واحد کار نهم

توانایی انتخاب الکترود روپوش‌دار

هدف کلی

انتخاب الکترود روپوش‌دار مناسب برای جوشکاری فلزات آهنی

هدف‌های رفتاری: فراگیر پس از گذراندن این واحد کار باید بتواند:

۱ــ الکترودهای روپوش‌دار را معرفی کند.

۲ــ نقش روپوش الکترود را با انجام آزمایش کارگاهی مشخص کند.

۳ــ مواد تشکیل‌دهنده‌ی روپوش الکترود را شرح دهد.

۴ ــ کلاس‌بندی الکترودهای روپوش‌دار را معرفی کند.

۵ــ الکترودها را براساس کد شماره و کد رنگی از یکدیگر تشخیص دهد.

۶ــ روش نگهداری الکترودها در انبار را توضیح دهد.

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۵	۱	۶

پیش‌آزمون (۹)

۱ــ در کدام گزینه الکترود ذوب نمی‌شود؟

الف ــ جوشکاری CO_2 ☐ ب ــ جوشکاری نقطه جوش ☐

ج ــ جوشکاری آرگن ☐ د ــ گزینه‌ی ب و ج ☐

۲ــ آیا روپوش الکترود جریان برق را هدایت می‌کند؟

بلی ☐ خیر ☐

۳ــ شکل ظاهری گرده‌جوش ماهیچه‌ای به کدام گزینه مرتبط است.

الف ــ روپوش الکترود روپوش‌دار ☐ ب ــ مغز الکترود و روپوش‌دار ☐

ج ــ مغز الکترود و روپوش الکترود و لبه‌های کار ☐ د ــ فقط قسمتی از مغز الکترود ☐

۴ــ دودی که الکترود روپوش‌دار تولید می‌کند عهده‌دار چه نقشی در جوشکاری است؟

الف ــ اکسیژن و ازت هوا را از محل ذوب دور می‌کند. ☐ ب ــ گرمای زیادی تولید می‌کند. ☐

ج ــ باعث ذوب مغز الکترود می‌شود. ☐ د ــ باعث ایجاد قوس الکتریک می‌شود. ☐

۵ــ چگونه الکترودها را از هم تمیز می‌دهند؟

الف ــ از رنگ روپوش ☐ ب ــ از روی اعداد حک شده روی آن‌ها ☐

ج ــ از روی علامت رنگی انتهای الکترود و دور روپوش ☐ د ــ گزینه‌ی ب و ج ☐

۶ــ با کدام دستگاه‌ها، از همه نوع الکترود روپوش‌دار می‌توان برای جوشکاری استفاده‌ی مطلوب کرد؟

الف ــ ترانسفورماتور و رکتیفایر ☐ ب ــ دینام جوش و رکتیفایر جوش ☐

ج ــ ترانسفورماتور و دینام جوش ☐ د ــ فقط رکتیفایر AC/DC ☐

۷ــ وقتی می‌گوییم الکترود ۳/۲۵، یا الکترود ۴ چه موضوعی به ذهن می‌رسد.

پاسخ تشریحی:

.....

.....

۸ــ در کدام وضعیت هر نوع الکترودی را می‌توان به کار برد؟

الف ــ سطحی ☐ ب ــ افقی ☐

ج ــ عمودی ☐ د ــ بالای سر ☐

۹ــ آیا جوش‌های انجام شده با انواع الکترودهای فولادی استحکام یکسان دارند؟

بلی ☐ خیر ☐

۱۰ــ برای جوشکاری قطعات ضخیم فولادی باید اول قطعه را ..... .

الف ــ سرد کرد ☐ ب ــ گرم کرد ☐

ج ــ نازک کرد ☐ د ــ عملیات خاص لازم ندارد ☐

۱ــ۹ــ معرّفی الکترودهای فولادی روپوش‌دار

الکترود یک میله‌ی فلزی یا غیرفلزی، مانند کربن است که در مدار الکتریکی قرار می‌گیرد. الکترود دو نوع است :

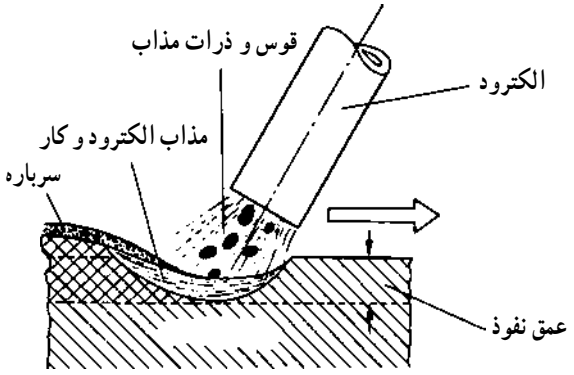
۱ــ الکترود ذوب‌شدنی (مصرفی)

۲ــ الکترود ذوب نشدنی (غیرمصرفی)

در جوشکاری از قوس الکتریکی با الکترود روپوش‌دار مغزی فلزی الکترود شکل ۱ــ۹ یعنی انتهای الکترود که بدون روپوش است، در دهانه ی انبر قرار می‌گیرد و در تماس با قطعه کار قوس الکتریکی برقرار می‌شود و روپوش الکترود در اثر گرمای قوس ایجاد شده سوخته و ذوب می‌شود و سرباره را تشکیل می‌دهد. و نقش زیادی در کمیت جوش به عهده دارد که در ادامه بحث به آن خواهیم پرداخت.

شکل ۱ــ۹ــ الکترود روپوش‌دار

مغز الکترود ضمن ایجاد قوس، خود ذوب شده و با مذاب لبه‌های کار حوضچه‌ی مذاب را به‌وجود می‌آورد و پس از انجماد، فلز جوش را تشکیل می‌دهد (شکل ۲ــ۹).

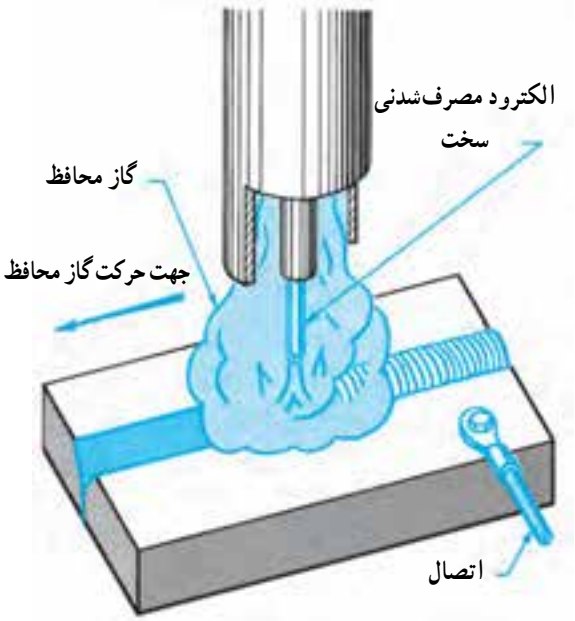


شکل ۲ــ۹ــ چگونگی تشکیل فلز جوش

۱ــ۱ــ۹ــ کاربرد الکترود مصرف‌شدنی بدون روپوش:

