دانشگاه علوم و تحقیقات
دانشکده مهندسی مواد

تقسیم‌بندی الکترودها در جوشکاری

استاد: آقای دکتر علیرضا عباسی
نویسنده: سید محمد طبایی (860151219)

بهار 1390

تقسیم بندی الکترودها بر اساس نوع پوشش آنها:

از حدود 1950 میلادی، الکترودها را در انگلستان، براساس جنس پوشش آن‌ها طبقه بندی می‌نمودند، که این تقسیم‌بندی در نوع خود مؤثر و تا امروز، دربعضی صنایع کاربرد دارد:

طبقه بندی انگلیسی

1- کلاس اول : سلولزی Celluosic Type

2- کلاس دوم : روتیلی Rutile Type

3- کلاس سوم : اسیدی Acidic Type

4- کلاس چهارم : اکسیدی Oxide Type

5- کلاس پنجم : قلیایی یا بازی Basic Type

6- کلاس ششم : روتیلی+ پودر آهن Rutile + Iron Powder Type

1- کلاس اول : سلولزی

بیش از 40 درصد وزن پوشش این نوع الکترودها را سلولز ($C_x H_y O_2$) تشکیل می‌دهد که در اثر سوختن، مقدار زیادی هیدروژن واکسید آزاد می‌کند. گازهای حاصل حوضچه مذاب و قوس الکتریکی را از نفوذ گازهای مخرب موجود دراتمسفرمحافظت می‌نماید؛ ازاین رو،استفاده ازاین خانواده الکترودها اغلب درجوشکاری پاس ریشه خطوط لوله انتقال نفت و گاز و سایر سیالات که درفضای باز انجام می‌شوند کاربرد وسیعی پیدا کرده است. وجود گازهای فعال آزاد شده حاصل ازسوختن سلولز مثل هیدروژن و دی اکسید کربن،علاوه بر یونیزاسیون قوسی با ولتاژ بالا پدید می‌آورند به دلیل انرژی فزاینده خود، حرارت حوضچه جوش را نیز تا حد قابل توجهی افزایش داده وسبب نفوذ بسیارخوب جوش درداخل فلز پایه می‌گردند، (الکترودهای نفوذی). نظر به این که اغلب بیشتر حجم مواد تشکیل دهنده‌ی پوشش‌های سلولزی را مواد فرار و سوزنده تشکیل می‌دهد، سرباره بسیار نازک و غیرچسبنده بوده وبه آسانی از سطح جوش برداشته می‌شود. ازدیگرمشخصات پوشش‌های سلولزی

می‌توان به امکان استفاده ازآنها در وضعیت‌های مختلف، دود زیاد ، قوس بسیار قـوی و نافـذ و پایـدار ، پاشش نسبتا زیاد جرقه‌های جوش به اطراف جوش و سطح جوش خشن با مهره جوش‌هـای فاصـله‌دار ناهموار اشاره نمود. در ضمن، بودن عناصر پایدار کننده قـوس در پوشـش آن‌هـا سـبب شـده تـا ایـن الکترودها را بتوان با جریان یکنواخت مستقیم DC بدون هیچ مشکلی به کـاربرد. ازجملـه مهـم تـرین الکترودهای این خانواده ، می‌توان به الکترودهـای E8010G وE7010G وE6010 اشـاره نمـود. در استاندارد مذکورAWS , SFA : 5.1 اگر عدد اول ازسـمت راسـت 0 یـا 1 باشـد، پوشـش الکتـرود، سلولزی خواهد بود.

