) ایجاد می کند جلوگیری شود. مشعل و مفتول باید با تکنیک دست عقب (Back hand) شکل (۴۲)، (شعله، فلز رسوب داده شده را گرم می کند) بطریقی نگهداشته شود که از روان شدن فلز جوش به منطقه دور از حفاظت شعله جلوگیری شود. بعلاوه هنگام شروع و پایان عملیات جوشکاری در لبه ها باید دقت و مهارت خاصی

بکار برد تا از روان شدن مذاب به بیرون (بعلت سیالیت خوب چدن مذاب) اجتناب شود. بهترین حالت، بعلت همین سیالیت بالای چدن نسبت به فولاد و بعضی فلزات دیگر، رسوب دادن لایه جوش به ضخامت کمتر از ۳/۵ میلیمتر است. نگهداشتن زیاد شعله در یک نقطه باعث بالا رفتن زیاد درجه حرارت فلز جوش مذاب شده و موجب بیشتر

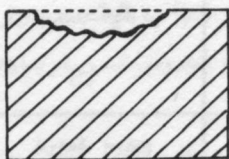


شکل (۴۲): تکنیک جوشکاری دست عقب Back hand

شدن حلالیت گاز در آن، ایجاد حبابهای گاز CO و CO₂ و همچنین احتمال محبوس شدن حبابها و ایجاد خلل و فرج در فلز جوش بیشتر می شود. از طرف دیگر سبب افزایش میزان رقت و پر حجم شدن مذاب می شود که کنترل مذاب و جلوگیری از جاری شدن آن به اطراف را مشکل می کند.

آماده کردن لبه های اتصال یا برداشتن کامل عیوب ریختگی با سنگ یا ماشین کردن در اینجا هم ضروری است و برای این کار استفاده از قوس الکتریکی یا شعله مجاز نیست. زاویه پخ یا شکاف در اینجا معمولاً "بیشتر از قوس الکتریکی بوده و ۹۰ تا ۱۲۰ درجه پیشنهاد می شود. در محل جوش باید فضای کافی برای سهولت حرکت نوک مشعل وجود داشته باشد. اگر باید سوراخ عمیقی تعمیر شود لازم است ابتداء سوراخ را به اندازه کافی گشاد کرد و سپس عملیات جوشکاری و تعمیر را شروع کرد چون در غیر این صورت احتمال خطر برگشت شعله به داخل مشعل (Back fire) وجود دارد. شکل (۴۳) آماده سازی صحیح و غلط را نشان می دهد. جوشکاری ماهر میتواند آن قسمت از ناخالصی ها یا عیوبی که تمیز نشده اند را در اثنای جوشکاری توسط تمرکز مشعل و ضربه زدن با نوک مفتول به محل عیب یا ناخالصی تا حدودی برطرف کند، البته انجام این عمل به مهارت و تجربه زیاد نیاز دارد.

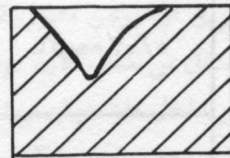
در جوشکاری چدن خاکستری غالباً "از مفتول های چدن خاکستری استفاده می شود که مقدار کافی کربن و سیلیسیم دارد تا با توجه به ازدست رفتن مقداری از آن در حین جوشکاری جبران شود و در عین حال سیلیسیم و کربن فلز جوش مذاب در حدی باشد که کربن بتواند بصورت گرافیت آزاد در ساختار ظاهر شود. مفتول چدن خاکستری را غالباً "بصورت مقطع چهار گوش تولید می کنند که به دو نوع یا گروه RCI-A و RCI- (استاندارد AWS) تقسیم می شوند: RCI برای چدن های خاکستری با استحکام $20000 - 35000$ psi و RCI-A با ترکیبی شبیه اولی به اضافه $1/6 - 1/2$ درصد نیکل و $5/45 - 5/25$ درصد مولیبدن برای چدن ها با استحکام بالاتر $40000 - 35000$ psi. البته ممکن است مفتول های دیگری هم متناسب با ترکیب چدن قطعه کار تولید کرد.



عیب سطحی



آماده سازی صحیح



آماده سازی ناقص

شکل (۴۳) آماده سازی برای رفع عیوب ریختگی

در جوشکاری چدن‌های نودولار غالباً " از مفتول‌های چدن نودولار استفاده می‌شود که خود دو نوع هستند: RC1-B که عموماً "دارای کربن و سیلیسیم بیشتر و منگنز کمتر در مقایسه با مفتول‌های چدن خاکستری است و این مفتول‌ها محتوی مقدار معینی سریم بعنوان کروی کننده گرافیت هستند. در جدول (۲۷) ترکیب شیمیائی چند نوع مفتول مناسب برای جوشکاری با شعله برای چدن‌ها آورده شده است.

جدول (۲۷) ترکیب شیمیائی چند نوع مفتول مناسب برای جوشکاری چدن

مفتول	RCI	RCI-A	RCI-B
درصد کربن %C	۳/۲۵ - ۳/۵	۳/۲۵ - ۳/۵	۳/۲۵ - ۴/۰۰
درصد سیلیسیم %Si	۲/۷۵ - ۳/۰	۲/۰۰ - ۲/۵۰	۳/۲۵ - ۳/۷۵
درصد منگنز %Mn	۰/۶ - ۰/۷۵	۰/۶ - ۰/۷	۰/۱ - ۰/۴
درصد نیکل %Ni	-	۱/۲ - ۱/۶	ماکزیمم ۶/۵
درصد مولیبدن %Mo	-	۰/۲۵ - ۰/۷۵	-
درصد فسفر %P	۰/۵ - ۰/۷۵	۰/۲ - ۰/۴	ماکزیمم ۰/۰۵
درصد گوگرد %S	ماکزیمم ۰/۱	ماکزیمم ۰/۱	ماکزیمم ۰/۰۳
درصد سریم %Ce	-	-	ماکزیمم ۰/۲

در نوع دیگر از مفتول مناسب برای چدن نودولار از منیزیم بعنوان کروی کننده گرافیت استفاده می شود. استفاده از مفتول های چدن نودولار باید با دقت و کنترل خاص انجام گیرد چون اکسید یا بخار شدن منیزیم و سریم عدم کروی شدن کربن در فلز جوش را بدنبال دارد و در مقابل زیاد شدن این دو عنصر احتمالا " کاربید ایجاد می کند.