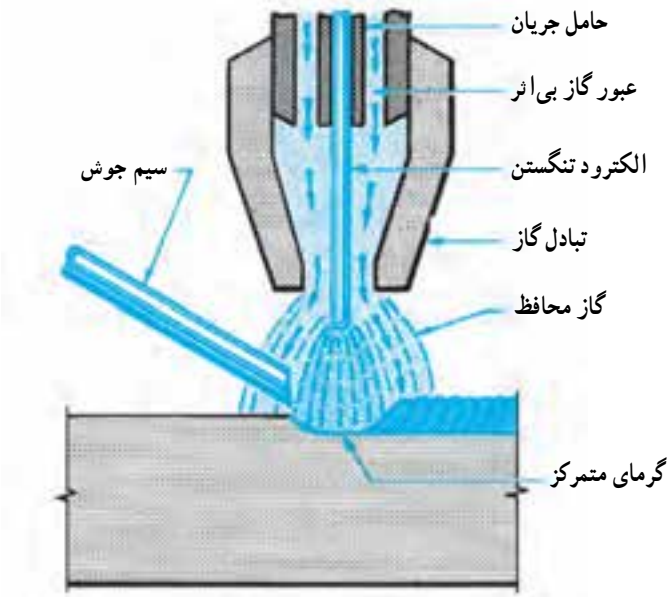
در جوشکاری قوس الکتریکی ممکن است الکترود لخت مصرف شود و به جای روپوش، از گازهای مختلف که به گاز محافظ معروف هستند استفاده کرد و نقش حفاظت از مذاب را به عهده گیرد. که به جوشکاری با الکترود مصرف شدنی و گاز محافظ معروف هستند که به آن MIG/MAG گفته می‌شود (شکل ۳ــ۹).

الکترود لخت توسط غلتک و از طریق لوله خرطومی به انبر جوشکاری هدایت شده و قوس الکتریکی ایجاد می‌کند و به تدریج ذوب می‌شود.



شکل ۳ــ۹ــ حفاظت در جوشکاری MIG/MAG با گاز عملی می‌شود.

۲ــ۱ــ۹ــ کاربرد الکترود مصرف شدنی: در جوش آرگن حفاظت از الکترود تنگستن که فقط قوس الکتریکی ایجاد می‌کند ولی مصرف نمی‌شود به عهده‌ی گاز محافظ است. همچنین گاز آرگن مذاب لبه‌های کار و مذاب سیم جوش را به عهده دارد. این فرآیند جوشکاری را TIG هم می‌گویند (شکل ۴ــ۹).



شکل ۴ــ۹ــ حفاظت در جوشکاری TIG یا جوش آرگن

۲ــ۹ــ دستورالعمل آزمایش کارگاهی نقش حفاظت در جوشکاری‌های قوس

(زمان ۱ ساعت)

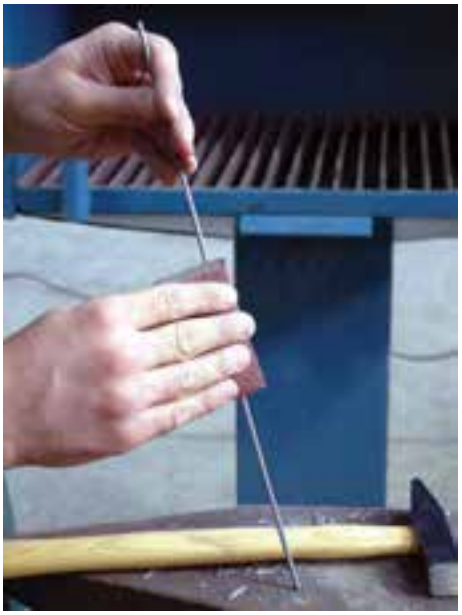
به ترتیب مراحل زیر را اجرا کنید.

۱ــ روی سندان، به وسیله‌ی چکش، روپوش یک الکترود E6013 به قطر 3/25 را بردارید (شکل ۵ــ۹).

شکل ۵ــ۹ــ حذف روپوش الکترود

۲ــ سپس با کاغذ سنباده‌ی باقی‌مانده روپوش میله‌ی مغز فلزی را پاک کنید (شکل ۶ــ۹).

چون حتی مقدار کمی از روپوش هم می‌تواند در کیفیت آزمایش مؤثر باشد (هدف استفاده از میله مغز الکترود روپوش‌دار این است که در آزمایش فقط نقش روپوش الکترود مورد ارزیابی قرار گیرد).



شکل ۶ــ۹

۳ــ چهار عدد تسمه به ابعاد $3 \times 30 \times 100$ میلی‌متر با ارّه ببرید (شکل ۷ــ۹).

نکته مهّم: برای بریدن تسمه با کمان ارّه لازم محلّ برش نزدیک گیره باشد و به تیغ‌ارّه فشار زیادی وارد نشود تا هم قطعه کار ارتعاش نداشته باشد و هم دندانه‌های تیغ ارّه سالم بماند.

شکل ۷ــ۹

۴ــ تسمه‌ها را به صورت شکل ۸ــ۹ دو به دو به هم خال جوش دهید. یکی از این دو اتصال خال جوش خورده را با الکترود روپوش‌دار در یک طرف جوشکاری کنید.

سرباره را از روی خال جوش‌ها کاملاً پاک کنید و اطراف درز دو قطعه را با برس سیمی کاملاً تمیز کنید.

شکل ۸ــ۹ــ خال جوش شده قطعات

۵ــ اتصال دوم را با استفاده از الکترود بدون روپوش و جریان DC و با آمپر بالاتر از معمول، حدود ۱۲۰ آمپر، در یک طرف جوشکاری کنید (شکل ۹ــ۹).

۶ــ سطوح هر دو جوش را با چکش جوش و برس سیمی از سرباره کاملاً تمیز کنید.

۷ــ ابزار و وسایل را جمع‌آوری و تمیز کنید و به انبار تحویل دهید.

در پایان آزمایش به سؤالات زیر پاسخ داده و در خصوص هرکدام از سؤال با هنرآموز مربوطه در این موارد تبادل‌نظر کنید.

