

فصل چهارم

الکترودهای جوشکاری

جوشکاری قوس الکتریکی با الکتروود روکش دار (SMAW) که در این متن اغلب تحت عنوان جوشکاری قوسی و در کارگاه توسط جوشکاران تحت عنوان جوشکاری دستی با الکتروود نامیده می شود ، دارای یکی از وسیعترین کاربردها در ساخت ، مونتاژ و تعمیر و تقویت سازه های فولادی است. این مقبولیت به لحاظ گسترش الکترودهای روکش دار است که توانایی ایجاد جوش با خواص مکانیکی معادل و یا حتی بهتر از خواص فلز مورد جوشکاری را دارا می باشند. در این بخش ضمن آشنائی با خواص عمومی الکترودها، مشخصات خصوصی آن دسته از الکترودهای روکش دار که دارای کاربرد وسیع در صنعت ساختمان هستند، مورد توجه قرار می گیرد. هدف این است که قادر باشیم تا آنجا که خواص الکتروود اجازه می دهد، جوشی ایجاد نمائیم که دارای مطلوبترین خواص فیزیکی و شیمیائی ، سلامت و ظاهر باشد .

تعاریف عمومی

- **الکتروود جوشکاری قوسی** : فلز پرکننده به شکل مفتول با روکش یا بدون روکش که جریان الکتریکی توسط آن بین انبر الکتروود و قوس الکتریکی منتقل می شود.
- **الکتروود مداوم**: الکتروود لخت پیوسته که به دور قرقره پیچیده و در جوشکاری اتوماتیک یا نیمه اتوماتیک مورد استفاده قرار می گیرد.
- **الکتروود مغزه دار**: یک نوع الکتروود مداوم (پیوسته) که پودر جوشکاری در مغزه آن قرار دارد و در جوشکاری اتوماتیک و نیمه اتوماتیک مورد استفاده قرار می گیرد.

- **الکتروود روکش دار :** یک الکتروود فلزی با طول محدود و روکش نسبتاً ضخیمی از موادی که دو هدف اصلی را برآورده می کنند ۱- تثبیت قوس الکتریکی ۲- بهبود خواص فلز جوش

طبقه بندی و شناسائی الکتروودهای دستی

الکتروودها برحسب خواص مکانیکی مفتول فولادی ، نوع پوشش و وضعیت جوشکاری طبقه بندی و برای شناسائی شماره گذاری می شوند.

عمدتاً " الکتروودها از لحاظ چوش پذیری در ۵ گروه اصلی طبقه بندی می شوند :

الکتروود فولاد نرمه ، فولاد پرکربن ، فولادهای آلیاژدار خاص، چدن و انواع الکتروودهای غیر آهنی.

طبقه بندی الکتروودهای پوشش دار بر اساس استاندارد بین المللی ISO

طبقه بندی الکتروودها بر اساس این استاندارد از پوشش روی آنها انجام گرفته است که بیشتر بیان کننده خاصیت الکتروود بر اساس مواد پوشش دهنده روی آن و بشرح زیر است :

الف : روکشهای روتیلی : روتیل که همان شکل طبیعی اکسید تیتانیم و اکسید آهن تیتان دار می باشد پوشش اصلی این نوع الکتروود را تشکیل می دهد. بعلت وجود مقدار زیاد مواد یونیزه کننده ؛ استفاده از این نوع الکتروودها آسانتر است . زیرا دارای دو نوع روکش است : یک نوع دارای سرباره غلیظ می باشد ، که بیشتر در حالت افقی و عمودی جوش گوشه بکار می روند. نوع دیگر بعلت وجود، ترکیبات اضافه شده ، روانتر بوده و در حالت های دیگر نیز مورد استفاده قرار می گیرد. با این نوع الکتروود، نوار جوش با شکل ظاهری و مشخصات مکانیکی بسیار خوب بدست می آید. بعلت وجود روتیل و عناصر یونیزه کننده میتوان با جریان متناوب نیز این نوع الکتروودها را بکار برد.

ب : روکشهای سلولزی : پوشش این نوع الکتروودها از سلولز و پنبه، فرو آلیاژهای احیا کننده، و سیلیکاتهای طبیعی، تشکیل شده است که بر اثر سوختن آنها مقدار زیادی هیدروژن و اکسید کربن بوجود می آید که قوس و حوضچه مذاب را از تماس با هوا محافظت می نماید. این نوع

الکترودها برای جوشکاری در هر وضع، بخصوص مواردی که نفوذ زیاد مورد نظر باشد، مناسب است.