گاهی اوقات جوشکارها از بریدن قطعات چدنی موجود در دسترس بصورت باریکه هائی استفاده می کنند، این کار برای مواردی که دقت و کیفیت زیاد مورد نظر باشد صحیح نیست چون مقداری کربن و سیلیسیم در حین جوشکاری و یا برشکاری سوخته و نقصان این دو عنصر در فلز جوش موجب سفید شدن یا الماسه شدن آن می شود. بهرحال اگر بعلت عدم دست رسی به مفتول، لازم باشد از این باریکه ها استفاده شود، سعی شود که اولاً " زیاد کلفت و پهن نباشد، چون هاله گازهای اطراف شعله نمیتواند نوک گداخته آنها را از اکسید شدن بپوشاند، همچنین کنترل قطرات ایجاد شده در نوک اینگونه باریکه های پهن مشکل است. ثانياً " لبه های برش در روی باریکه ها از ذرات و پوسته های اکسیدی ناشی از برشکاری کاملاً تمیز شود.

تعمیر عیوب کوچک بر روی قطعات ریختگی از چدن مالیبیل با روش جوش کاربید، باید با دقت و مهارت و قبل از عملیات مالیبیل کردن انجام گیرد. در این مورد مفتول چدن سفید با ترکیبی مشابه قطعه کار و بادر نظر گرفتن بازیابی و سوختن بعضی عناصر استفاده میشود بعد از اجرای تعمیرات، عملیات حرارتی مالیبیل کردن کامل انجام میگردد.

همانطور که قبلاً " هم اشاره شد غالباً "از فلاکس یا روانساز استفاده می شود که تقریباً " برای انواع مفتول های چدن ها شبیه می باشد. نقش روانساز علاوه بر کمک به محافظت نوک مفتول و حوضچه مذاب از اتمسفر، افزایش روانیت سرباره، سیلیکات آهن دار تشکیل شده بر روی حوضچه جوش هم است. این فلاکس شامل ترکیبات بریت، اسید بوریک، سودا و بعضی ترکیبات دیگر نظیر سدیم کلرید و آمونیم سولفیت یا اکسید آهن می باشد. یک فلاکس خوب می تواند از نسبت مساوی اسید بوریک و خاکستر سودا باضافه دو درصد آمونیم - سولفیت و ۱۵ درصد پودر آهن تشکیل شود. از روانساز که اصطلاحاً " به آن تنه کار هم می گویند به چندین طریق استفاده می شود. بعضی مواقع بر روی کار پاشیده می شود، و گاهی نیز از طریق فرو بردن مفتول گرم به داخل تنه کار بطور متناوب مقداری از آنها به موضع جوش منتقل می کنند. باید توجه داشت مصرف زیاد از حد روانساز موجب محبوس شدن سرباره در داخل فلز جوش می شود.

در روش جوشکاری با گاز هم پیش گرم کردن قطعه به کاهش تنش ها، تقلیل سرعت سرد شدن و تشکیل کاربید و مارتنزیت و افزایش قابلیت ماشین کاری و سرعت جوشکاری کمک می کند. درجه حرارت و نحوه پیش گرم کردن به پیچیدگی طرح قطعه و اندازه آن و

همچنین نوع چدن بستگی دارد. پیش گرم کردن بین ۶۸۰ - ۳۹۰ درجه سانتی گراد مناسب است، اما در چدن‌های آلایژی تا ۷۶۰ درجه سانتی گراد هم پیش گرم می‌کنند. چدن‌های نودولار به درجه حرارت پیش گرم بالاتری نیاز دارند.

پس از عملیات جوشکاری و برای کاهش تنش‌های حرارتی راه ساده قرار دادن قطعه در لایه Asbestoos یا ماسه یا خاکستر گرم است. گاهی اوقات هم بر روی قطعه جوش داده شده مقداری زغال گداخته میریزند، بدین ترتیب مواضع جوش و مناطق اطراف آن آرام‌تر سرد می‌شوند. این عمل علاوه بر کاهش تنش‌ها، موجب بهتر شدن قابلیت ماشین‌کاری و تقلیل احتمال ترک برداشتن می‌شود. بعضی قطعات را در کوره‌های برقی یا شعله‌ای در حدود یک ساعت برای هر ۲/۵ سانتی متر ضخامت در ۵۹۰ - ۶۲۰ درجه سانتی گراد قرار داده و سپس درجه حرارت آنرا با سرعت ۷۰ درجه سانتی گراد در هر ساعت تا ۳۷۰ درجه سانتی گراد کاهش داده و سپس در هوا سرد می‌نمایند. این عملیات احتمال پیچیدگی یا تغییر ابعاد قطعه را پس از ماشین کاری و ضمن کار کاهش می‌دهد.