2- کلاس دوم : پوشش های روتیلی

ترکیب اصلی این پوشش‌ها که درکلاس دوم و سوم قرارگرفته ، اکسـید تیتـانیوم طبیعـی Natural Titanium Oxide مقادیر قابل توجهی مواد یونیزه کننده ومیکا می‌باشـد کـه موجـود مـواد یـونیزه کننده، استفاده ازالکترود مذکوررا آسان تر می کند. این الکترودها به دلیل سـرباره نسـبتاً غلیظـی کـه تولید می‌کند، بیشتر برای جوشکاری در حالت‌های گوشـه(Fillet) و در وضـعیت‌هـای افقـی و سـربالا مناسب است. همانگونه که گفته شد، شروع قوس با این الکترودها آسان و بویژه برای جوش‌های گوشه و جوشکاری ورق‌ها توصیه شده است. جوش حاصل، همچنین دارای ظاهرمناسـبی بـوده و بـازده آن نیـز قابل توجه است. الکترودهای روتیلی به طور معمول ، نفوذی متوسط همراه با یک قوس الکتریکی ملایم و آرام تولید نموده و نسبت به رطوبت حساس نیستند . قابلیت جدا شدن سرباره از روی جـوش عـالی بوده و گرده‌ی جوش نسبتاً منظم و ظریف خواهد بود . وجود مقادیر قابل توجهی سدیم و پتاسیم دراین نوع پوشش، آرام ترشدن قوس الکتریکی را البته با کاهش نفوذ، سبب می‌گردد؛ بنابراین با اعمـال ولتـاژ مدار باز کمتری ، می‌توان جوشکاری را با جریان برق متناوب AC نیز به کار گرفت.

از مهم ترین الکترودهای روتیلی در استاندارد AWS می‌توان به:

E6013 و E7014 وE7024 و غیره اشاره نمود در استاندارد AWS ، الکترودهایی که عدد اول از سمت راست مشخصه آن‌ها 2 یا 3 یا 4 باشد در خانواده‌ی کلاس پوشش روتیلی جای می‌گیرند. الکترودهایی که عدد اول از سمت راست آن‌ها 2 باشد، با جریان مستقیمDC و بقیه با جریانهای مستقیم یا متناوب قابل استفاده می‌باشند.

3- کلاس سوم : پوشش‌های اسیدی

پوشش این الکترودها، اغلب، شامل اکسیدها وکربنات‌های منگنز، آهن و مقادیری سیلیسیم بوده و سرباره‌ی حاصل از جوشکاری دارای خواص اسیدی می‌باشد.

جوش حاصل نیز دارای سطحی هموار و براق بوده و سرباره‌ی سیال و پرحجم حاصل ازجوشکاری نیز ، پس از سردشدن بلافاصله از سطح جوش جدا می‌شود به همین دلیل و به ویژه درجوشکاری‌های چندپاسی ، خطر باقی ماندن سرباره دربین پاس‌های جوشکاری به حداقل می‌رسد. شروع قوس الکتریکی با این الکترود ها ، آسان تر از الکترود های قلیایی اما مشکل تر از الکترودهای روتیلی است.

استحکام کششی فلز جوش نیز کمتر از استحکام کششی فلز جوش حاصل از جوشکاری با الکترودهای روتیلی روی یک فلز پایه مشابه است، اما ازدیاد طول نسبی، انعطاف پذیری و مقاومت به ضربه آن بیشتر است. این الکترودها را اغلب در تمامی وضعیت‌های جوشکاری می‌توان به کار گرفت. از مهم‌ترین نوع الکترودهای اسیدی در استاندارد AWS می‌توان به الکترود E 7027 اشاره کرد. اگر نخستین عدد سمت راست از فرمول مشخصه الکترود در استانداردAWS، به عدد 7 ختم شود ، پوشش آن اسیدی است.

4- کلاس چهارم : پوشش های اکسیدی

ترکیب اصلی این پوشش‌ها، اغلب از اکسیدآهن و اکسید منگنز، و نیز کربنات آهن وکربنات منگنز تشکیل شده و به همین دلیل ، سرباره‌ی حاصل از جوشکاری آن‌ها، متراکم، سنگین و پرحجم بوده، اما

در عین حال ، به راحتی از جوش جدا می‌شود. بیشترین وظیفه حفاظت از حوضچه جوش به عهده سرباره است. نفوذ جوش حاصل نسبتاً کم است، اما دارای سطحی صاف و یکنواخت با استحکام نسبتاً کمتری می‌باشد. به دلیل سیالیت بالای مذاب حاصل، این نوع الکترودها را بیشتر برای جوش‌های گوشه Fillet در وضعیت‌های افقی و تخت به کار می برند.