شکل ۹ــ۹

۱ــ ایجاد قوس با الکترود سخت چگونه است؟

☐ دشوار است و خیلی مهارت می‌خواهد
☐ آسان و راحت است

۲ــ آیا قوس با الکترود بدون روپوش پایدار است یا قطع می‌شود؟

☐ پایدار است
☐ قطع می‌شود الکترود به کار می‌چسبد

۳ــ آیا در جوشکاری با الکترود سخت مذاب رقیق و روان است؟

☐ بلی
☐ خیر

۴ــ آیا مذاب به راحتی در درز جریان پیدا می‌کند؟

☐ بلی
☐ خیر

۵ــ جوشکاری با الکترود بدون روپوش چگونه است؟

☐ کنترل مذاب مشکل است
☐ کمی مشکل است

۶ــ جرقه‌های جوشکاری با الکترود بدون روپوش در مقایسه با الکترود روپوش‌دار (از نقطه نظر فراوانی ــ درشتی و ریزی) چگونه است؟

☐ زیاد و درشت‌تر است
☐ مانند الکترود روپوش‌دار است

۷ــ سطح جوش با الکترود بدون روپوش چگونه است؟ آیا گرده‌ها منظم هستند؟

☐ گرده‌ها نامنظم و برجسته است
☐ شکل ظاهری خوب است

۸ــ نفوذ جوش کم است یا زیاد؟

☐ زیاد است
☐ کم است

۹ــ آیا در سطح جوش سوراخ‌هایی هم مشاهده می‌شود؟

☐ بلی
☐ خیر

حال هر دو قطعه‌ی جوش داده شده را به گیره ببندید و مطابق شکل ۱۰ــ۹ با چکش محل جوش را بشکنید.

شکل ۱۰ــ۹

۱۰ــ کدام اتصال شکننده‌تر است؟

☐ الکترود لخت

☐ الکترود روپوش‌دار

۱۱ــ فلز جوش در کدام اتصال با قطعات کار درگیری بیشتری دارد؟

☐ الکترود لخت

☐ الکترود روپوش‌دار

موارد فوق در آزمایش کارگاهی یک مقایسه‌ی ظاهری است چنانچه بررسی از طریق دستگاه‌ها و امکانات مختلف فلزشناسی انجام شود. مشکلات و معایب جوشکاری با الکترود بدون روپوش در مقایسه با الکترود روپوش‌دار بیشتر مشخص خواهد شد. حال نقش روپوش الکترود را در چند سطر بنویسید.

پاسخ تشریحی:

.....

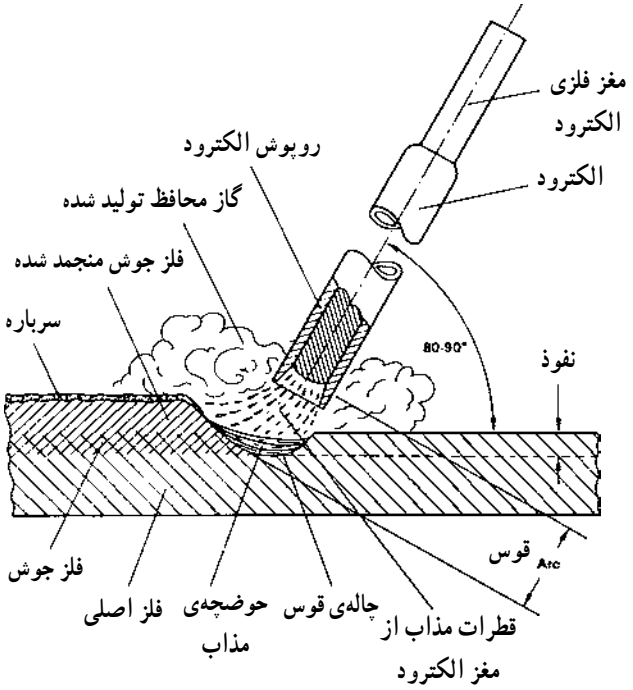
.....

.....

۳ــ۹ــ مواد تشکیل‌دهنده‌ی روپوش الکترود فولادی

بخشی از روپوش الکترود در اثر گرمای شدید قوس می‌سوزد و به صورت دود یا قشر گازی درمی‌آید که همانند یک گاز محافظ در اطراف قوس عمل می‌کند و حوضچه‌ی مذاب را از نفوذ هوا محافظت می‌کند (شکل ۱۱ــ۹).

مغز فلزی الکترود یا قسمتی از لبه‌های کار ذوب شده که پس از انجماد فلز جوش را تشکیل می‌دهد.



شکل ۱۱ــ۹ــ درصد عناصر تشکیل دهنده هوا

همان‌طور که در جدول ۱ــ۹ مشاهده می‌کنید هوا شامل اکسیژن و ازت است در صورتی‌که به منطقه‌ی قوس و حوضچه‌ی مذاب نفوذ کند با فولاد ترکیب می‌شود و جوش را شکننده‌تر و سخت می‌کند. به علاوه، این گازها می‌توان در مذاب حل شده و در جوش ایجاد مک کند.

جدول ۱ــ۹ ــ اجزای سازنده‌ی هوای کره زمین

نام	فرمول شیمیایی	درصد حجمی
اجزای اصلی		
نیتروژن	N_2	۷۸
اکسیژن	O_2	۲۱
اجزای جزئی		
آرگون	Ar	۰/۹۶
کربن‌دی‌اکسید	CO_2	۰/۰۳
اجزای ناچیز	$Ne - NH_3 -$	در مجموع
	$He - CH_4$	۰/۰۱
	$Kr - Co,...$	

۱ــ۳ــ۹ــ مواد تشکیل‌دهنده‌ی دود و گازهای محافظ:

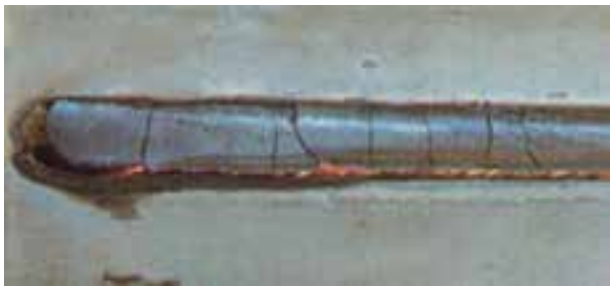
شامل موادی مانند سلولز و گرافیت است که در اثر سوختن گاز CO_2 و CO و H_2 تولید می‌کنند و یا کربنات‌های کلسیم $CaCO_3$ و کربنات‌های دیگر است که در اثر حرارت تجزیه شده و گاز CO_2 و اکسید کلسیم تولید می‌کند که با سرباره ترکیب می‌شود.

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

گاز + اکسیدکلسیم ← کربنات کلسیم

۲ــ۳ــ۹ــ موّاد تشکیل‌دهنده‌ی سرباره:

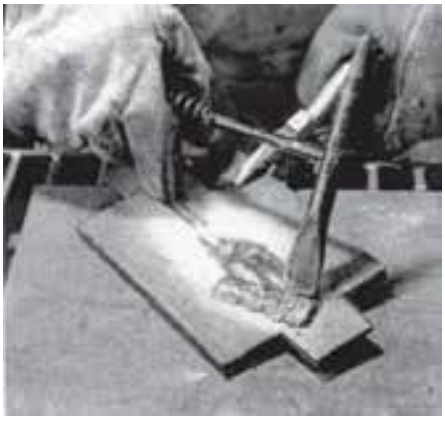
شامل سیلیس، اکسیدها، کربنات‌های فلزی و سیلیکات‌های کلسیم و منیزیم است که در موقع جوشکاری ذوب شده و دارای چگالی کمتر از مذاب بوده و روی فلز جوش را می‌پوشاند تا از تبادل حرارتی سریع فلز جوش جلوگیری کند و آهسته سرد شود تا جوش شکننده نشده و اکسید هم نشود (شکل ۱۲ــ۹).