در بعضی موارد از مفتول‌های غیر چدنی با پایه فلز اصلی مس در این روش استفاده می‌کنند که تقریباً "شبه جوش برنج یا زرجوش با قوس الکتریکی که قبلاً" اشاره شده است، با این تفاوت که در اینجا منبع حرارتی شعله است. درجه حرارت ذوب مفتول پائین‌تراز چدن بوده و میتوان میزان رقت را نیز پائین نگهداشت. قسمت اعظم فلز جوش مس است که قابلیت انعطاف پذیری و ماشین کاری خوبی دارد. حرارت شعله بیشتر برای ذوب مفتول متمرکز می‌شود و سطح کار تقریباً "ذوب سطحی یا حالت عرق کردن را به خود می‌گیرد اتصال، حالتی بین لحیم‌کاری و جوشکاری ذوبی دارد زیرا خیس شدن سطح و نفوذ مفتول مذاب به مرز دانه‌ها باعث بروز یک لایه باند اتصال می‌شود. آماده سازی سطح برای دست یابی به اتصال خوب اهمیت زیادی دارد، وجود ذرات گرافیت زیاد در سطح مانعی برای خیس شدن سطح چدن با مفتول مذاب و ایجاد اتصال ایجاد می‌کند.

مفتول‌ها غالباً "آلایژ ۶۰ درصد مس، ۴۰ درصد روی و مقدار کمی سیلیسیم، منگنز، قلع و نیکل و آهن برای بهبود خواص مکانیکی و خوردگی می‌باشند که در استاندارد AWS به چهار گروه تقسیم شده‌اند:

RBCuZn-A با یک درصد قلع برای افزایش استحکام و مقاومت خوردگی، سختی فلز جوش ۷۰ - ۹۰ BHN (با نیروی ۵۰۰ kg) است.

RCuZn-B منگنز - برنز با یک درصد قلع و آهن و ۵/۰ درصد منگنز برای افزایش سختی و استحکام. سختی فلز جوش برابر ۸۰ - ۱۱۰ BHN می‌باشد.

RCuZn-C مفتول کم دود شبه منگنز - برنز به اضافه مقدار کمی سیلیسیم (کمتر از ۲۵/۰ درصد). استحکام فلز جوش از مفتول‌های بالا بیشتر است.

RBZn-Cu مفتول سفید نقره‌ای نیکل برنز. حضور ۱۵ درصد نیکل رنگی سفید به فلز جوش حاصل از این مفتول می‌دهد که در بعضی موارد این رنگ از نظر تطابق موضع جوش با بقیه کار ترجیح داده می‌شود.

در اینجا هم به فلاکس (روان‌ساز یا تنه‌کار) نیاز است. بعضی کمپانی‌های سازنده، این مفتول‌ها را با پوشش فلاکس لازم تولید می‌کنند. در بعضی موارد این فلاکس‌ها بصورت خمیر یا مایع ارائه می‌شود.

از نظر تکنیک جوشکاری درجه حرارت سطح کار بسیار مهم است، که اگر سرد باشد قطرات مذاب از مفتول بر روی کار بصورت گلوله‌ای در می‌آید و اگر درجه حرارت خیلی بالا باشد موجب غلیان قطرات مذاب شده، یا میزان رقت بالا می‌رود که مطلوب نیست. میزان رقت را باید حتی المقدور پائین نگهداشت (حدود ۱۰ درصد).

یکی دیگر از روش‌هایی که برای تعمیر بعضی عیوب یا بالا بردن کارآیی تمام یا موضعی از قطعات چدنی استفاده می‌شود جوشکاری پودری است. این روش هم مانند روش زرجوش با شعله تقریباً "حالتی بین جوشکاری ذوبی و غیر ذوبی" است. اساس کار این روش بر دمیدن پودر ریز فلزی از میان اکسیژن در مشعل اصلاح شده اکسی استیلن استوار است. پودر فلزی در هنگام عبور از شعله گرم، ذوب شده و در تماس با سطح بصورت قطرات ریز مذاب در مواضع مورد نظر رسوب می‌کند. البته سطح کار هم در اثر حرارت شعله حالتی شبیه عرق کردن یا ذوب سطحی بخود می‌گیرد.

پودر با پایه فلز اصلی نیکل (۹۰ درصد) همراه با مقداری سیلیسیم و در بعضی موارد کمی برن و کرم برای افزایش سختی چدن مناسب است که معمولاً بین ۹۵۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد ذوب می‌شود.

قطعه کار تا ۳۰۰ - ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد پیش گرم شده و در اثنای کار به درجه حرارتی حدود ۸۰۰ - ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد میرسد (بجز لایه نازکی که حالت ذوب دارد) بعلت عدم ذوب کامل قطعه کار، کاربردی بوجود نمی‌آید و از طرف دیگر با کنترل میزان حرارت و تکنیک کار میتوان از ایجاد مارتنزیت هم جلوگیری کرد و در نتیجه فلز رسوب داده شده کاملاً "قابل تراشکاری" می‌باشد. این فرآیند برای چدن خاکستری، نودولار، مایلبل مغز سیاه و نودولار اوستنیتی قابل استفاده است. از نظر تطابق رنگ موضع تعمیر

شده با بقیه کار هم نتیجه رضایتبخش می‌باشد. A12
لحیم کاری سخت Brazing: در این روش عمل اتصال توسط یک لایه نازک پل

فلزی انجام می‌گیرد. بدین معنی که دو لبه یا سطح مورد اتصال کاملاً "بههمدیگرنزدیک شده سپس فلز پرکننده که غالباً "غیرآهنی و دارای نقطه ذوبی پائین‌تر از چدن و بالاتر از ۳۹۰ درجه سانتی‌گراد (۸۰۰ درجه فارنهایت) است، توسط حرارت ذوب شده و بر اساس

خاصیت موئینگی در سطح یا درز مشترک نفوذ می‌کند. پس از انجماد این لایه، بانداتصال براساس نیروی کشش سطحی ایجاد می‌شود (پاورقی ۱۱). بنابراین هیچگونه ذوبی بر روی قطعه چدنی اتفاق نمی‌افتد. اگر درجه حرارت ذوب مفتول از ۳۹۰ درجه سانتی‌گراد کمتر باشد آنرا لحیم نرم soldering می‌گویند. باید دقت کرد این روش با روش زرجوش یا Braze welding اشتباه نشود.