5- کلاس پنجم : بازی یا قلیایی

پوشش این الکترودها، اغلب شامل مقادیر قابل ملاحظه‌ای کربنات کلسیم و $CaCO_3$ فلوراید است. اساس عمل حفاظت حوضچه جوش در این کلاس از پوشش‌ها، سوختن کربنات کلسیم و تولیدگاز CO_2 است که عمل حفاظت ازحوضچه جوش را به عهده می‌گیرد. به دلیل کم بودن مقدار رطوبت موجود در این پوشش‌ها، جوش حاصل، مقدار هیدروژن بسیار کمی در ترکیب خود خواهد داشت بنابراین این نوع الکترودها را، الکترود کم هیدروژن (Low Hydrogen) می‌نامند. به همین دلیل این الکترودها در درجه حرارت‌های پایین نیز از استحکام نسبتاً خوبی برخوردارند. در مقایسه با سایر الکترودها، احتمال بروز ترک گرم یا سرد در این دسته از الکترودها کمتر است؛ از این رو، برای جوشکاری فولادهای آلیاژی کم آلیاژ که در مقابل بروز ترک منطقه HAZحساسند (مثل فولادهای ساختمانی منگنزدار، مخازن تحت فشار، بدنه کشتی‌ها و غیره) کاربرد وسیعی پیدا کردند. در ضمن مقاومت جوش حاصل در برابر ترک‌های گرم (Cracking Hot) این الکترودها را برای جوشکاری فولادهای پرکربن، با ضخامت بالا نیز مناسب کرده است. استفاده از این الکترودها، به دلیل سرباره غلیظ آن‌ها چندان آسان نیست، اما از آن‌ها در تمام وضعیت‌ها و با جریان مستقیم و متناوب می‌توان استفاده نمود. برای جلوگیری از افزایش مقدار رطوبت، در نگهداری این الکترودها باید دقت کافی به کار بست و آن‌ها را در جای خشک نگهداری نمود. پیش از به کارگیری این الکترودها، لازم است عملیات باز پخت را مجدداً در مورد آنها به کارگرفت و آن‌ها را در آون (Oven)، چند ساعتی خشک نمود . با این روش می‌توان مقادیر هیدروژن ورودی به حوضچه جوش را تا حد قابل ملاحظه‌ای تحت کنترل درآورد.

وجود هیدروژن در حوضچه جوش، حرارت جوش را بیش از حد افزایش می‌دهد و هرچند نفوذ آن را تا حد قابل ملاحظه‌ای بالا می‌برد، اما معایب بسیاری ازجمله ترک‌ها، تنش‌های حرارتی و غیره را در جوش پدید می‌آورد.

ازمهم‌ترین انواع الکترودها با روکش قلیایی می‌توان به الکترودهای: E 7016، E 8016، E 9018G, E 8018G، E 7018 در استاندارد AWS اشاره نمود.

6- کلاس ششم: روکش‌های محتوی پودر آهن

افزودن پودرآهن به پوشش الکترودها اثرات مثبت زیادی به جای می‌گذارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتنداز:

الف) افزایش نرخ رسوب Deposition Rate

ب) افزایش پایداری قوس Arc Stability

پ) افزایش بازدهی High Efficiency Recovery

ت) افزایش انعطاف پذیری برای جوشکاری در زوایای تنگ با محدودیت مکان حرکت.

ث) پهن‌تر شدن قوس الکتریکی ، رسوب در سطح بیشتر و عمق کمتر به دلیل هدایت الکتریکی دوگانه از مغز الکترود و پوشش محتوی پودر آهن.

ج) کاهش مقدار پاشش و جرقه‌ی به دلیل محدود شدن اتصال کوتاه بین الکترود و سطح قطعه کار به دلیل عبور جریان الکتریکی از دورن پوشش.

چ) صاف تر بودن سطح گرده جوش پدید آمده.

خ) کاهش خطر بروز Under Cut.

ط) بزرگ‌تر بودن حوضچه جوش نسبت به سایر الکترودها.

ازآن چه گفته شد، می‌توان به اهمیت استفاده از الکترودها با روکش محتوی پودر آهن پی برد. به طور کلی مهم‌ترین نوع الکترودها، الکترودهای قلیایی به علاوه پودر آهن هستنند که اغلب در ترکیب خود

50 درصد پودر آهن دارند. وقتی الکترود ذوب می‌شود، در حقیقت علاوه بر مغز الکترود، پودرآهن موجود در سرباره نیز وارد حوضچه شده و به حجم مذاب اضافه می‌شود؛ از این رو پدیده High Recovery که به آن اشاره شد اتفاق می‌افتد. یک مقایسه بین الکترودهای قلیایی و قلیایی با پودر آهن، افزایش حدود 15 تا 30 درصد راندمان را نشان می‌دهد. الکترودهای E7024، E 7028 و غیره دراستاندارد AWS ازاین جمله‌اند. ترکیب روتیل با مقدار زیادی پودر آهن نیز، کلاس الکترودهای روتیلی پودر آهن دار را طبقه بندی می‌کند، که دارای انعطاف پذیری بسیاربالایی به ویژه در زوایای تنگ و محدودیت مکان حرکت می‌باشند. [1,2]