شکل ۱۲ــ۹ــ سرباره‌ی تشکیل‌شده در خط جوش

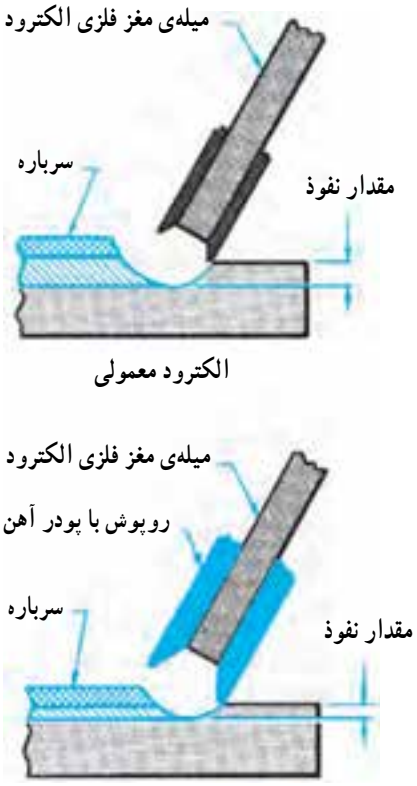
از این رو سرباره زودتر از فلز جوش منجمد شده و مانند پوسته‌ای گرده جوش را می‌پوشاند و در شکل‌گیری (برجستگی ــ فرورفتگی) و فرم خط جوش نقش زیادی ایفا می‌کند پس از سرد شدن ترد شده و به راحتی از سطح جوش جدا می‌شود.

از طرف دیگر روپوش‌ها عموماً هنگام انجماد نسبت به فلز جوش کاهش حجم بیش‌تری داشته و این موضوع نیز باعث راحت جداشدن سرباره از روی گرده جوش خواهد شد (شکل ۱۳ــ۹).



شکل ۱۳ــ۹ــ راحت جداشدن سرباره

۳ــ۳ــ۹ــ مواد دیگری هم در روپوش الکترود وجود دارد که خاصیت اکسیژن‌زدایی یا خاصیت آلیاژسازی دارند همچنین موادی از جنس مغز الکترود در روپوش وجود دارد (مثل پودر آهن) که باعث افزایش راندمان جوش می‌شود.

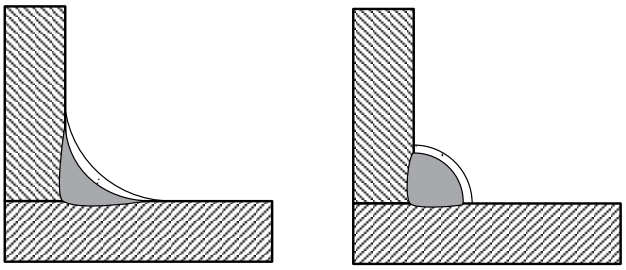


شکل ۱۴ــ۹ــ مقایسه‌ی مقدار نفوذ در الکترود محتوی پودر آهن و بدون پودر آهن

ــ مثل الکترود E1027 که بین ۴۰ تا ۵۰ درصد پودر آهن علاوه بر سایر مواد تشکیل دهنده در پوشش الکترود وجود دارد.

ــ فرم ظاهری جوش یعنی برجستگی یا فرورفتگی گرده جوش هم به عناصر موجود در روپوش الکترود بستگی دارد (شکل ۱۵ــ۹).

عناصر تشکیل‌دهنده‌ی روپوش و میزان آن‌ها برحسب درصد در روپوش و نقش آن‌ها در جدول ۲ــ۹ آمده است.



شکل ۱۵ــ۹

جدول ۲ــ۹ــ دلایل کاربرد ترکیبات مختلف روکش‌ها و مقادیر آن‌ها در الکترودهای فولادی نرم برای جوشکاری برق

ترکیبات روکش	وظایف ترکیبات		شماره‌ی استاندارد و تقسیم‌بندی روکش‌های الکترود برحسب مقدار ترکیبات (به درصد)								
	اول	دوم	E۶۰۱۰ E۶۰۱۱	E۶۰۱۲ E۶۰۱۳	E۶۰۲۰	E۶۰۲۷	E۷۰۱۴	E۷۰۱۶	E۷۰۱۸	E۷۰۲۴	E۷۰۲۸
سلولز	گاز محافظ	ــ	۲۵ــ۴۰	۲ــ۱۲	۱ــ۵	۰ــ۵	۲ــ۶	ــ	ــ	۱ــ۵	ــ
کربنات کلسیم	گاز محافظ	کمک ذوب	ــ	۵ــ	۰ــ۵	۵ــ؟	۰ــ۵	؟ــ ۱۵	۱۵ــ۳۰	۰ــ۵	۰ــ۵
فلوئوزید	تشکیل تفاله	کمک ذوب	ــ	ــ	ــ	ــ	ــ	۱۵ــ۳۰	۱۵ــ۳۰	ــ	۵ــ۱۰
دولومیت	گاز محافظ	کمک ذوب	ــ	ــ	ــ	ــ	ــ	ــ	ــ	ــ	۵ــ۱۰
دی‌اکسید تیتانیوم (روتیل)	تشکیل تفاله	تثبیت کننده‌ی قوس	۱۰ــ۲۰	۳۰ــ۵۵	۰ــ۵	۰ــ۵	۲۰ــ۳۵	۱۵ــ۲۰	۰ــ۵	۲۰ــ۳۵	۱۰ــ۲۰
تیتانات پتاسیم	تثبیت کننده‌ی قوس	تشکیل تفاله	(a)	(a)	ــ	ــ	ــ	ــ	۰ــ۵	ــ	۰ــ۵
فلدسپات	تشکیل تفاله	تثبیت کننده‌ی قوس	ــ	۰ــ۲۰	۵ــ۲۰	۰ــ۵	۰ــ۵	۰ــ۵	۰ــ۵	ــ	۰ــ۵
میکا	فرم‌دهی	تثبیت کننده‌ی قوس	ــ	۰ــ۱۵	۰ــ۱۰	ــ	۰ــ۵	ــ	ــ	۰ــ۵	ــ
خاک رس	فرم‌دهی	تشکیل تفاله	ــ	۰ــ۱۰	۰ــ۵	۰ــ۵	۰ــ۵	ــ	ــ	ــ	ــ
سیلیس	تشکیل تفاله	ــ	ــ	ــ	۵ــ۲۰	ــ	ــ	ــ	ــ	ــ	ــ
پنبه‌ی نسوز یا پنبه‌ی کوهی	تشکیل تفاله	فرم‌دهی	۱۰ــ۲۰	ــ	ــ	ــ	ــ	ــ	ــ	ــ	ــ
اکسید منگنز	تشکیل تفاله	آلیاژی کردن	ــ	ــ	۰ــ۲۰	۰ــ۱۵	ــ	ــ	ــ	ــ	ــ
اکسید آهن	تشکیل تفاله	ــ	ــ	ــ	۱۵ــ۴۵	۵ــ۲۰	ــ	ــ	ــ	ــ	ــ
پودر آهن	مقدار نشست	برقراری قوس	ــ	ــ	ــ	۴۰ــ۵۵	۲۵ــ۴۰	ــ	۲۵ــ۴۰	۴۰ــ۵۵	۴۰ــ۵۵
فروسیلیسیم	احیا کننده	ــ	ــ	ــ	۰ــ۵	۰ــ۱۰	۰ــ۵	۵ــ۱۰	۵ــ۱۰	۰ــ۵	۲ــ۶
فرومنگنز	آلیاژی کردن	احیا کننده	۵ــ۱۰	۵ــ۱۰	۵ــ۲۰	۵ــ۱۰	۵ــ۱۰	۲ــ۶	۲ــ۶	۵ــ۱۰	۲ــ۶
سیلیکات سدیم	ایجاد چسبندگی	کمک ذوب	۲۰ــ۳۰	۵ــ۱۰	۵ــ۱۵	۵ــ۱۰	۰ــ۱۰	۰ــ۵	۰ــ۵	۰ــ۱۰	۰ــ۵
سیلیکات پتاسیم	تثبیت کننده‌ی قوس	ایجاد چسبندگی	(a)	۵ــ۱۵(a)	۰ــ۵	۰ــ۵	۵ــ۱۰	۵ــ۱۰	۵ــ۱۰	۰ــ۱۰	۰ــ۵