واضح است که قطعه کار باید دارای می‌نیم درجه حرارت لازم باشد که مفتول لحیم ذوب شده بتواند سطح مشترک را بپوشاند. حرارت دادن قطعه چدن و مفتول لحیم به طرق مختلف اجراء می‌شود. لحیم‌کاری با مشعل، لحیم‌کاری غوطه‌ور کردن در حمام مذاب لحیم‌کاری در کوره و روش‌های دیگر از فرآیندهای متداول هستند که بسته به طرح، اندازه و تعداد قطعه و همچنین هزینه و امکانات و درخواستی که از قطعه مورد انتظار است انتخاب می‌شود. برای جلوگیری از کاهش سختی و استحکام و بعضی تغییرات دیگر در ساختار میکروسکوپی منطقه مجاور لحیم‌کاری، باید درجه حرارت راحتی المقدور پائین نگهداشت که این تا حدود زیادی به نوع آلیاژ لحیم سخت بستگی دارد.

چون عملیات لحیم‌کاری براساس خیس شدن سطح یا لبهء مورد اتصال قرار دارد بنابراین آماده سازی سطح و کیفیت آن حائز اهمیت بسیار زیادی است. علاوه بر ذرات ماسه چسبیده شده بر روی کار و چربی و ناخالصی‌های دیگر، ذرات گرافیت ورقه‌ای یا برفکی و کروی هم مانع بسیار بزرگی برای خیس شدن سطح توسط لحیم مذاب است و موجب کاهش استحکام اتصال لحیم می‌شود.

روشهای مختلفی برای آماده‌سازی سطح مورد لحیم در چدن وجود دارد که هر کدام تا حدودی موفقیت‌آمیز می‌باشند. تمیز کردن با بارش ذرات فولادی برای چدن‌های نودولار و مالیبیل تا حدودی موفقیت‌آمیز است. روش‌های دیگر شامل شستشو در بعضی محلول‌ها یا سوزاندن در شعلهء اکسیدی یا حرارت دادن تا ۸۷۰ درجه سانتی‌گراد در محیط قوی دگربوره است. عملیات الکترولیتی در حمام مذاب نمک و احیاء و اکسید کردن متناوب یکی از موفق ترین روش‌ها برای برطرف کردن ذرات گرافیت در انواع چدن‌هاست.

باتوجه به نوع چدن و شرایط درخواستی برای موضع اتصال بهتر است کلیهء عملیات تمیز کردن به یکی از روش‌های بالا و همچنین لحیم‌کاری سخت بر روی قطعهء آزمایشی امتحان شود تا میزان موفقیت در آماده کردن سطح و کیفیت اتصال بدست آید.

برای تمیز کردن گرافیت در سطح چدن از حمام نمک سدیم هیدروکسید + additive در ۴۹۰ - ۴۶۰ درجهء سانتی‌گراد به جریان یکنواخت وصل شده استفاده می‌شود. با تغییر قطب الکتریکی، حمام مذاب از حالت اکسیده کردن به حالت احیائی و برعکس تغییر می‌کند. روش معمول اینست که قطعهء کار ابتداء قطب منفی و حمام مثبت می‌باشد. با این قطب،

حمام حالت احیائی داشته و ذرات ماسه برطرف شده و اکسیدها احیاء می‌شوند. سپس جهت جریان عوض می‌شود و اکسید اسیون شروع می‌گردد. در اثنای این سیکل، گرافیت از سطح برطرف می‌شود. پس از چند لحظه قطب جریان برعکس شده و سپس قطعه در آب شستشو داده می‌شود. بعنوان مثال حالت حمام برای تمیزکردن یک قطعه چدن در جدول (۲۸) آورده شده است.

پس از آماده سازی صحیح سطح و لبه مورد اتصال، آنچه اهمیت بیشتری دارد طرح اتصال و فاصله شکاف یا لقی درز سطح مشترک (Clearance) است که بر روی استحکام اتصال تأثیر قابل ملاحظه‌ای می‌گذارد. بهترین نتایج در فاصله شکاف ۵/۱۲۵-۰/۵ میلیمتر (۰/۵۲ - ۰/۰۰۵ اینچ) بدست آمده است.

نکته دیگری که باید اشاره شود، متفاوت بودن قابلیت لحیم پذیری چدن‌های مختلف است. درصد سیلیسیم و همچنین نوع و نحوه توزیع گرافیت بر روی این عامل تأثیر به سزائی دارد. سیلیسیم بالا اثر منفی داشته و چدن مالیل بیشترین قابلیت لحیم پذیری را داراست که این شاید از آن جهت است که مقدار کل کربن کمتر است (بندرت بیش از ۲/۷ درصد) و علاوه بر آن گرافیت بعلت مجتمع بودن راحت‌تر پاک شده یا توسط آلیاژ لحیم پوشیده می‌شود. مقدار سیلیسیم نیز در چدن مالیل معمولاً کمتر است.

چدن نودولار از نظر ترکیب شیمیائی به چدن خاکستری نزدیک است، اما چون گرافیت آن کروی است قابلیت بیشتری برای لحیم‌کاری دارد. چدن خاکستری بعلت گرافیت ورقه‌ای مشکل‌تر از دو نوع دیگر لحیم می‌شود.