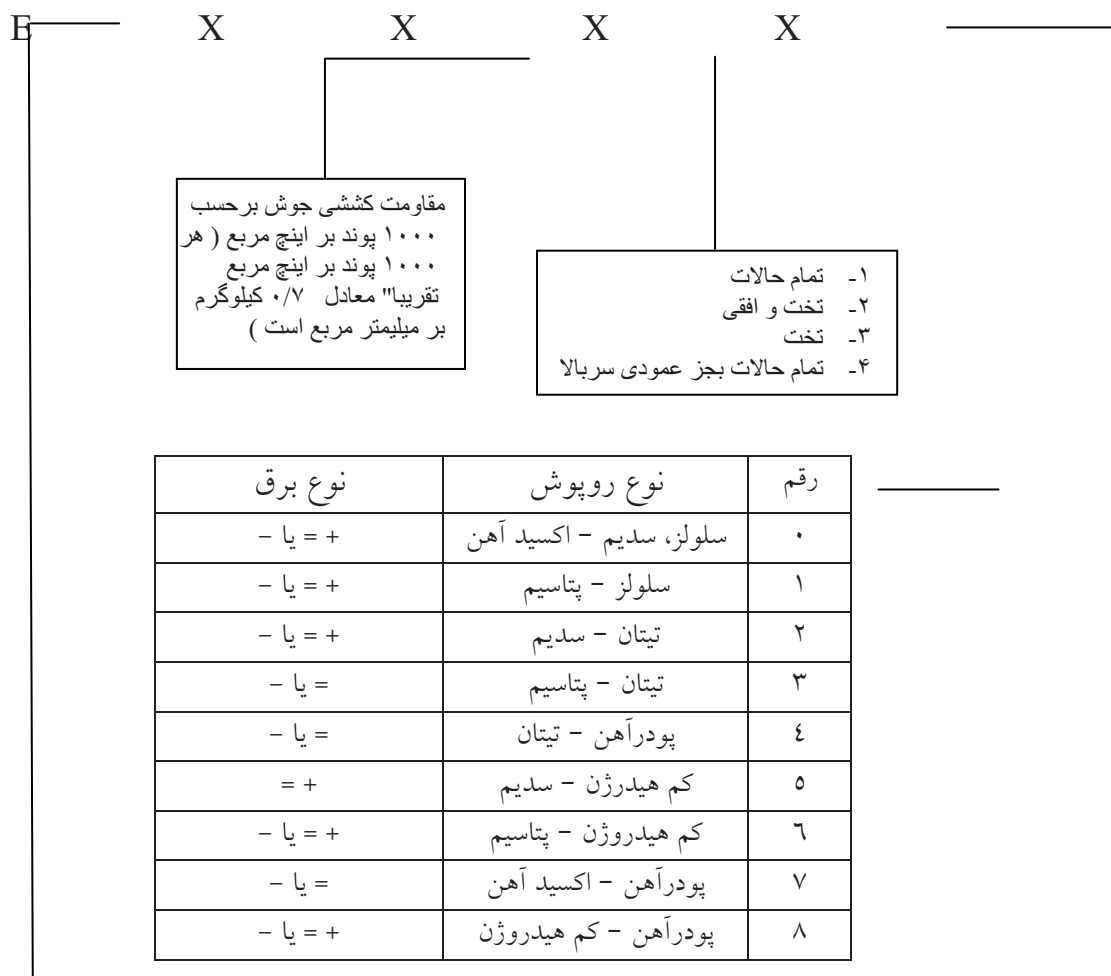
ج : **روکشهای اکسیدی** : مقدار زیادی از پوشش این نوع الکترودها از اکسید آهن سیلیس و سیلیکاتهای طبیعی تشکیل شده است که بعلت تولید سرباره مقدار نفوذ و استحکام کمتری نسبت به جوش حاصل از الکترودهای دیگر دارد ولی سطح جوش صاف و پخ می باشد. جوش گوشه با این نوع الکتروود نیز شکل خوبی بخود می گیرد.

د : **روکشهای قلیائی** : پوشش الکتروود شامل مقدار قابل ملاحظه ای کربنات کلسیم و فلوراید و آهک و فلوراسپار می باشد. بعلت تولید فلز جوش با هیدروژن کم برای جوشکاری فولادهای کم آلیاژی که در مقابل ترک برداشتن منطقه مجاور جوش حساس هستند بسیار مناسب می باشد، با این نوع الکتروود نوار جوش با بافت ریز و قابلیت انعطاف زیاد بدست می آید.

ه : **روکشهای اسیدی** : پوشش این نوع الکتروود از اکسیدها و کربناتهای منگنز و آهن و مقداری سیلیسیم تشکیل شده است . این پوشش، نوعی سرباره پرحجم و روان تولید می کند که در نتیجه آن؛ جوش دارای ظاهر بسیار صاف و تمیزی خواهد شد. از این نوع الکتروود می توان برای هر نوع جوش و در هر وضعیت استفاده کرد.

طبقه بندی الکترودهای پوشش دار به روش ASTM (که همان طبقه بندی A.W.S می باشد)

در این روش ، شماره گذاری الکتروده را با حرف E و چهار یا پنج رقم که در سمت راست حرف مزبور قرار می گیرد نشان می دهند، وقتی تعداد ارقام چهار باشد ، دو رقم سمت چپ و وقتی تعداد ارقام پنج باشد ، سه رقم سمت چپ حداقل تاب کششی فلز جوش و رقم بعدی، یعنی رقم ماقبل آخر وضعیت جوشکاری و بالاخره رقم آخر نوع جریان برق، کیفیت و نوع قوس و میزان نفوذ جوش را نشان می دهد.



الکتروود روپوشدار برای جوشکاری قوسی الکتریکی دستی

اگر الکتروودی با E6010 نشان داده شود مفهومی این است که :

- حداقل تاب کششی جوش ۶۰ هزار پوند بر اینچ مربع است (برابر با 4280 Kg/cm^2)
- الکتروود برای جوشکاری در هر وضعیتی مناسب است.
- الکتروود فقط با جریان دایم و قطب گرایی معکوس بطور رضایت بخش کار می کند.

جدول طبقه بندی و کاربرد اصلی الکتروودها بر اساس AWS

رده	نوع الکتروود	وضعیت جوشکاری	نوع جریان	اثر قوس نفوذ	نوع روکش	کاربردهای اصلی
نافذ و دارای مشخصات مکانیکی خوب	Exx10	تمام وضعیها	DC+	شدید	عمیق	جوش با مشخصات مکانیکی خوب حاصل می شود . که بهتر است کیفیت آن با بازرسی از طریق رادیوگرافی کنترل شود. در ساختمانها و جاهائی که جوش چند پاسه لازم است بکار می رود. مانند کشتی سازی، پل سازی، ساختمانها، لوله کشی و مخازن تحت فشار.
	EXX11	تمام وضعیها	AC DC+	شدید	عمیق	همان کاربردهای EXX10 را دارد با این تفاوت که با جریان متناوب و جریان مستقیم بکار برده میشود. مقاومت کششی و حد ارتجاعی آن اندکی بیشتر است.
در جوشکاری تولیدی کاربرد دارد	EXX12	تمام وضعیها	DC- AC	آرام	متوسط	برای جوشهای یک پاسه، سرعت زیاد، جریان زیاد و جوش گوشه افقی توصیه میشود. در جوش گوشه و جوش شیار، زمانی که درزها خوب جفت و جور (Fitup) نشده و دامنه تغییرات جریان زیاد می باشد استفاده از این الکتروودها آسان و مفید است. نفوذ این الکتروودها کمتر است. اما با یک پاس می تواند شرایط مورد نظر در بازرسی از طریق رادیوگرافی را تأمین نماید.
	EXX24	H.F.F (جوش گوشه افقی در وضعیت تخت)	AC DC	آرام	کم	روکش پودر - آهن می باشد. پودر آهن موجود در روکش الکتروود موجب می شود که سرعت ریختن فلز مذاب در درز نسبت به الکتروود EXX12 بیشتر باشد. کاربرد این الکتروودها آسان و ظاهر جوش خوب است. لازم است جفت و جور کردن درز نسبت به EXX12 بهتر انجام بگیرد ولی همان کاربرد را دارد.
کم نفوذ	EXX13	تمام وضعیها	AC DC	ملایم	متوسط	کاربرد این الکتروودها در جوش گوشه و جوش شیار، زمانی که درزها خوب جفت و جور نشده و دامنه تغییرات جریان زیاد