حرف (a) در الکترودهای E۶۰۱۱ و E۶۰۱۳ به کار رفته و می‌توان به وسیله‌ی جریان متناوب جوشکاری کرد.

۴ــ۳ــ۹ــ روش ساخت الکترود: برای ساخت الکترود مواد تشکیل دهنده‌ی روپوش الکترود را به صورت پودر درآورده با نسبت‌های مناسب مخلوط کرده شکل ۱۶ــ۹ با مقداری آب به صورت نم‌دار در قالب‌های استوانه‌ای شکل به صورت فشرده در می‌آورند و در دستگاه اکسترود روی میله‌ی فلزی مغز الکترود را پوشش می‌دهند و سپس آن را در تونل‌های گرم خشک می‌کنند.

شکل ۱۶ــ۹ــ پودرهای تشکیل دهنده‌ی روپوش

الکترود معمولاً در بسته‌های ۵ کیلویی به بازار عرضه می‌شود و نوع بسته‌بندی با توجه به حساسیت الکترود در مقابل رطوبت و در بعضی موارد درصد رطوبت هوا در محل کاربرد تغییر خواهد کرد (شکل ۱۷ــ۹).

الکترودهای سلولزی برای استفاده در مناطق مرطوب (بنادر) در قوطی‌های حلبی که منفذهای آن لحیم شده است به بازار عرضه می‌شود.

شکل ۱۷ــ۹ــ بسته‌بندی روپوش الکترود

۴ــ۹ــ طبقه‌بندی الکترودها از نظر نوع روپوش

روپوش الکترودها، از نظر خواص و خصوصیت نوع مواد به کار رفته در روپوش، دارای تقسیمات زیر است :

۱ــ۴ــ۹ــ الکترود سلولزی: مقدار زیادی سلولز الکترود سلولزی وجود دارد. این سلولز در موقع جوشکاری تبدیل به گاز ئیدروژن و اکسیدکربن می‌شود و به عنوان گاز محافظ، حوضچه‌ی مذاب دلتون قوس را پوشش می‌دهد. سه نوع الکترود سلولزی در جدول ۳ــ۹ آمده است.

وجود ئیدروژن در فضای قوس باعث ایجاد قوسی قوسی و یا نفوذ بیشتر جوش می‌شود، جوشکاری با این الکترود همواره با دود زیادی همراه است و سرباره‌ی کمی دارد. این الکترود جاذب الرطوبه است و در ظرف‌های مخصوص رطوبت بسته‌بندی می‌شود.

جدول ۳ــ۹ــ الکترودهای سلولزی

E6010 E6011	E4332C4 –	E433C19 –	مخصوص جوشکاری سرازیر و پاس اول ریشه با نفوذ در خط لوله و مخزن‌سازی
E7010-A1	–	–	الکترود سلولزی با مولیبدن که مصرفی مشابه مورد فوق دارد و دارای استحکام مکانیکی برتری می‌باشد.

۲ــ۴ــ۹ــ الکترود روتیلی: اکسید تیتانیوم به صورت طبیعی به نام روتیل در روپوش الکترود زیاد است که موجب آسان شدن جوشکاری و پایداری قوس می‌شود و به دلیل وجود روتیل و عناصر یونیزه کننده درروپوش جوشکاری با جریان AC هم به راحتی انجام می‌شود و امکان جوشکاری در تمام حالات امکان‌پذیر است (جدول ۴ ــ۹).

جدول ۴ــ۹ــ الکترودهای روتیلی

AWS/ASME	DIN 1913	ISO 2560	خصوصیات و موارد کاربرد
E6013	E4322 R(C)3	E432 R12	برای جوشکاری فولادهای ساختمانی، کشتی‌سازی و ریختگی در تمامی حالات.
E6013	E4322 R(C)3	E432 R12	الکترود روتیلی ــ سلولزی مناسب برای جوش سرازیر در لوله‌کشی‌های گاز ورق‌های نازک با قابلیت جوشکاری در تمام حالات.
E6013	E4321 R22	E432 R22	برای جوشکاری فولادهای ساده‌ی ساختمانی و کشتی‌سازی در تمام حالات.
E6013	E4322 R(C)3	E432 R12	برای جوشکاری فولادهای‌ساختمانی، کشتی‌سازی و ریختگی در تمام حالات.

۳ــ۴ــ۹ــ الکترود نوع قلیایی: در روپوش الکترودهای قلیایی مقدار قابل ملاحظه کربنات کلسیم و فلورید و آهک وجود دارد. این الکترود به خاطر کم‌بودن مقدار هیدروژن بهترین نوع الکترود به شمار می‌رود. الکترودهای کم ئیدروژن (Low cow Hydrogen) از این دسته‌اند و برای جوشکاری فولادهای کم‌آلیاژ، که در مقابل ترک برداشتن حساس‌اند، بسیار مناسب می‌باشند. فلزجوش دارای خواص مکانیکی خوب و در مقابل ضربه مقاوم هستند. این الکترود نم‌گیر است و باید قبل از جوشکاری به مدّت ۲ تا ۳ ساعت در کوره الکترود خشک‌کنی رطوبت آن گرفته شود (جدول ۵ــ۹).