آلیاژهای مختلفی برای مقول لحیم سخت چدن‌ها وجود دارند که پایه تمام آنها فلزات نقره، مس و روی است. در جدول (۴۹) مهمترین این آلیاژها آورده شده است. آلیاژهایی با درجه لحیم‌کاری پائین برای چدن خاکستری و چکش خوار مناسب‌تراند. لحیم‌کاری در درجه حرارتی پائین‌تر از ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد (۱۴۰۰ درجه فارنهایت)

جدول (۲۸) مشخصات عملیات الکترولیتی تمیز کردن گرافیت در سطح چدن

تمیز کردن نمک	زمان کل (دقیقه)	زمان سیکل احیائی قطعه منفی (دقیقه)	زمان سیکل اکسید اسیون قطعه مثبت (دقیقه)	زمان سیکل احیائی قطعه منفی (دقیقه)	درجه حرارت حمام (درجه سانتی‌گراد)	شدت جریان (آمپر)	ترکیب نمک حمام
فروبردن قطعه در آب سرد	۳۵	۱۰	۲۰	۵	۴۶۰ - ۴۹۰	dc قطب معکوس ۱۸۰۰	سدیم هیدروکسید

جدول ۲۹ - مشخصات نمونه‌هایی از مفتول‌های لحیم کاری سخت

نوع گروه	دسته بندی AWS	درجه حرارت انجماد درجه سانتی گراد	درجه حرارت ذوب درجه سانتی گراد	درجه حرارت لحیم کاری درجه سانتی گراد	شکلی که عرضه می شود
آلومینیم-سیلیسیم	B AlSi-2	۵۷۷	۵۵۸	۵۹۹-۶۲۱	sh
	B AlSi-3	۵۲۱	۵۸۵	۵۷۱-۶۰۴	sh,w,R
	B AlSi-4	۵۷۷	۵۸۲	۵۸۲-۶۰۴	sh,w,P,R
	B AlSi-5	۵۷۷	۵۹۰	۵۸۸-۶۰۴	sh
مس-نقره	B CuP-1	۷۱۰	۸۹۹	۷۸۸-۹۲۷	st
	B CuP-2	۷۱۰	۷۹۳	۷۳۲-۸۴۳	w,P,R
	B CuP-3	۶۴۳	۸۰۷	۷۰۴-۸۱۶	w,P,R
	B CuP-4	۶۴۳	۷۲۴	۷۰۴-۷۸۸	w,P,R
	B CuP-5	۶۴۳	۸۰۲	۷۰۴-۸۱۶	st,w,P,R
نقره	B Ag-1	۶۰۸	۶۱۸	۶۱۸-۷۶۰	st,w,P
	B Ag-1a	۶۲۷	۶۳۶	۶۳۶-۷۶۰	st,w,P
	B Ag-2	۶۰۸	۷۰۲	۷۰۲-۸۴۳	st,w,P
	B Ag-3	۶۳۲	۶۸۸	۶۸۸-۸۱۶	st,w,P
	B Ag-4	۶۷۱	۷۸۰	۷۸۰-۸۹۹	st,w
	B Ag-5	۶۷۷	۷۴۳	۷۴۳-۸۴۳	st,w
	B Ag-6	۶۸۸	۶۸۸	۷۷۴-۸۷۱	st,w
	B Ag-7	۶۱۹	۶۵۷	۶۵۷-۷۶۰	st,w
	B Ag-8	۷۸۰	۷۸۰	۷۸۰-۸۹۹	st,w,P
	B Ag-8a	۷۶۶	۷۶۶	۷۶۶-۸۷۱	st,w
	B Ag-13	۷۱۹	۸۵۷	۸۵۷-۹۶۹	st,w
	B Ag-18	۶۰۲	۷۱۹	۷۱۹-۸۴۳	st,w
	B Ag-19	۷۷۹	۸۹۰	۸۷۷-۹۸۲	st,w
فلزات گرانبها	B Au-2	۸۹۰	۸۹۰	۸۹۰-۱۰۱۰	sh,w,P
	B Au-4	۹۴۹	۹۴۹	۹۴۹-۱۰۰۴	sh,w,P
مس و مس-روی	RB CuZn-A	۸۸۸	۸۹۹	۹۱۰-۹۵۴	st,w,R
	RB CuZn-D	۹۲۱	۹۳۵	۹۳۸-۹۸۲	st,w,R
منیزیم	B Mg-1	۴۴۳	۵۹۹	۶۰۴-۶۲۷	w,R
	B Mg-2	۴۱۰	۵۶۶	۵۸۲-۶۱۰	w,R,st
	B Mg-2a	۴۱۰	۵۶۶	۵۸۲-۶۱۰	w,st,R
نیکل	B Ni-6	۸۷۷	۸۷۷	۹۲۷-۱۰۲۴	st,w,R,P
	B Ni-7	۸۸۸	۸۸۸	۹۲۷-۱۰۳۸	st,w,P,R

(در این جدول st تسمه، sh ورق، w سیم، R مفتول، P پودر را مشخص می کند)

انجام می شود. آلیاژها با درجه حرارت بالاتر که ارزانتر می باشند برای اتصالات ضخیم تر مناسب بوده ولی لزوم کنترل درجه حرارت و اتمسفر در آنها بیشتر است و در بعضی موارد عملیات پس گرم کردن هم ضروری است.

مفتول های گروه نقره یکی از پر مصرف ترین آلیاژ لحیم برای انواع چدن ها می باشد بویژه ۱-Bag و ۲-Bag که درجه حرارت لحیم کاری آنها ۸۴۳-۶۱۸ درجه سانتی گراد (۱۵۵۰-۱۱۴۵ درجه فارنهایت) بوده که این در حدود درجه حرارت تنش گیری می باشد و هیچگونه نگرانی از بابت ایجاد فاز سخت یا ترد در منطقه مجاور موضع لحیم شده پیش نمی آورند. ۳-Bag و ۴-Bag با مقدار کمی نیکل استحکام بیشتری به اتصال میدهد.