پتاسیمی میباشد، آسان و مفید است. این الکتروودها برای ورقهای کم ضخامت طراحی شده اند، اما می توان از آنها به جای یک الکتروود

کم نفوذ در کارهای دیگر نیز استفاده کرد. با وجود اینکه نوار جوش پهنی تولید می کند، غالباً در جوشهای قائم سرپائین مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین برای کارکردن با ترانسفورماتورهای جریان متناوب و با ولتاژ کم مناسب است.						
کاربرد نظیر EXX13 را دارد با این تفاوت که سرعت ریختن فلز مذاب آن بیشتر است و همچنین سرعت ریختن فلز مذاب در این الکتروود کمتر از EXX24 و EXX27 است. در شرایط یکسان EXX13 و EXX14 سرعت جوشکاری یکسانی دارند. ظاهر جوش حاصل خوب بوده و کاربرد آن آسان است.	روتیلی - پودر آهن	متوسط	ملایم	AC DC	تمام وضعيتها	EXX14

ادامه جدول طبقه بندی و کاربرد اصلی الکتروودها بر اساس AWS

رده	نوع الکتروود	وضعیت جوشکاری	نوع جریان	اثر قوس	نفوذ	نوع روکش	کاربردهای اصلی
کم هیدروژن مخصوص جوشکاری فلزات پرکربن	EXX15	تمام وضعيتها	DC+	آرام	متوسط	کم هیدروژن سدیمی	خواص فیزیکی خوبی دارند و بهتر است در بازرسی از روش اشعه X استفاده کرد. الکتروود کم هیدروژن در مورد فلزات پرکربن و کم آلیاژ که جوشکاری آنها معمولاً با مشکل مواجه است بکار برده می شود. با استفاده از این الکتروودها، پیش گرمایش و اصلاح حرارتی بعد از جوشکاری حذف شده یا تقلیل می یابد اگر روکش الکتروود مرطوب باشد نتیجه خوبی نمیدهد. الکتروودها باید قبل از مصرف مطابق دستورات سازنده گرم شود.
کم آلیاژ	EXX16	تمام وضعيتها	AC DC+	آرام	متوسط	کم هیدروژن سدیمی	کاربرد نظیر الکتروود EXX15 را دارد با این تفاوت که هم با برق متناوب و هم با جریان مستقیم می توان بکار برد.
	EXX18	جوش گوشه افقی - وضعیت تخت	AC DC-	آرام	متوسط	پودر آهن - کم هیدروژن	روکش این الکتروودها دارای ۳۰٪ پودر آهن از نوع تیتانی است. این الکتروودها شبیه EXX15 می باشد ولی سرعت ریختن فلز مذاب در درز جوش بیشتر از EXX15 می باشد. جوش را با ظاهر خوب تولید می کند و سرباره تخت جوش بهتر جدا می شود و شدت جریان مورد استفاده بیشتر از EXX16 است.
	EXX25	جوش گوشه افقی - وضعیت تخت	DC- AC	آرام	متوسط		روکش این الکتروودها دارای ۵۰٪ پودر آهن است و از نوع آهنی است. در این طبقه الکتروودهای کم هیدروژن دارای بیشترین مقدار ریختن فلز مذاب است. این الکتروودها قوس پایدار همراه با رشته جوش پهن و صافی تولید می کند و فقط در حالت تخت جوش گوشه بکار برده می شود.

مخصوص درزهای عمیق و مقاطع سنگین	EXX20	جوش گوشه افقی - وضعیت تخت	DC- AC	آرام	متوسط	اکسید آهن	این الکترودها برای جوشکاریهای تولیدی و مقاطع و قطعات سنگین نظیر مخازن تحت فشار، شاسی ماشین آلات سنگین و قسمت‌های سنگین ساختمانها ساخته شده است. این الکترودها فقط در وضع تخت جوش گوشه افقی قابل استفاده است. و وقتی احتیاج به جوش گوشه با بعد زیاد باشد مورد استفاده قرار می گیرد. کیفیت جوش حاصل از این الکترودها خوب است.
	EXX27	جوش گوشه افقی - وضعیت تخت	DC- AC	آرام	متوسط	پودر آهن- اکسید آهن	سرعت جوشکاری با این الکترودها بیش از سرعت کار با الکترودهای EXX20 می باشد. این الکترودها مناسبترین الکترودها برای جوشکاری پائین دست درزهای عمیق است.
	EXX30	تخت	DC- AC	آرام	متوسط		سرعت جوشکاری بیشتر از EXX20 می باشد. برای جوشکاری ورقهای سنگین در حالت تخت بکار میرود، و دوباره آنها کند و روانتر از الکترودها EXX20 است.

طبقه بندی پودر جوشکاری

پودر جوشکاری بر اساس خواص مکانیکی فلز جوش حاصل از مصرف پودر با هریک از سیم جوشهای مربوطه طبقه بندی میشود.

اول - پیشوند F معرف پودر جوشکاری

دوم - یک رقم معرف حداقل مقاومت کششی بر حسب ۱۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع (مثلاً ۶ یعنی ۶۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع و ۷ یعنی ۷۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع)

سوم - حرف Z یا یک رقم ۰، ۲، ۴ یا ۶ معرف درجه حرارت آزمایش برای بدست آوردن مقاومت ضربه ای ۲۰ فوت پوند یا ۲۷ ژول

Z - بدون خواسته های ضربه ای

۰ - منهای صفر درجه فارنهایت (منهای ۱۸ درجه سانتیگراد)

۲ - منهای ۲۰ درجه فارنهایت (منهای ۲۹ درجه سانتیگراد)

۴ - منهای ۴۰ درجه فارنهایت (منهای ۴۰ درجه سانتیگراد)

۶ - منهای ۶۰ درجه فارنهایت (منهای ۵۱ درجه سانتیگراد)