جدول ۵ــ۹ــ الف ــ الکترودهای قلیایی

AWS/ASME	DIN 1913 8529	ISO 2560	خصوصیات و موارد کاربرد
E7016	E5143B (R)10	E514B26H	برای جوشکاری اتصالی فولادهای پرکربن و روکشی مقاوم در برابر ترکیدن.
E7018-1	ESY4276 MnB	E515B20	الکترودهای قلیایی برای جوشکاری مخازن تحت فشار وفولادهای پرکربن تا $-60^{\circ}C$.
E7018	E5155B10	E515B 11020H	الکترود قلیایی برای جوشکاری مخازن تحت فشار و فولادهای پرکربن با حدود ۱۱۵٪ جایگزینی.

۴ــ۴ــ۹ــ الکترود اسیدی: در روپوش، الکترود اسیدی مقدار زیادی اکسیدها و کربنات‌های منیزیم و نیز مقداری سیلسیم وجود دارد. سرباره‌ی آن حجیم و ظاهرجوش خوب و صاف است و سرباره به راحتی از جوش جدا می‌شود.

۵ــ۴ــ۹ــ الکترود اکسیدی: اکسید آهن به مقدار زیاد در روپوش الکترود وجود دارد که موجب نفوذجوش کم و استحکام کمتر می‌شود (جدول ۲ــ۹).

جدول ۵ــ۹ــ ب ــ درصد عناصر در یک نوع الکترود اسیدی

سیلیکات‌ها	کربنات آهن و کلسیم	کربنات منگنز	اکسیدها	علائم الکترود AWS
٪۱۰	٪۳۰	٪۲۰ ـ٪۳۰	٪۳۰	E7027

۵ــ۹ــ روش‌های شناسایی الکترودهای روپوش‌دار براساس استانداردها

الکترودها معمولاً با چند حرف و چند عدد معرّفی و شناسایی می‌شوند و یا با کد رنگی که در قسمت‌های انتهایی الکترود حک می‌شود قابل شناسایی‌اند (شکل ۱۸ــ۹).

شکل ۱۸ــ۹

استانداردهای جهانی الکترود که معروف هستند برای فولادهای ساده یا کم کربن

دین آلمان به شماره ۱۹۱۳ برای الکترودهای فولادی

E5/4 3B
(R10)

استاندارد انجمن جوشکاران امریکا ASME/AW.S

E 7016

استاندارد بین‌المللی ISO

E514 B26H

کارخانجات سازنده‌ی الکترود استاندارد شده موظف‌اند برابری کد شناسایی هر نوع الکترودی را که تولید می‌کنند با یک یا چند کد استاندارد شده‌ی جهانی تعیین و بر روی الکترود، جعبه‌ی الکترود و دفترچه‌ی راهنمای مصرف الکترود ثبت نمایند. لذا باشناخت استاندارد AWS[1] می‌توان سایر الکترودها را شناسایی کرد.

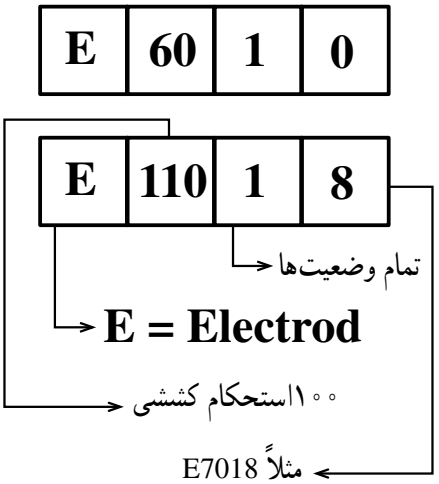
انجمن جوشکاران آمریکا	**AWS**
استاندارد انگلیسی	**BS**
استاندارد بین‌المللی	**ISO**
استاندارد ژاپن	**Jic**
استاندارد آلمان	**Din**

۱ــ۵ــ۹ــ طبقه‌بندی الکترودهای فولادهای کربنی در استاندارد AWS: انواع الکترودهای مختلف فولادهای کربنی

۱ ــ American Weldiay Sosity

و آلیاژی که در دسترس هستند با استاندارد AWS طبقه‌بندی شده‌اند و خصوصیات کامل الکترود و اطلاعات کاربردی آن‌ها را می‌توان از روی کُد الکترود به دست آورد.

براساس این استاندارد هر الکترود با یک یا دو حرف و با چهار یا پنج عدد مشخص می‌شود. مثلاً E6010 یا E11018. که حرف E نشانه‌ی الکترود جوشکاری برق دو عدد بعد از آن، اگر چهار رقمی باشد. (و سه عدد بعد از آن، اگر پنج رقمی باشد) نشانه‌ی استحکام کششی مجاز فلز جوش برحسب کیلو پوند بر اینچ مربع است.



عددی که بعد از استحکام کششی مجاز الکترود می‌آید ممکن است عدد 1 یا 2 یا 3 باشد و معرّف وضعیت قابل کاربرد الکترود است.

$70,000\,psi\ \ 1b/in^2$ استحکام کششی مجاز

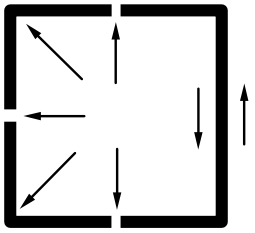
یا E10010

$100,000\,psi\ \ 1b/in^2$ استحکام کششی مجاز

عدد یک یعنی مناسب برای تمام حالات

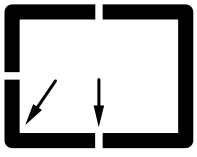
شامل ← F-H-V-onh[1]

شماتیک قابلیت جوشکاری در تمام حالات در یک مربع نشان داده شده است.



یعنی مناسب برای جوشکاری در حالت 2

سطحی و یا جوش ماهیچه‌ای در حالت افقی



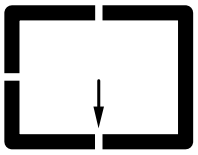
عدد [2] در E7027/2

۱ــ سطحی = Flat، به اختصار F

عمودی = vertical به اختصار V

افقی = Horizantal به اختصار H

بالای سر= overhead به اختصار Oh



و عدد [3] فقط در حالت سطحی (Flat).

عدد آخر که می‌تواند از 0 تا 8 باشد نوع جریان، نوع روپوش و چند ویژگی دیگر را که در جدول ۶ــ۹ آمده است مشخص می‌کند.