از دیگر مفتول های پر مصرف، آلیاژی با پایه فلز اصلی مس می باشد از جمله RBCuZn-A و RBCuZn-D اما چون درجه حرارت لحیم کاری آنها بالای درجه حرارت بحرانی (ورود به منطقه اوستنیت) است، باید دقت زیاد در سرعت سرد شدن و احتمالاً عملیات حرارتی پس گرم کردن به عمل آید. از مفتول های برنجی یا مسی محتوی مقداری فسفر نباید استفاده کرد، چون فسفر در لایه مشترک بین لحیم و چدن نفوذ کرده و فاز ترد و شکننده می کنند. همچنین سیلیسیم در لایه مشترک ایجاد فاز ترد می کند که حضور نیکل و منگنز تا حدودی این اثر را خنثی می کند.

با وجود تمیز کردن سطح مواد اتصال حضور فلاکس یا روانساز ضروری است، اینکار را که ممکن است با فرو بردن مفتول داغ به محفظه محتوی فلاکس، یا پاشیدن پودر، یا اگر فلاکس بصورت خمیری باشد با کاری شبیه رنگ زدن پوششی از آن بر روی موضع مورد نظر تاءمین کرد. فلاکس علاوه بر تمیز نگهداشتن سطح در اثنای گرم کردن و لحیم کاری، موجب بهتر خیس شدن سطح با لحیم مذاب هم می شود. ^{Al}

لحیم کاری نرم Soldering. بر روی چدن بسیار شبیه لحیم کاری سخت می باشد با این تفاوت که نقطه ذوب آلیاژ لحیم پائین تر از ۴۲۷ درجه سانتی گراد (۸۰۰ درجه فارنهایت) است. یکی از آلیاژهای بسیار معمول و مناسب برای لحیم کاری نرم چدن، آلیاژ ۳۰ درصد سرب + ۳۵ درصد روی + ۳۵ درصد قلع است، هر چند که قلع زیاد موجب سهولت لحیم کاری می شود.

آماده سازی سطح مورد لحیم و گرافیت زدائی در سطح یا لبه مورد اتصال در اینجا نیز همانند لحیم کاری سخت ضروری است. روانساز مناسب این روش شبیه آنچه در لحیم کاری فولاد بکار میرود، کلرید روی است. این روانساز چون خورنده قوی می باشد لازم است که در تمیز کردن بقایای آن پس از لحیم کاری دقت کافی مبذول داشت. ^{Al}

هرچند مشکلی از نظر الماسه یا ترد شدن منطقه مجاور لحیم وجود ندارد منتهی برای جلوگیری از ترک برداشتن خود لحیم باید سعی کرد تا قطعه کار از درجه حرارت لحیم

کاری آرام سرد شود. (۱۷)

یکی از موارد استفاده از روش جوشکاری که در ابتدای بحث هم اشاره شده است، تعمیر بعضی مواضع قطعات مستهلک که سائیده یا خورده شده‌اند، یا بهبود کارآیی قطعات جدید است که در شرایط خاص مورد استفاده قرار میگیرند. این عملیات را رسوب دادن سطحی (Surfacing) می‌گویند که برای اهداف و منظوره‌های گوناگون از قبیل: بالا بردن

جدول (۳۰) معرفی خواص و کاربرد بعضی الکترودها (E) و مفتولهای (R) مناسب برای عملیات سطحی چدن‌ها

موارد کاربرد	خواص عمومی لایه رسوب داده شده	روش استفاده	نوع و کد الکتروده یا مفتول	مواد عملیات
سطح ولبه‌هایی که نیاز به سختی سطحی دارند، نظیر وسایل خرد کننده و مواردی چون خراش، مالش فلز بر فلز	سختی پذیری با ازدیاد کربن افزایش می‌یابد نوع اوستنیتی با کار سرد قابل سخت شدن می‌باشد.	جوشکاری با گاز و قوس الکتریکی	EF _{Fe} , RFeS EC ₁ , RC ₁ EF _{FeCr} , RFeCr EF _{FeMn}	آلیاژهای آهنی اوستنیتی
دریچه‌ها و نشمین‌ها در قسمت‌های داخلی موتورهای احتراق، سطوح قالب‌های گرم شکل دادن فلزات	مقاومت خراشی و خوردگی خوب است. سختی کمتر از انواع آهنی می‌باشد، اما این سختی در درجه حرارت بالا باقی می‌ماند.	جوشکاری قوس الکتریکی و لحیم سخت با قوس	ECoCr, RCoCr	پایه کبالت
برنده و خرد کننده‌های میز آلهاو فلزات و درخواست‌های شدید خراشی	ماگزیم سختی و مقاومت خراشی تردی آن بسته به زمینه و فلزی است که رسوب بر روی آن قرار گرفته است.	جوشکاری با قوس الکتریکی و گاز	WC, W ₂ C	کاربیدها
سطوح اصطکاکی و سختی متوسط	مقاومت خوردگی عالی، خواص خوب در مقابل اصطکاک، هدایت الکتریکی خوب	جوشکاری با قوس الکتریکی و لحیم کاری سخت با گاز	ECuZn, RCuZn ECuSn, RCuSn ECuAl, RCuAl	پایه مس
مناسب برای سطوح کار گرم که باید ماشین شوند و مفید برای مصارف در خوردگی و گازهای گرم	مقاومت خوردگی و حرارتی و ضربه‌ای خوب حتی در درجات بالا	جوشکاری با گاز و قوس و پاشیدن	ENiCr, RNiCr	پایه نیکل