معرفي نوع پوشش الکترودها بر اساس نخستین عدد از سمت راست AWS: E XXXX

اولين عدد از سمت راست	نوع پوشش
0	سلولزي با جريان مستقيم
1	سلولزي با جريان مستقيم و متناوب
2	روتيلي با جريان مستقيم
3	روتيلي با جريان مستقيم و متناوب
4	روتيلي آهني
5	قليايي با جريان مستقيم
6	قليايي با جريان مستقيم و متناوب
7	اسيدي
8	قليايي محتوي پودر آهن و در بعضي موارد پوشش هاي مركب

طبقه بندی الکترود ها براساس استاندارد های جوشکاری بین المللی :

طبقه بندی الکترودهای روپوش دار بر اساس استاندارد امریکایی

AWS (A.W.S : American Welding Society) یا انجمن جوشکاری امریکا، درحقیقت بزرگترین و معتبرترین استانداردها، طبقه بندی‌ها و مشخصات فنی را در زمینه‌های مختلف جوشکاری

ارائه نموده است. بررسی خانواده SFA-5.1 برای الکترودهـای روپـوش‌دار فـولاد سـاده کربنـی بـرای جوشکاری قوس الکتریکی دستی الکترودهای موجود دراین خانواده، براساس پارامترهای زیرطبقه بندی شده اند:

الف) نوع جریان Current Type

ب) نوع روکش Covering Type

پ) وضعیت جوشکاری Welding Position

ت) خواص مکانیکی فلز جوش در حالت AS-WELD یا عملیات حرارتی شده

Mechanical Properties Of The Weld Metal In The AS-Weld Or Aged Condition

الکترودهاي موجود در خانواده 5.1 و مقایسه نوع روپوش ، وضعیت جوشکاري و نوع جریان آنها {3}

الکترود	نوع روکش	وضعیت جوشکاري	نوع جریان
E 6010	سلولزي سدیم بالا	F,V,OH,H	DCEP
E 6011	سلولزي پتاسیم بالا	F,V,OH,H	AC یا DCEP
E 6012	اکسید تیتانیومي سدیم بالا	F,V,OH,H	AC یا DCEN
E 6013	اکسید تیتانیومي سدیم بالا	F,V,OH,H	DCEN یا AC یا DCEP
E 6019	اکسید تیتانیومي پتاسیم دار با اکسید آهن	F,V,OH,H	DCEP یا DCEN یا AC
E 6020	اکسید آهن زیاد	H-FILLET,F	AC یا DCEN یا DCEP
E 6022 1	اکسید آهن زیاد	F,H	AC یا DCEN یا DCEN AC
E 6027	آکسید آهن زیاد و پودر آهن	H-FILLET,F	DCEN یا AC یا DCEP
E 7014	کم هیدروژن	F,V,OH,H	DCENیا

2	***E 7015***	وسديمي کم هيدروژن وپتاسيومي	F,V,OH,H	DCEP
2	***E 7016***	کم هيدروژن پتاسيومي و پودر آهن	F,V,OH,H	AC يا DCEP
2	***E 7018***	کم هيدروژن و پودر آهن	F,V,OH,H	AC يا DCEP
	E 7018M	پودر آهن و اکسيد تيتانيوم	F,V,OH,H	DCEP
2	***E 7024***	آکسيد آهن زياد و پودر آهن	H-FILLET,F	DCEN يا AC يا DCEP
	E 7027	اکسيد آهن زياد و پودر آهن	H-FILLET,F	DCEP يا AC يا DCEN
2	***E 7028***	کم هيدروژن پتاسيومي و پودر آهن	H-FILLET,F	AC يا DCEP
2	***E 7048***	کم هيدروژن پتاسيومي و پودر آهن	F , OH , H- V-DOWN	AC يا DCEP

در این جدول ، توجه به نکات زیر ضروری است :

علایم اختصاری که در ستون وضعیت جوشکاری آورده شده‌اند به شرح زیر تعریف می‌گردند :

F : تخت Flat

H : افقی Horizontal

H-Fillet : افقی گوشه

V-Down : عمودی سرازیر Vertical Down

V : عمودی برای الکترودهای با قطر کمتر از mm4

OH : بالاسری Over Head

علایم اختصاری که در ستون نوع جریان آورده شده به قرار زیر معرفی می‌شوند :

AC : جریان برق متناوب

DCEP : جریان برق مثبت

Reverse Direct Current Electro Positive Polarity

DCEN : جریان برق مستقیم منفی

Direct Current Electro Negative (Straight Polarity)

1: الکترود E 6022 فقط برای جوشکاری‌های تک پاسی مناسب است.