طبقه بندی کلی سیم جوش پودر جوشکاری

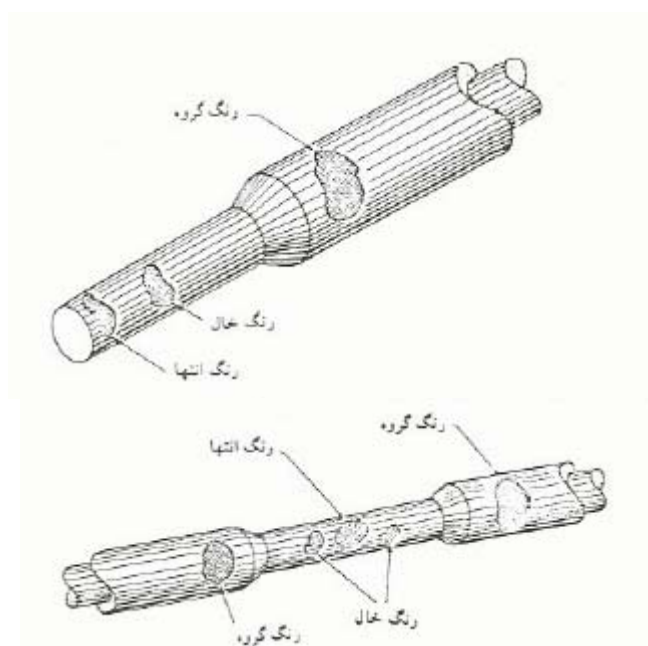
برای طبقه بندی کلی ابتدا طبقه بندی پودر جوشکاری از سمت چپ شروع می شود سپس با یک خط فاصله طبقه بندی سیم جوشی که با آن مشخصات مکانیکی نشان داده شده بدست می آید، نوشته می شود.

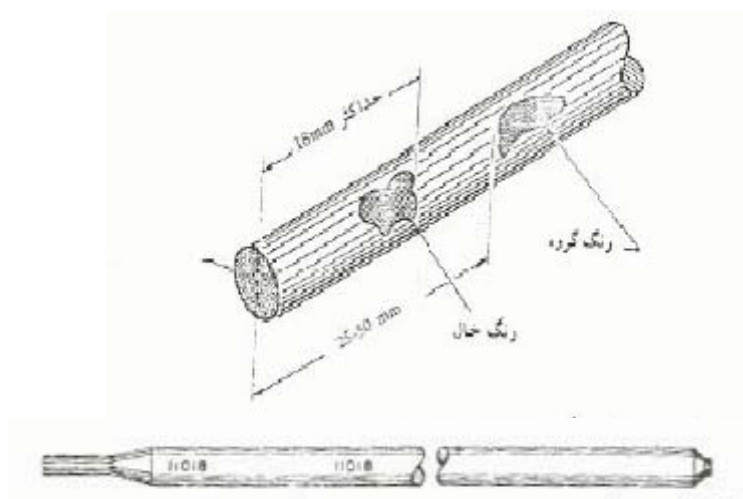
چ) اگر پسوند N به مشخصه طبقه بندی اضافه گردد بمعنی مناسب بودن سیم جوش برای کاربردهای هسته ای است.

(برای کاربردهای هسته ای درصد گوگرد، فسفر، واتادیوم و مس در فلز جوش بایستی محدود باشد تا بتواند در مقابل شکنندگی ناشی از تشعشع مقاومت نماید. بنابراین سیم جوشهای درجه N نبایستی روکش مسی یا مواد مس دار داشته باشند).
طبقه بندی سیم جوش های همراه ترکیب شیمیائی آنها در جدول (۱) درج گردیده است.

شناسائی الکترودها

دو سیستم اصلی برای شناسائی الکترودهای فولادی در صنعت جوشکاری به کار می رود. اولین سیستم شناسائی رنگ برای هر دو نوع الکتروود روکش دار و بدون روکش است. این طریقه شناسائی توسط انجمن ملی سازندگان الکتریکی (NEMA) و موسسه جوشکاری آمریکا (AWS) گسترش یافته است. سیستم دوم شناسائی الکتروود فقط برای الکترودهای روکش دار جوشکاری قوسی بکار می رود. این روش مستلزم مهر زدن یا حک کردن شماره طبقه بندی الکتروود بر روی پوشش آن می باشد.





پوشش الکترودها

پوشش الکترود یا پودر جوشکاری در جوش زیرپودری دارای چندین نقش اساسی است که بشرح ذیل بیان می شود:

- الف : پایدار کننده قوس می باشد که عمل جوشکاری را آسانتر می کند.
- ب : موقع جوشکاری یک فضای گازی شکل در محل جوش بوجود میآورد و حوضچه جوش را از ناخالصیها و تماس با هوا محافظت می کند.
- ج : پوشش الکترود به صورت سرباره روی نوار جوش می نشیند و از انجماد و سرد شدن سریع فلز پس از انجماد جلوگیری کرده و بدین ترتیب کیفیت آن را بهبود می بخشد.

د : روکش الکتروود در حد وسیعی ترکیب فلز جوش را تنظیم می کند خواه از طریق حفظ ترکیب اصلی مفتول فلزی الکتروود یا با اضافه کردن عناصر دیگر . در این روش عناصر آلیاژی به فلز جوش اضافه شده و یا عناصر قبلی اصلاح می شوند.

مقایسه الکتروودهای بدون روکش (لخت) و روکش دار

در سالهای نه چندان دور، الکتروودهای بدون روکش بطور وسیعی در جوشکاری قوسی به کار می رفتند. حاصل کار، ظاهر ناخوشایندی بود. با وجود داشتن مقاومت کششی رضایتبخش، شکل پذیری آنها پائین و مقاومتهای در برابر بارهای خستگی و بارهای ضربه ای کم بود. استفاده از الکتروودهای روکش دار، باعث غلبه بر عیوب الکتروودهای بدون روکش گردید. وجود روکش در روی مفتول فولادی الکتروود، قوس الکتریکی و فلز جوش را در حین عملیات جوشکاری از مرحله ذوب تا انجماد از هوای اطراف محافظت کرده و حاصل این محافظت، ترکیب فلز جوشی است که دارای خواص قابل مقایسه با فلز پایه می باشد. امروزه الکتروود لخت فقط در جوش زیرپودری و یا تحت محافظت گاز مورد استفاده قرار میگیرد.