سختی، بهبود مقاومت در مقابل خوردگی، بالا بردن مقاومت در مقابل پوسته یا اکسید شدن در درجه حرارت بالا یا بهبود خواص اصطکاکی سطح انجام میگیرد. مفتول ها و الکترودهای مختلفی متناسب با خواصی که برای موضع مورد نظر تقاضا می شود وجود دارد که چند نمونه آن در جدول (۳۰) آورده شده است. همانطور که از جدول (۳۰) هم مشخص است با استفاده از روش های مختلف جوشکاری با گاز، جوشکاری با قوس الکتریکی، لحیم کاری سخت و پاشیدن پودر فلزی میتوان لایه های از فلز را بر روی موضع مورد نظر رسوب داد. هر چند در بعضی موارد نیاز به پیش گرم کردن قطعه نیست. اما پیش گرم کردن قطعه موجب کاهش تنش ها در لایه مشترک دو فلز مختلف (لایه رسوب داده شده و قطعه کار) می شود. روش با قوس الکتریکی ارزانتر و دارای سرعت عمل بیشتری است اما در این روش سرعت سرد شدن و ایجاد تنش ها هم بیشتر از روش رسوب دادن با گاز یا شعله می باشد.

نکته مهم دیگر که باید بدان توجه کرد، میزان رقت است، چون طبیعی است که رقیق شدن فلز رسوب داده شده با فلز قطعه کار موجب تغییراتی در خواص و کیفیت لایه سطحی خواهد شد و ممکن است شرایط مورد درخواست را پاسخگو نباشد. این موضوع بویژه در مواردی که چندین لایه بر روی هم رسوب داده می شوند حساس تر می شود، چون میزان رقت بتدریج کاهش می یابد. بعنوان مثال اگر در لایه اولی ۵۰ درصد باشد در لایه دومی (بر روی آن) ۲۵ درصد و لایه سومی ۱۲ درصد خواهد شد.

در خاتمه بطور اختصار چند نمونه از موارد و روش های مختلف جوشکاری بر روی

قطعات چدنی آورده می شود.

مثال ۱ - تعمیر ترکیدگی بر روی

قطعه ریخته شده (punch-press frame)

مطابق شکل ترکیدگی به عمق ۷۵ میلیمتر

(۳ اینچ) بر روی قسمت فوقانی قطعه

ایجاد شده است. برای تعمیر این قطعه

روش جوشکاری با گاز برای تعمیر انتخاب

می شود. جنس قطعه چدن خاکستری

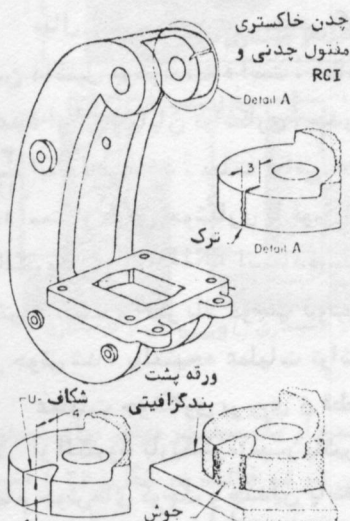
کلاس ۳۰ یا ۴۰ است. پس از خالی

کردن فلز در اطراف ترکیدگی و آماده

سازی آن بصورت U لاله ای با عمق ۱۰

سانتی متر (۴ اینچ) بکم ماشین کاری

و سنگ زدن، قطعه را در خاکستر یا



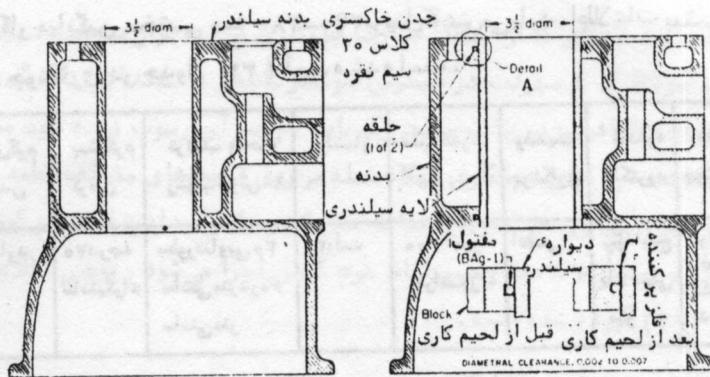
بعد از جوشکاری حرارت اتصال. قبل از جوشکاری
شکل (۴۴) تعمیر ترکیدگی بر روی قطعه ریخته گری
از چدن خاکستری با روش جوشکاری با گاز

خاک نسوز و یا ماده‌ای که از انتقال حرارت جلوگیری می‌کند قرار می‌دهند ، بطوریکه منطقه عملیات جوشکاری به سهولت در دسترس جوشکار باشد . با شعله آنرا تا 650°C پیش گرم کرده و صفحه گرافیتی در پشت موضعی که باید فلز در آن رسوب داده شود مطابق شکل قرار میگیرد . در اثنای جوشکاری گهگاه شعله بر روی قسمت‌های مختلف قطعه حرکت داده می‌شود . پس از پایان جوشکاری عملیات تنش گیری با قرار دادن قطعه در کوره 650°C درجه سانتی‌گراد بمدت ۶ ساعت و سپس آرام سرد کردن اجرا می‌شود . بعضی اطلاعات دیگر در جدول (۳۱) آورده شده است .