2: الکترودهای E 7048,E 7028,E 7024,E 7018,E 7016,E 7015 دارای بالاترین انعطاف-پذیری، مقاومت به ضربه ، در برابر رطوبت وعدم نفوذ هیدروژن در این خانواده هستند. [1,2]

استحکام کشش، تنش تسلیم و درصد ازدیاد طول نسبي الکترودهاي خانواده SFA-5.1 [3]

الکترود	حداقل استحکام کششي		تنش تسلیم		انعطاف پذیری (درصد)
	KSI	MPa	KSI	MPa	
E 6010	۶۰	۴۱۴	۴۸	۳۳۱	۲۲
E 6011	۶۰	۴۱۴	۴۸	۳۳۱	۲۲
E 6012	۶۰	۴۱۴	۴۸	۳۳۱	۱۷
E 6013	۶۰	۴۱۴	۴۸	۳۳۱	۱۷
E 6019	۶۰	۴۱۴	۴۸	۳۳۱	۲۲
E 6020	۶۰	۴۱۴	۴۸	۳۳۱	۲۲
E 6022	۶۰	۴۱۴	۴۸	۳۳۱	۱۷
E 6027	۶۰	۴۱۴	۴۸	۳۳۱	۲۲
E 7014	۷۰	۴۸۲	۵۸	۳۹۹	۱۷
E 7015	۷۰	۴۸۲	۵۸	۳۹۹	۲۲
E 7016	۷۰	۴۸۲	۵۸	۳۹۹	۲۲
E 7018	۷۰	۴۸۲	۵۸	۳۹۹	۲۲

E 7024	۷۰	۴۸۲	۵۸	۳۹۹	۱۷
E 7027	۷۰	۴۸۲	۵۸	۳۹۹	۲۲
E 7028	۷۰	۴۸۲	۵۸	۳۹۹	۲۲
E7048	۷۰	۴۸۲	۵۸	۳۹۹	۲۲
E 7018M	۷۰-۷۷	۴۸۲-۵۳۱	۵۳-۷۲	۳۶۵-۴۹۶	۲۴

مقاومت به ضربه الكترودهاي موجود در خانواده SFA-5.1 :

الكترود	حداقل مقاومت به ضربه (معدل)	حداقل مقاومت به ضربه از يك نمونه
E 6010 , E 6011 E 6027 , E 6015 E 7016 , E 7018 E 7027 , E 7048	27 j در °C - 29	20 j در °C - 29
E 6012,E 6013 E 6020,E 6022 E 7014,E 7024	استاندارد نشده اند انجام آزمايش ضربه ضرورتي ندارد	استاندارد نشده اند انجام آزمايش ضربه ضرورتي ندارد
E 7018M	67 j در °C - 29	54 j در °C - 29
توجه : براي استفاده از الكترودهاي E 7016,E 7018,E 7024 در درجه حرارت هاي پايين تر و به دليل كاربرد زيادتر آن ها ، AWS استاندارد ديگري از اين سه نوع الكترود نيز طراحي و به قرار زير معرفي كرده است :		
E 7016-1	27 j در °C - 46	20 j در °C - 46
E 7018-1	27 j در °C - 46	20 j در °C - 46
E 7024-1	27 j در °C - 46	20 j در °C - 46

در طبقه بندی AWS، هر الکترود با یک حرف (E) و یک عدد چهار یا پنج رقمی مشخص می‌شود:

1. حرف سمت چپ (E) معرف الکترود روکش‌دار است.

2. دو رقم سمت چپ ازعددهای چهاررقمی (یا سه رقم چپ ازعددهای پنج رقمی) معرف حداقل استحکام کششی فلزجوش بر حسب هزار پوند بر اینچ مربع یا KSI است. به طور مثال الکترود E 6010 که دو رقم سمت چپ آن 60 است، دارای 60 KSI یا 60000 PSI استحکام کششی است که معادل 42 kg/mm^2 می‌باشد.