انتخاب نوع الکتروود و پارامترهای جوشکاری

در بعضی مواقع برای جوشکاری از چند نوع الکتروود میتوان استفاده کرد. عواملی که در انتخاب نوع الکتروود موثرند عبارتند از :

الف - ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی فلز مورد نظر: الکتروود باید با فلز مبنا (قطعه کار) سازگار باشد. بدین معنی که ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی الکتروود باید با ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی فلز مبنا مطابقت داشته باشد.

ب - کیفیت محل جوش : چنانچه فاصله ریشه درز اتصال باز باشد باید از الکترودی که سرباره پر حجم تولید می کند استفاده کرد تا جلو سرد شدن سریع فلز جوش را بگیرد. برای درزهائی که باریک می باشد باید از الکترودی که فلز مذاب حاصل از آن روان باشد و بتواند درز باریک را پر کند، استفاده نمود.

ج - وضعیت جوشکاری : در جوشکاری حالت قائم و بالاسری که لازم است فلز جوش سریعاً خود را بگیرد ، باید از الکترودهای مخصوص این حالتها استفاده کرد.

د - شرایط کاربردی : در بعضی مواقع استحکام زیاد جوش و یا استحکام ضربه ای بالا در دمای زیر صفر مورد نظر است. بنابراین ؛ نوع الکتروود مصرفی با مواردی که فقط ظاهر تمیز و صاف مورد انتظار است، متفاوت می باشد.

ه - میزان نفوذ جوش : بعضی از الکترودها قابلیت نفوذ زیادی دارند و میتوان ورقهای به ضخامت ۱۴ تا ۱۶ میلیمتر را بدون آمادگی درز، جوشکاری نمود. روکش این نوع الکترودها بسیار ضخیم بوده و ممکن است اسیدی یا روتیلی با کمی مواد سلولزی باشد. ضخامت زیاد روکش اجازه استفاده از شدت جریانهای زیاد را می دهد. بهتر است استفاده از این نوع الکترودها به جوشکاری فولادهای نرم و فولادهای با جوش پذیری کامل محدود گردد.

و - مهارت جوشکار : کارکردن با بعضی از الکترودها نیاز به مهارت بیشتری ، جهت ثابت نگه داشتن قوس دارد. یکی از عوامل بسیار موثر در کیفیت و ظاهر جوش ، مهارت در جوشکاری است.

ز - زمان و هزینه جوشکاری : الکتروود باید از نظر اقتصادی نیز قابل قبول باشد. در انتخاب الکتروود باید از الکترودی که بتواند در حداقل زمان درز مشخصی را پر نماید استفاده کرد، چرا که زمان زیادی، موجب بیشتر شدن هزینه جوشکاری می شود.

انتخاب قطر الکتروود

انتخاب قطر الکتروود به عوامل زیر بستگی دارد:

الف : ضخامت ورق : برای جوشکاری ورقهای ضخیمتر الکتروود با قطر بیشتری لازم است . بطور کلی نباید از الکتروودی که اندازه قطر آن بزرگتر از ضخامت قطعه کار است استفاده کرد.

ب : مهارت جوشکار : هنگام استفاده از الکتروود با قطر بیشتر به منظور حرکت دادن الکتروود و مهار کردن حوضچه جوش باید از جوشکار با مهارت زیاد استفاده کرد.

- ج : حالت جوشکاری : در وضعیت جوشکاری قاتم و بالاسری، الکتروود ضخیم مناسب نیست. بزرگترین قطر الکتروود بدلیل اثر نیروی ثقل در این حالتها ۵ می باشد.
- د : بعد جوش : تناسب بین بعد جوش و قطر الکتروود باید طوری باشد که جوشکاری بتواند با بیشترین سرعت ممکن و کمترین دفعات تعویض الکتروود، جوشکاری مطلوبی را انجام دهد.
- ه : نوع آمادگی درز : در مورد جوشکاری ورقهای ضخیم یا درزهای آماده سازی شده V یا جناغی و K، قطر الکتروود به لحاظ رسیدن به عمق درز محدود می شود.
- حداکثر قطر الکتروود برای اولین پاس درزهای لب به لب پنج میلیمتر است ولی برای جوش گوشه از این لحاظ هیچ محدودیتی وجود ندارد.

انتخاب نوع جریان

نوع و شدت جریان به نوع الکتروود، نوع قطعات مورد اتصال و ضخامت آنها بستگی دارد . با جریان دایم امکان تغییر قطب گرایی وجود دارد و استفاده از انواع الکتروودها امکان پذیر است زیرا می توان قطب گرایی را با توجه به کیفیت مورد نظر تغییر داد. قوس حاصل از جریان دایم پایدارتر از قوس حاصل از جریان متناوب بوده و در نتیجه بعضی الکتروودها مانند الکتروودهای کم هیدروژن فقط با جریان دائم قابل استفاده اند. در ضمن چون قوس الکتریکی با جریان متناوب را با شدت جریان و ولتاژ کم مشکل میتوان حفظ کرد، برای جوشکاری ورقهای نازک کاربرد با جریان دایم مناسبتر است. در جریان متناوب ، قطعه کار مغناطیسی نمیشود، زیرا جهت جریان ۵۰ سیکل (صد مرتبه) در هر دقیقه عوض می شود و در نتیجه جهت میدان مغناطیسی حاصل از آن مرتباً در تغییر است. به این ترتیب، خطر انحراف قوس بوجود نمی آید، در حالی که موقع استفاده جریان دایم این مسئله وجود داشته است. با توجه به این نکته که با جریان متناوب می توان از الکتروود با قطر بزرگتر و شدت جریان بیشتر استفاده نمود. برای استفاده از الکتروودهای با بازده زیاد که روکش آنها گرد آهن دارد و باید با شدت جریان بالا مورد استفاده قرار گیرند، جریان متناوب می تواند جوابگو باشد.

انتخاب شدت جریان ، ولتاژ ، طول قوس و سرعت حرکت الکتروود

عوامل متعددی روی شدت جریان و ولتاژ موثرند که مهمترین آنها شامل وضعیت جوشکاری، قطر الکتروود، نوع روکش و ضخامت قطعه کار می باشد، اما نمی توان حدود دقیقی برای آنها معین کرد.