روان ساز	فلز پرکننده	زمان کل جوشکاری	عملیات پس گرم کردن	درجه حرارت پیش گرم کردن	اندازه نازل	فشار استیلن	فشار اکسیژن
سدیم بوریت و کربونیت	مفتول RC1 ۶ میلیمتری چهار گوش	۱۶ ساعت	۶۵۰ درجه سانتی‌گراد برای ۶ ساعت	۶۵۰ درجه سانتی‌گراد	شماره ۱۶ قطر ۴/۳ میلیمتر	۱۷ psi	۹۰ psi

مثال ۲ - بزرگ کردن سطحی که کوچکتر از اندازه لازم بر روی قطعه ریخته شده چدن داکتیل بوجود آمده است : مطابق شکل (۴۵) دیواره قطعه حجیم بعد از ریختن ۶ عدد از آن و پایان تراشکاری ، حدود ۱/۵ میلیمتر (۱/۱۶ اینچ) در عوض ۴/۵ میلیمتر (۳/۱۶ اینچ) می‌باشد . بعلت گرانی قطعه ریخته شده و هزینه‌های تراشکاری مربوطه ، سعی شده است از طریق جوشکاری با قوس الکتریکی و الکترو دستی دیواره مذکور کلفت تر شود از الکترو د ENiFe-C_1 استفاده شد و عملیات بر روی یکی از قطعات انجام گرفت . الکترو د کلفت و آمپر بالا موجب ذوب زیاد دیواره ۱/۵ میلیمتری و ورود زیاد گرافیت در فلز جوش شد ، بالنتیجه عملیات تراشکاری نهائی با سختی زیاد در این موضع روبرو بود . عملیات جوشکاری بر روی ۵ قطعه باقیمانده با تغییراتی در روش کار انجام گرفت .

اولاً " از الکترو د باریکتر ، آمپر پائین‌تر و محتوای نیکل بیشتر استفاده شد . ثانیاً " با انجام جوش‌های کوچک و چندین پاسه از مجتمع شدن حرارت بر روی قطعه جلوگیری شد . قطعه کار تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد (۱۵۰ درجه فارنهایت) گرم شده و طوری قرار میگیرد که عملیات جوشکاری بصورت افقی یا مسطح قابل اجراء باشد . بطور کلی کوشش برای پائین آوردن سختی است . میانگین سختی در قطعه اول ۴۵۰ - ۳۷۰ برینل بود اما با



طرح بهسازی شده - ریخته شده در دو قسمت و سپس لحیم شده طرح ابتدایی - ریخته شده بصورت یک تکه

شکل (۴۶) مقطع بدنه سیلندر از چدن خاکستری که تحت لحیم کاری سخت انجام میگردد

آن انجام میگرفت. مشکلاتی در قرار دادن و بعداً "بیرون آوردن ماهیچه‌ها وجود داشت. با تغییر طرح از یک واحد به دو جزء، با توجه به شکل، و عملیات لحیم کاری سخت برای الحاق دو جزء این مشکلات برطرف شد. سطوح تماس با دقت $0/05 - 0/175$ میلیمتر ($0/002 - 0/007$ اینچ) ماشین کاری شد و ضمناً "دو شکاف در قسمت بالا و پائین برای قرار دادن سیم لحیم سخت تعبیه شده است. سطح تماس هر دو قطعه ریخته شده از طریق الکترولیتی در حمام مذاب نمک، گرافیت زدائی شد. درجه حرارت حمام 460°C درجه سانتی گراد، زمان کل 35 دقیقه بود. پس از این زمان قطعه ابتداءً در آب سرد و سپس در آب 80°C درجه سانتی گراد شستشو داده شده است (اطلاعات بیشتر از این فرآیند گرافیت زدائی سطحی قبلاً آورده شده است). بعد از آماده سازی سطوح، دو قطعه مونتاژ شده و حلقه سیمی از مفتول ۱ - BAg و فلاکس A ۳ در شکاف تعبیه شده قرار گرفته و در کوره 720°C درجه سانتی گراد زیر اتمسفر خنثی نگهداشته می شود. واضح است که با ذوب مفتول و نفوذ آن بین سطوح مشترک و بالاخره انجماد آن، اتصال مورد نظر انجام می پذیرد.

مآخذ

- ۱ - امیرحسین کوکبی - "تکنولوژی جوشکاری" آماده چاپ مرکز نشر دانشگاهی
- ۲ - امیر حسین کوکبی - "جوشکاری چدن ها" مجله ریخته گری سال اول شماره ۲
- 3- P.T.houldcroft." welding process technology "
Cambridge university press 1977
- 4- G.E. Linnert. "welding Metallurgy " A.W.S 1965
- 5- D.Romans and E.N.Simons. "Welding processes and
technology " Pitman publishing 1974
- 6- J.F. Lancaster. "The Metallurgy of welding Brazing
and soldering" George Allen and Unwin Ltd 1970
- 7- Giachino ,Weeks, Johnson. "welding technology"
American Technical society 1973
- 8- "welding Handbook " sixth edition section 4
A.W.S 1972
- 9- "welding Handbook " seventh edition vol.2 1978
- 10- "Metals Handbook " A.S.M vol 6
- 11- "The gas welding of Aluminium " the A.D.A.
information Bulletin No.5 1952

انتشارات جامعه ریخته‌گران ایران

- ۱ - مجله ریخته‌گری
هر ۳ ماه یکبار منتشر میشود
- ۲ - تغذیه گذاری در قطعات ریختگی
پرویز دوامی ۱۳۵۹
- ۳ - ریخته گری فلزات غیر آهنی
جلال حجازی ۱۳۶۰
- ۴ - شمش ریزی
جلال حجازی ۱۳۶۱
- ۵ - چدن‌ها - مبانی سیستم‌های
راهگاهی و تغذیه گذاری
پرویز دوامی ۱۳۶۱
- ۶ - راهنمای جوشکاری آلومینیم و چدن
امیر حسین کوکبی ۱۳۶۲
- ۷ - جوشکاری فولادها
امیر حسین کوکبی زیر چاپ