جدول ۶ــ۹ــ خصوصیات الکترودهای مختلف

رقم آخر	نوع پوشش الکترود	نوع جریان و قطب مناسب	شماره‌ی استاندارد الکترود
0	سلولزی	فقط DCR P	E6010
1	سلولزی	AC یا DCRP	E6011
2	روتیلی	AC یا DCRP	E6012
3	روتیلی	AC یا DCRP و DCSP	E6013
4	روتیلی با پودر آهن ۳۰٪	AC یا DCRP و DCSP	E7014
5	کم ئیدروژن	فقط DCRP	E7015
6	کم ئیدروژن	AC یا DCRP	E7016
8	کم ئیدروژن با پودر آهن ۲۵٪	AC یا DCRP و DCSP	E7018
20	اکسیدی با اکسید آهن زیاد	DCSP یا SCRP یا AC	E7020
4 و قبل از آن 2	روتیلی با پودر آهن ۵۰٪	DCRP و DCSP یا AC	E7024
7 و قبل از آن 2	اسیدی با پودر آهن ۵۰٪	DCRP و DCSP یا AC	E6027
8 و قبل از آن 2	کم ئیدروژن با پودر آهن ۵۰٪	AC یا DCRP	E7028

$E7010\text{-}A_1$

بعد از آخرین عدد ممکن است یک حرف اندیس‌دار مثل A_1-B_1-D_2 و غیره باشد در مثال مقابل مشاهده می‌شود که درصد عناصر آلیاژی در الکترود را مشخّص می‌کند ؛ به عبارت دیگر این اندیس نمودار درصد کمّی عناصر آلیاژی است که، جهت افزایش استحکام و کاهش حساسیت در مقابل ترک‌خوردگی، از طریق روپوش الکترود به فلز جوش (فلز رسوب‌داده شده) اضافه می‌شود.

در جدول ۷ــ۹ حرف آخر اندیس‌دار و درصد عناصر آلیاژی که در فلز جوش وارد می‌شود مشخص شده است.

جدول ۷ــ۹ــ حروف با اندیس در استاندارد AWS

حروف و اندیس	درصد عناصر آلیاژی				
	مولبیدن Mo	کروم Cr	نیکل Ni	منگنز mn	وانادیم va
A_1	۰/۵				
B_1	۰/۵	۰/۵			
B_2	۰/۵	۱/۲۵			
B_3	۱	۱/۲۵			
B_4	۰/۵	۲			
C_1			۲/۵		
C_2			۳/۵		
C_3			۱		
D_1	۰/۳			۱/۵	
D_2	۰/۳			۱/۷۵	
G	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۱	۰/۱

جدول ۸ــ۹

عناصر آلیاژی	استاندارد الکترود
با ۰/۵ درصد مولیبدن برای جوشکاری فولادهای Cr-Mo (کروم مولیبدن)	E70XX-A1
با کمی بالاتر از یک درصد منگنز	E70XX-G
با ۰/۵ درصد کروم ۰/۵ درصد مولیبدن مناسب برای فولادهای $Cr+\frac{۱}{۲}MO$	E70XX-G

جدول ۹ــ۹

ISO بین‌المللی	DIN آلمانی	BS انگلیسی	AWS آمریکایی
E434cn E432C	zevIIM/333/10t	E100P-Mo	E7010-A1

۲ــ۵ــ۹ــ الکترودهای فولادی کم آلیاژ: در تولید الکترودهای فولادهای کم آلیاژ معمولاً از سیم فولادی و پوشش‌هایی، شبیه آنچه که در الکترودهای فولاد کربنی می‌باشد، مصرف می‌شود. علاوه بر این پودر آلیاژهای لازم به مقدار معین در ترکیب پوشش الکترود به کار می‌رود.

این الکترودها با استحکام کششی ۷۰ و ۸۰ و ۹۰ و ۱۰۰ و ۱۱۰ و ۱۲۰(ksi)[۱] وجود دارد و درصد رطوبت مجاز در آن‌ها از ۰/۶ درصد تا ۰/۲ درصد رطوبت است.

الکترودهای سری E70 در جدول ۸ــ۹ سه نوع نشان داده شده است که دارای استحکام کششی (70000psi)[۲] است. در جدول ۹ــ۹ یک نمونه از این نوع الکترود و مقایسه‌ی آن با سایر استانداردها آمده است.

الکترودهای سری E80 با استحکام کششی 80000 psi که شش نوع آن با مشخصات E80xx مطابق با جدول ۱۰ــ۹ معرفی می‌شود.

جدول ۱۰ــ۹ــ عناصر آلیاژی ــ شماره‌ی الکترود ــ کاربرد آن در صنعت

کاربرد	درصد عناصر آلیاژی	شماره‌ی استاندارد AWS
لوله‌های سیستم بخار و خدمات پالایش و تصفیه به کار می‌رود.	$\frac{1}{2}\%Cr+\frac{1}{2}\%MO$	E80XX-B1
فولادهایی که ۲٪ کروم و $\frac{۱}{۲}$٪ دارند.	$1\frac{1}{4}\%Cr+\frac{1}{2}\%MO$	E80XX-B2
برای فولادهایی که $\frac{۱}{۴}$ ۱٪ کروم و $\frac{۱}{۲}$٪ دارند.	کربن بسیار کم $+2\%Cr\frac{۱}{۲}\%MO$	E80XX-B4L
برای جوشکار فولادهای کم آلیاژی با استحکام بالا که در درجات حرارت پایین‌تر از صفر کاربرد دارند.	$\frac{1}{2}\%Ni$ $۳\frac{1}{2}\%Ni$ $۱\%Ni$	E80XXCl E80XXC2 E80XXC3

الکترودهای سری E90 با استحکام کششی 90000 psi که سه سری از این نوع الکترودها معرفی می‌شود (جدول ۱۱ــ۹).

۱ــ $ksi = \frac{\text{کیلو پوند}}{\text{بر اینچ مربع}}$

۲ــ $Psi = \frac{\text{پوند}}{\text{اینچ مربع}}$

جدول ۱۱ــ۹

کاربرد	درصد عناصر آلیاژی	شماره‌ی استاندارد AWS
برای قطعاتی که در درجات حرارت پایین باید به ضربه مقاوم باشند.	دارای ۲/۵٪ کروم و ۰/۵	E90XX-D1
برای لوله‌های فولادی که در درجات حرارت بالا سرویس می‌دهند.	دارای ۲/۵٪ کروم و ۱٪	E90XX-B2
برای سازه‌های فلزی استحکام بالا به کار می‌رود.	دارای ۱٪ منگنز و ۱/۵٪ نیکل و ۵/۲٪	E90XX-G

الکترودهای سری E100 با استحکام کششی که 100000 psi که دو نوع الکترود معرفی می‌شود (جدول ۱۲ــ۹).

جدول ۱۲ــ۹

کاربرد	درصد عناصر آلیاژی	شماره‌ی استاندارد AWS
فولادهای دانه ریز کم آلیاژی با استحکام بالا	دارای ۱/۵٪ منگنز و ۱۵٪ مولیبدن	E100XX-D2
	کربن ماکزیمم ۰/۱۵٪ و مقدار منگنز ۱/۶۵٪ و مولیبدن ۰/۴۵٪	E100XX-G

الکترودهای سری E110 و E120: این الکترودها دارای کربن بسیار کم (۰/۰۸٪) و منگنز بالاتر از ۱٪ و سیلسیم کمتر از ۰/۵٪ و با عناصر آلیاژی مانند نیکل، کروم، مولیبدن و وانادیم، با نسبت‌های متفاوت، ساخته می‌شوند تا به استحکام موردنظر برسند. در جدول ۳ــ۹ تعدادی از الکترودهای استحکام بالا معرفی شده‌اند.