برای تقریب اولیه می توان با توجه به ضخامت قطعه کار، آمپر و الکتروود با قطر مناسب را در وضعیت تخت از جدول زیر انتخاب کرد.

تناسب تقریبی شدت جریان با قطر الکتروود و ضخامت ورق در وضعیت تخت

ولتاژ تقریبی (V)	شدت جریان (A)	ضخامت ورق (mm)	قطر الکتروود (mm)
۱۷-۱۵	۱۰۰-۶۰	۴-۲	۳/۲۵-۲/۲۵
۲۰-۱۷	۱۵۰-۱۰۰	۶-۴	۴-۳/۲۵
۲۲-۲۰	۲۰۰-۱۵۰	۱۰-۶	۵-۴
۲۲	۴۰۰-۲۰۰	بزرگتر از ۱۰	۶-۵

با توجه به وضعیت جوشکاری، در مقدار شدت جریان محدودیت نیز وجود دارد، زیرا در وضعیتهای غیر از حالت تخت، شدت جریان زیاد موجب مشکلات قابل توجهی مانند سیلان فلز مذاب جوش به اطراف می شود و در نتیجه جوش با ظاهر بد بوجود می آید. بنابراین، مقدار حداکثر جریان با توجه به وضعیت جوشکاری مطابق جدول زیر در نظر گرفته می شود:

مقدار حداکثر جریان با توجه به وضعیت جوشکاری

وضعیت جوشکاری	حد اکثر شدت جریان
حالت تخت	۲۵۰ آمپر
حالت افقی	۲۰۰ آمپر
حالت قائم	۱۶۰ آمپر
حالت بالاسری	۱۵۰ آمپر

با توجه به مقادیر ذکر شده جهت جوش کاری در سه وضعیت افقی ، قائم و بالاسری باید از الکتروودهای با

قطر کوچکتر استفاده شود. این امر موجب می شود تا تعداد پاسهای تولید جوش با بعد معین در وضعیتهای مختلف متفاوت باشد. مثلاً در وضعیت تخت با جریان ۳۰۰ آمپر، جوشی با طول ساق ۱۰ میلیمتر را با یک پاس

می توان انجام داد ولی در وضعیتهای دیگر می توان با چندین پاس جوشی با مشخصات مذکور را به وجود آورد.

با توجه به جداول (۱-۳) و (۱-۴) نوع الکتروود، شدت جریان، ولتاژ و تعداد پاسهای لازم را می توان انتخاب کرد.

بعد از اتمام یک پاس جوش، جهت انجام دادن پاس بعدی باید گل جوش پاس قبلی کاملاً کنده شود تا سطح فلز

جوش قبلی نمایان شده و سپس جوشکاری پاس جدید روی فلز جوش پاس قبلی انجام شود.

آثار هریک از پارامترهای موثر بر خواص فیزیکی و ظاهر جوش به شرح زیر است:

• شدت جریان

شدت جریان زیاد ذوب کامل به همراه دارد، ولی موجب ترشح زیاد ذرات و در بعضی مواقع موجب سوراخ

شدن و سوختن محل جوشکاری می شود. از طرفی شدت جریان کم باعث نقص نفوذ، آمیزش و گرده جوش بی قاعده می شود.

• ولتاژ

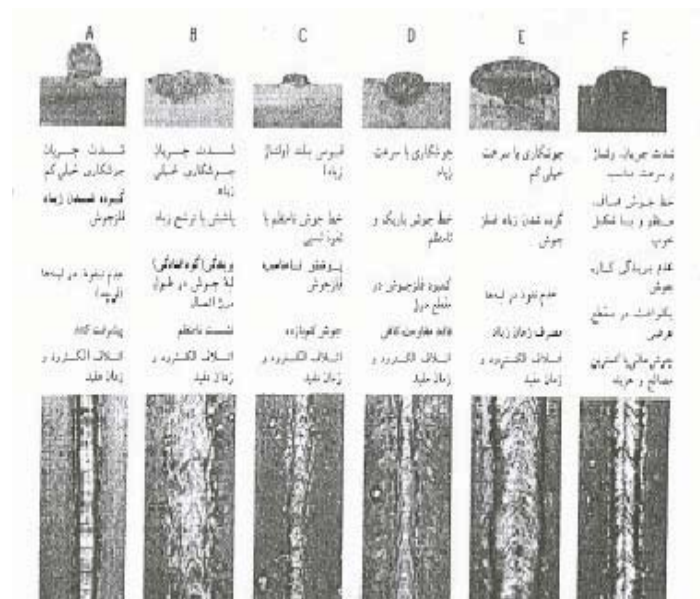
ولتاژ زیاد از حد باعث ایجاد ترشح ذرات و جذب زیاد نیتروژن و موجب به وجود آمدن خلل و فرج در جوش میشود. از طرف دیگر، ولتاژ کمتر موجب ایجاد گرده جوش بی قاعده، نقص نفوذ و محبوس شدن سرباره زیاد در جوش می شود.

• سرعت حرکت الکتروود

سرعت حرکت زیاد الکتروود باعث تولید گرده جوش باریک و لاغر واحتمالا موجب سوختگی کناره در لبه جوش می شود و سرعت کم موجب می شود که حوضچه جوش بزرگی به وجود آمده و در نتیجه سبب سررفتن جوش شود .

• طول قوس

فاصله نوک الکتروود تا حوضچه جوش را طول قوس الکتریکی می گویند. پس از برقرار شدن قوس الکتریکی باید جوشکار سعی کند که این فاصله را در حد مناسبی حفظ کند. فاصله بیش از حد نوک الکتروود از موضع جوش باعث می شود تا ذرات فلز جوش قبل از اینکه به محل جوش برسد سرد شده و موجب به وجود آمدن جوش غیر یکنواخت و آمیزش ناقص و تداخل گازهای هیدروژن و اکسیژن و نیتروژن در جوش و ترشح و پایین آمدن کیفیت جوش شود. طول قوس بهتر است به اندازه نصف قطر الکتروود نگه داشته شود و نباید بیشتر از قطر الکتروود باشد .



آزمایش الکتروود

در این مطالب الکتروودهای خاصی مورد نظر نبوده و اعداد مورد قبول برای آن الکتروودها داده نشده تا بتوان از این مطالب برای الکتروودهای گوناگون کشورهای مختلف که برای جوشکاری قوسی دستی فولادهای ساده ساختمانی تهیه و عرضه می شوند، استفاده نمود.