الکترودهای خانواده SFA-5.1 از نظر استحکام کششی، به دو دسته 60 و 70 تقسیم شده‌اند.

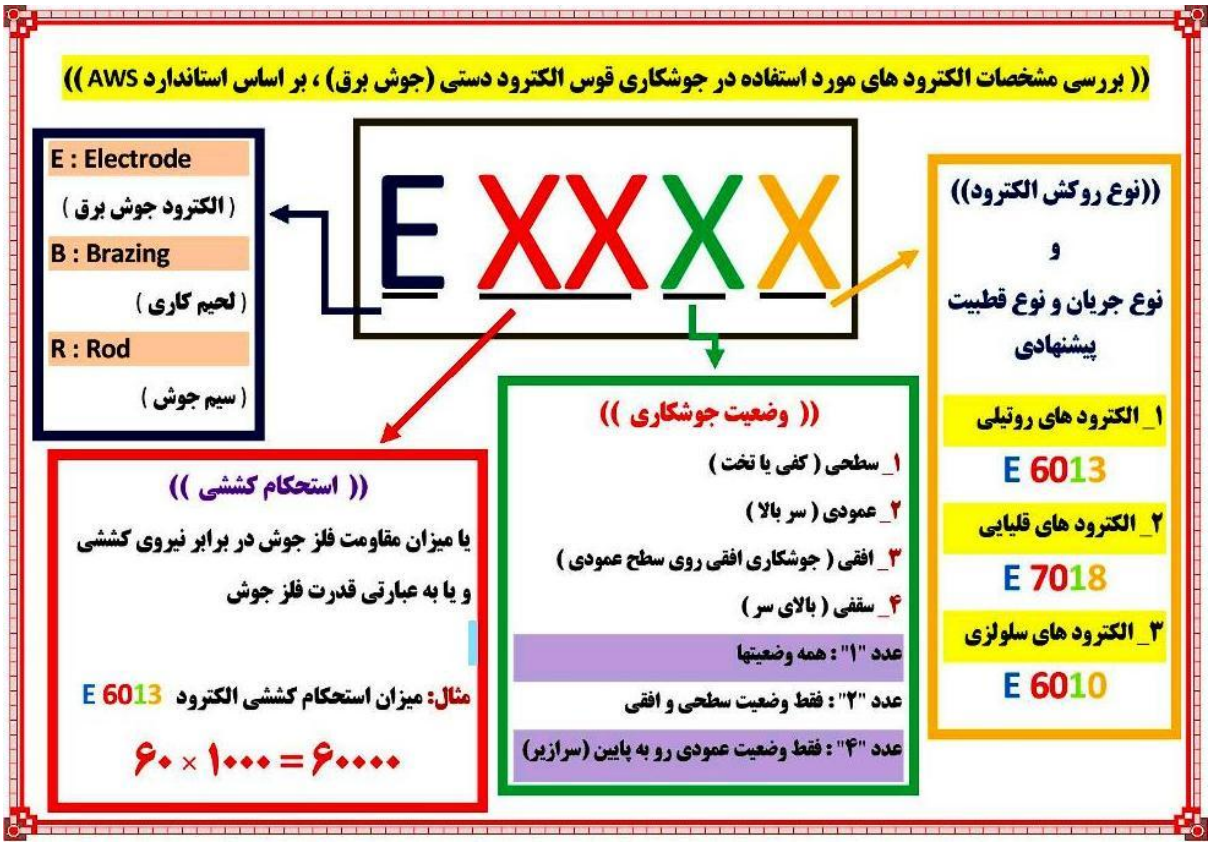
3. دومین رقم از سمت راست، وضعیت جوشکاری (Position) را نشان می‌دهد.