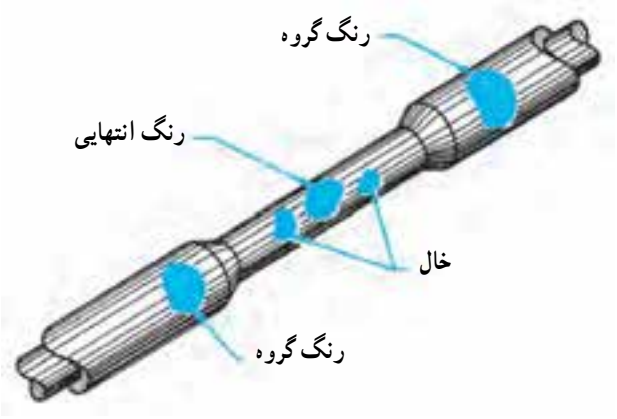
E11016-G

E110 18-M

جدول ۱۳ــ۹ــ الکترودهایی برای جوشکاری فولادهای دانه‌ریز

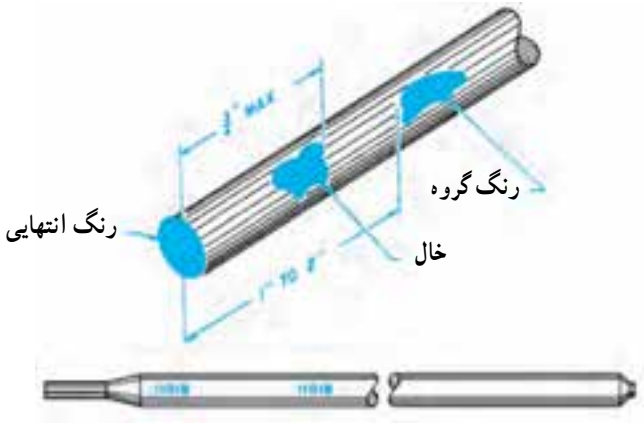
AWS/ASME	DIN 8529 8575	ISO 2060 3580	خصوصیات و موارد کاربرد
E12018-G	EY8953 Mn2NicrMoB	–	برای جوشکاری سخت قطعات که تحت سایش قرار دارند.
E9018-B3	ECrMo2B20	E2CrMoB20	برای جوشکاری لوله و مخازن نیروگاه‌ها و فولادهای سمانته و بهسازی شده تا ۲٪ کرم مقاوم در خزش.
E7018-A1	EMoB20	EMoB20	برای جوشکاری مخازن و لوله‌کشی در نیروگاه‌ها، صنایع سنگین و پتروشیمی.
E8018-B2	ECrMo1B20	E1CrMoB20	برای جوشکاری فولادهای مخزن‌سازی و مقاوم در خزش.
E8018-G	EY5076 Mn1NiB	–	برای جوشکاری فولادهای کم آلیاژ منگنزدار
E10018-G	EY5076 Mn2NicrMoB	–	قابل استفاده در جوشکاری فولادهای منگنزدار
E7018-G	EY38651 NiCuB	–	الکترود قلیایی برای جوشکاری فولادهای ساختمانی ضخیم و مقاوم به خوردگی جوی.
E9018-G	ESY5576 Mn1NiMoBH5	–	الکترود قلیایی مناسب برای فولادهای دانه‌ریز با استحکام بالا و مقاوم در مقابل ترک.
E11018-M	EY6975 Mn2NiCrMoB	–	الکترود قلیایی حاوی منگنز، کرم، نیکل، مولیبدن برای جوشکاری مخازن بزرگ حامل گاز مایع، قابل اطمینان در مقابل ترک.

۳ــ۵ــ۹ــ شناسایی الکترود با کد رنگی: به منظور سهولت شناخت الکترودها و تمیزدادن آن‌ها از یکدیگر توسط جوشکار از نشانه‌های رنگی در قسمت انتهایی الکترود استفاده می‌شود (شکل ۱۹ــ۹).



رنگ خال حداکثر در فاصله $\frac{3}{4}''$ اینچ از انتهای الکترود قرار می‌گیرد.

رنگ گروه حداکثر در فاصله یک تا ۲ اینچی انتهای الکترود قرار می‌گیرد.



شکل ۱۹ــ۹ــ نشانه‌گذاری رنگی

معمولاً در سه نقطه از الکترود و با سه نام زیر، این نشانه‌ها مشاهده می‌شود :

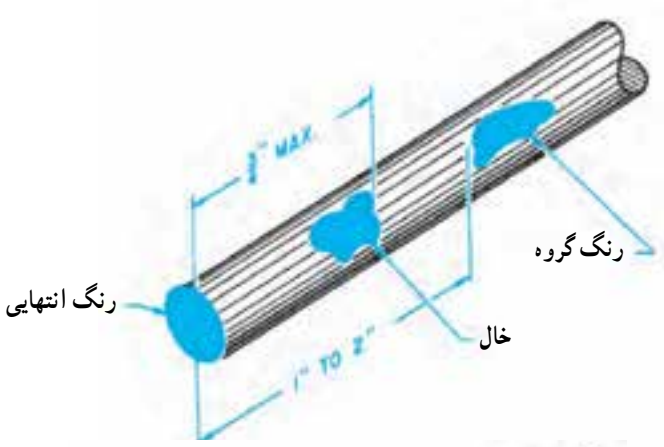
رنگ انتهایی: **End color**

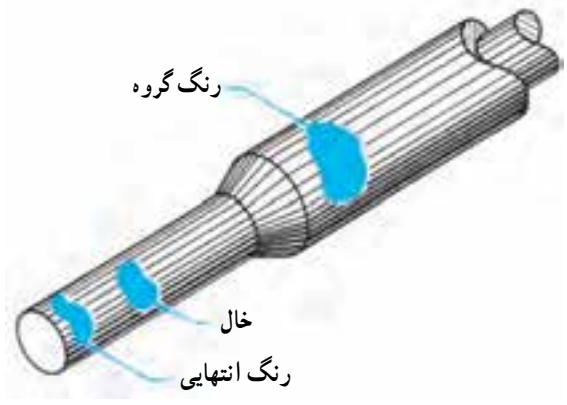
رنگ خال: **Spot color**

رنگ گروه: **Group color**

محل‌های رنگ‌شدن را در شکل ۲۰ــ۹ مشاهده می‌کنید.

و در جدول ۱ــ۹ نیز کد رنگی و شماره‌ی استاندارد AWS با هم آمده است.





شکل ۲۰ــ۹ــ محل‌های علامت‌گذاری روی الکترود