بازدید ظاهری روپوش

- روپوش الکتروود بایستی محکم ، بادوام ، بدون ترک و یکنواخت باشد.
- در بازدید ظاهری موارد ذیل مورد توجه قرار میگیرد:
- الف - لخت بودن الکتروود روپوشدار تا قطر ۶ میلیمتر تا نیم قطر و برای الکتروود بزرگتر تا ۳ میلیمتر از سر الکتروود مجاز است.
- ب - برجستگی ها و سوراخهای تکی باندازه تا یک چهارم ضخامت روپوش مجاز است.
- ج - فرورفتگی ناحیه ای نبایستی تعدادشان بیش از سه و طولشان بیش از ۲ میلیمتر و عمقشان بیش از نصف ضخامت روپوش باشد.
- د - منفذها نبایستی تعدادشان بیش از سه عدد در هر ۱۰۰ میلیمتر طول روپوش بوده و قطر هر منفذ بیش از ۲ میلیمتر و عمق آن نصف ضخامت روپوش بیشتر باشد.
- ه - روپوش نبایستی بیش از ۲ ترک موئی و بطول بیشتر از ۱۲ میلیمتر داشته باشد.

استحکام روپوش

- طبق استاندارد روسی برای پی بردن به استحکام الکتروود آزمایش زیر را انجام می دهند.
- الف - الکتروودهای تا قطر ۳ میلیمتر را از فاصله یک متری آزادانه و بطور افقی برروی صفحه فولادی رها می کنند.
- ب - الکتروودهای قطر بزرگتر از ۳ میلیمتر را از فاصله نیم متری آزادانه و بطور افقی برروی صفحه فولادی رها می کنند.
- روپوش این الکتروود نبایستی در این سقوط آسیب ببیند.

تبصره : جدا شدن ناحیه ای روپوش که طول آن از ۲۰ میلیمتر تجاوز نکند اشکالی ندارد.

مقاومت روپوش در مقابل رطوبت

روپوش الکتروود بایستی در مقابل رطوبت مقاومت کند و پس از آنکه بمدت ۲۴ ساعت در آب ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتیگراد قرار گرفت علامت خرابی در آن پدیدار نگردد و چسبندگی خود را از دست ندهد. تبصره : ساختن الکتروود با روپوشی که در مقابل گرما مقاوم نباشد مجاز بوده و در اینصورت بایستی در پروانه الکتروود ذکر شود.

هم مرکز بودن روپوش

روپوش الکتروود بایستی با میله الکتروود هم مرکز باشد و بطور یکنواخت میله را پوشانده باشد. اختلاف ضخامت روپوش $e = S_1 - S_0$ نسبت به قطر میله الکتروود نبایستی از مندرجات جدول ۱۶ تجاوز نماید.

جدول ۱۶- اختلاف ضخامت مجاز

قطر میله الکتروود میلیمتر	اختلاف مجاز ضخامت روپوش میلیمتر $e = S_1 - S_0$
۱/۶	۰/۰۵
۲	۰/۰۸
۲/۵	۰/۱۰
۳	۰/۱۵
۴	۰/۲۰
۵	۰/۲۵
۶	۰/۳۰

برای تعیین یکنواختی ضخامت روپوش بایستی در سه محل که نسبت بهم تحت زاویه ۱۲۰ درجه قرار داشته و فاصله ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر از هم باشند، ضخامت روپوش اندازه گیری شود. ضخامت روپوش بایستی با میکرومتر و با دقت ۰/۰۱ میلیمتر کنترل شود. کنترل هم مرکز نبودن روپوش را می توان با دستگاههای مخصوص (مغناطیسی و غیره) بدون تخریب روپوش انجام داد.

کیفیت اجرای جوشکاری

جوشکاری الکتروود بایستی خصوصیات ذیل را داشته باشد:

- الف - قوس بایستی باسانی روشن شده و پایدار باشد. نوع جریان برق و شدت جریان جوشکاری طبق توصیه سازنده الکتروود انتخاب شود.
- ب - روپوش بایستی بطور مناسب با میله مغزه ذوب شده تا در انتهای الکتروود، روپوش بصورت لوله یا شاخک باقی نمانده و مانع ذوب مداوم الکتروود نشود.
- ج - روی گرده جوش بایستی سرباره محافظ تشکیل شود که پس از سرد شدن براحتی برداشته شود.
- د - فلز درز جوش و فلز مبنا نبایستی ترک داشته باشد.

نمونه برداری

الکترودهائی که دارای نوع و قطر یکسان بوده و روش ساخت واحدی داشته و یک جا عرضه می شوند (پارتی) نام دارند.

برای الکترودهای جوشکاری فولادهای ساختمانی و مقاوم حرارت حداکثر وزن پارتی ۲۰ تن و برای الکترودهای جوشکاری فولادهای عالی حداکثر وزن هر پارتی ۵ تن می باشد.

بازدید ظاهری و اندازه گیری بایستی با برداشتن تا ۵/۰ درصد الکترودها از محلهای مختلف هر پارتی (که از ۱۰ عدد الکتروود کمتر نباشد) و بررسی آنها صورت پذیرد.

بازدید ظاهری الکتروودها بدون استفاده از وسائل بزرگ نما انجام می شود.

از هر تن الکتروود حداقل ۳ الکتروود برای هر یک از موارد کنترل ظاهری (استحکام روپوش، وضعیت ظاهری، مقاومت در مقابل رطوبت و هم مرکز نبودن) انتخاب می شود.

برای کنترل کیفیت جوشکاری و آزمایشات مکانیکی و غیره به تعداد لازم نسبت به قطر الکتروود و حجم آزمایش نمونه گیری انجام می شود.

جوشکاری یک بار از اول پلیت بطرف آخر و بار دیگر از آخر پلیت به اول و بالعکس بطور متناوب صورت می گیرد.

ضخامت هر لایه از جوش نبایستی از ۲ میلیمتر کمتر و از ۴ میلیمتر بیشتر باشد.

در فاصله بین جوشکاری دو لایه نمونه در هوای آرام رها می شود تا به درجه حرارت ۲۵۰ درجه سانتیگراد خنک شود. درجه حرار روی سطح وسط درز جوش بوسیله پیرومتر یا وسائل مناسب دیگر کنترل می شود.