E XX1X : برای تمام وضعیت‌ها به غیرازسرازیر

E XX2X : وضعیت‌های تخت وافقی

E XX3X : تخت

E XX4X : تخت، سقفی، افقی، عمودی - سرازیری. [1و2]



WELDING ELECTRODE CLASSIFICATION

SMAW

MILD STEEL COATED ELECTRODES

E7018-X

E	Indicates that this is an Electrode.
70	Indicates tensile strength. Measured in thousands of pounds per square inch.
1	Indicates welding position.
8	Indicates the coating, penetration, and current type used. (See Classification Table below)
X	Indicates that there are more requirements. (See Additional Requirements below)

WELDING POSITIONS

1	All positions (Flat, Horizontal, Vertical (up), Overhead)
2	Flat, Horizontal
4	Flat, Horizontal, Overhead, Vertical (down)

CLASSIFICATION TABLE

Class	Electrode Coating	Penetration	Current Type
Exxx**0**	Cellulose, Sodium	Deep	DCEP
Exxx**1**	Cellulose, Potassium	Deep	AC, DCEP
Exxx**2**	Rutile, Sodium	Medium	AC, DCEN
Exxx**3**	Rutile, Potassium	Light	AC, DCEP, DCEN
Exxx**4**	Rutile, Iron Powder	Medium	AC, DCEP, DCEN
Exxx**5**	Basic, Low Hydrogen, Sodium	Medium	DCEP
Exxx**6**	Basic, Low Hydrogen, Potassium	Medium	AC, DCEP
Exxx**7**	Basic, Iron Powder, Iron Oxide	Medium	AC, DCEN
Exxx**8**	Basic, Low Hydrogen, Iron Powder	Medium	AC, DCEP
Exxx**9**	Basic, Iron Oxide, Rutile, Potassium	Medium	AC, DCEP, DCEN

ADDITIONAL REQUIREMENTS

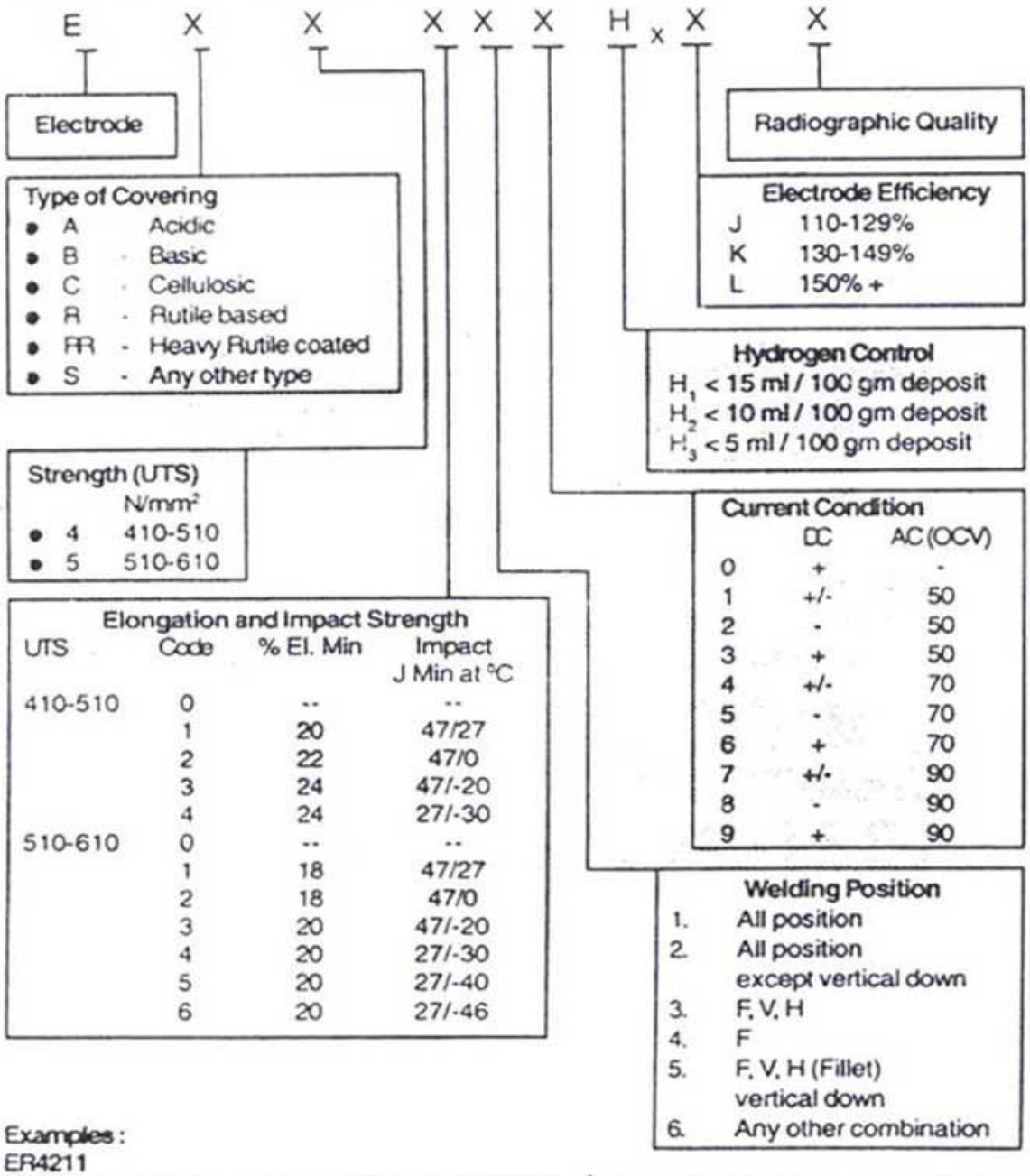
Suffix	Additional Requirement
-1	Increased toughness (impact strength).
-M	Meets most military requirements - greater toughness, lower moisture content as received after exposure, diffusible hydrogen limits for weld metal.
-H4, -H8, -H16	Indicates the maximum diffusible hydrogen limit measured in millimeters per 100 grams (mL/100g). The 4, 8, and 16 indicates what the limit is. Example: -H4 = 4mL per 100 grams