بعد از اتمام جوشکاری مجموعه آزمایش هیچگونه عملیات حرارتی لازم ندارد و بایستی در هوای آرام خنک شود.

درجه حرارت پلیت مبنا و تسمه زیر سری هنگام شروع جوشکاری لایه اول ۱۰ تا ۳۰ درجه می باشد.

شش نمونه آزمایش ضربه بایستی آماده شده و میانگین این شش نمونه آزمایش جدید بایستی خواسته ها را برآورده سازد.

آزمایش درز جوش

اتصال جوش لب بلب برای هر حالت جوشکاری (مسطح، عمودی و سقفی) که الکتروود برای جوشکاری در آن حالت توصیه شده انجام می شود.

انواع پودرهای جوشکاری قوسی زیرپودری

پودرهای جوشکاری قوسی زیرپودری از ترکیبات معدنی قابل ذوب در نسبتها و مقادیر متعدد، ساخته شده اند انواع عمومی که پودرهای جوشکاری زیر پودری عبارتند از پودرهای ذوبی، چسبی و مخلوط مکانیکی که هر نوع پودر دارای بعضی خصوصیات منحصر به فردی است که برخواص مکانیکی و شیمیائی فلز جوش، اجرای جوشکاری و انتقال تغییرات محیطی اثر می گذارد.

پودرهای ذوبی از کسید فلز سیلیسیوم (Sio 2) با مقدار کمی از نمک Halide هستند که بطور کامل ذوب شده و تشکیل یک شیشه سیلیکاتی فلزی داده اند. محصول کوره پس از سرد شدن خرد شده و بصورت ذرات با اندازه مناسب برای جوشکاری در می آید.

پودرهای ذوبی را میتوان به دو دسته عمومی و فرعی تقسیم نمود:

دسته ۱- سیلیکاتهای فلزات قلیائی خاکی

دسته ۲- سیلیکاتهایی که در آن منگنز جایگزین تمامی یا قسمتی از فلزات قلیائی خاکی شده است.

پودرهای چسبی مشتملند بر مخلوطهای کامل اکسیدهای فلزات قلیائی خاکی ، منگنز ، آلومینیوم ، سیلیسیوم ، تیتانیوم یا زیرکونیوم.

این مخلوطها نیز دارای عاملهای آرام کننده یا اکسیژن گیرهائی نظیر سیلیکو منگنز، فرومنگنز، فروسیلیسیم یا آلیاژهای مشابه و مقادیر کمی از نمکهای هالوژنه هستند.

آنها همچنین ممکن است دارای عناصر آلیاژی چه بصورت عناصر فلزی یا بصورت فروآلیاژها باشند. این مواد با چسب مناسبی بیکدیگر چسبانیده شده و طوری عمل آورده شده اند که تشکیل دانه های سختی داده اند و عوامل متشکله بطور یکنواخت در آنها توزیع گردیده اند.

پودرهای مخلوط شده مکانیکی، در این زمینه؛ ممکن است مخلوطهای مکانیکی چندین پودر ذوبی یا چسبی با نسبتهای متغیر یا مخلوطهای مکانیکی مواد معدنی با تقسیمات ریز و اکسیژن گیرهای فلزی در نسبتهای لازم برای اجرای مطلوب باشند.

واکنشهای حین جوشکاری بین الکتروود، فلز مبنا و پودر موجب تغییرات در درصد کربن، منگنز و سیلیسیم فلز جوش می گردد.

تغییرات مزبور به ترکیب فلز مبنا، الکتروود و پودر و زمان ، درجه حرارت و عناصر درگیر در واکنش بستگی دارد.

تأثیر عناصر آلیاژی بر جوش زیرپودری

ترکیب شیمیائی سیم جوشهای زیر پودری ، معمولاً در درصد عناصر کربن، منگنز و سیلیسیوم با هم فرق دارند . درصدهای گوگرد و فسفر نیز ممکن است در بین حداکثر مجاز تغییر کنند.

بعلاوه، وجود عناصر ناخواسته نظیر نیکل، مس یا کرم در فولاد ، میتواند بر خواص فلز جوش و عمل جوشکاری نیز تأثیر گذارند. شدت این اثر با هر پودر و سیم جوش زیر پودری ، می تواند به گونه زیر باشد:

- ۱- افزایش درصد کربن، منگنز و سیلیسیم در سیم جوش منتج به افزایش عنصر مشابه در فلز جوش می گردد. افزایش منگنز به تنهائی در سیم جوش، بدون تأثیر اساسی بر درصد سیلیسیم ، منگنز در فلز جوش را زیاد می کند.

افزایش کربن در سیم جوش ممکن است واکنشهای منگنز - سیلیسیوم در ذوب را حین جوشکاری تسریع نماید. این واکنش به بازیافت کمتر منگنز و بازیافت بیشتر سیلیسیوم در فلز جوش منتج خواهد شد.

۲- افزایش کربن و منگنز در سیم جوش مقاومت تسلیمی و مقاومت کششی نهائی فلز جوش را افزایش می دهد. افزایش سیلیسیوم اثر کمتری دارد.

۳- عناصر ناخواسته نظیر مس ، نیکل و کرم ممکن است به مقدار قابل توجه و موثری مقاومت کششی فلز جوش را زیاد و قابلیت نرمی فلز جوش را کم نماید.

۴- سیم جوشهای دارای منگنز زیاد نظیر E114 خصوصا وقتی که با پودرهای ذوبی دسته یک بکار برده شوند، سلامت فلز جوش را با کاهش تمایل به ترک خوردن و تخلخل ترقی میدهند.

۵- سیم جوشهای دارای مقادیر زیاد سیلیسیم نظیر EM15K, EM12R, EI8K سیالیت ذوب و قابلیت ترسازي را زیاد می کنند. این موضوع به اصلاح شکل گرده ، منظم تر شدن لبه های جوش و سالمتر شدن جوش در سرعتهای جوشکاری حداکثر منتج می شود.

۶- عناصر ناخواسته نظیر مس، فسفر و وانادیوم ممکن است حساسیت رسوب جوش را به شکنندگی ناشی از تشعشع (کاهش مقاومت ضربه ای) و مقاوم کردن ناشی از تشعشع (افزایش مقاومت تسلیمی) در مقادیر قابل توجهی افزایش دهد.