Pierre Dostie

PIERRE DOSTIE

Indian Specifications IS:814-1991

The following diagram explains decoding of Indian Specifications of C-Mn steel welding electrodes.



Examples :

ER4211

Rutile coated Electrode having UTS of 410-510 N/mm^2 , elongation 22% Min and impact of 47J at 0^{0}C. It is suitable for welding in all position in DCEP, DCEN and AC (OCV 50V)

EB5426H2JX

Basic coated Electrode having UTS of 510-610 N/mm^2, elongation 20% and impact of 27J at minus 30°C. It is suitable for welding in all positions except vertical down in DCEP and AC (OCV 70). Hydrogen in the deposit is controlled within 10 ml per 100 gm of deposit. The electrode has a deposition efficiency between 110-129% and gives a radiographic quality deposit.

Red-D-Arc Welderentals

WELDING ELECTRODE CLASSIFICATIONS

MILD STEEL COATED ELECTRODES

E7018-X

E	Indicates that this is an electrode
70	Indicates how strong this electrode is when welded. Measured in thousands of pounds per square inch.
1	Indicates in what welding positions it can be used.
8	Indicates the coating, penetration, and current type used. (See Classification Table below)
X	Indicates that there are more requirements. (See Additional Requirements below)

WELDING POSITIONS

1 Flat, Horizontal, Vertical (up), Overhead
2 Flat, Horizontal
4 Flat, Horizontal, Overhead, Vertical (down)

Flat Position - usually groove welds, fillet welds only if welded like a "V"
Horizontal - Fillet welds, welds on walls (travel is from side to side).
Vertical - welds on walls (travel is either up or down).
Overhead - weld that needs to be done upside down.

CLASSIFICATION TABLE

Class	Electrode Coating	Penetration	Current Type
Exxx0	Cellulose, Sodium	Deep	DCEP
Exxx1	Cellulose, Potassium	Deep	AC, DCEP
Exxx2	Rutile, Sodium	Medium	AC, DCEN
Exxx3	Rutile, Potassium	Light	AC, DCEP, DCEN
Exxx4	Rutile, Iron Powder	Medium	AC, DCEP, DCEN
Exxx5	Low Hydrogen, Sodium	Medium	DCEP
Exxx6	Low Hydrogen, Potassium	Medium	AC, DCEP
Exxx7	Iron Powder, Iron Oxide	Medium	AC, DCEN
Exxx8	Low Hydrogen, Iron Powder	Medium	AC, DCEP
Exxx9	Iron Oxide, Rutile, Potassium	Medium	AC, DCEP, DCEN

ADDITIONAL REQUIREMENTS

Suffix	Additional Requirement
-1	Increased toughness (impact strength) for E7018 electrodes. Also increased ductility in E7024 electrodes.
-M	Meets most military requirements - greater toughness, lower moisture content as received after exposure, diffusible hydrogen limits for weld metal.
-H4 **-H8** **-H16**	Indicates the maximum diffusible hydrogen limit measured in millimeters per 100 grams (mL/100g). The 4, 8, and 16 indicates what the limit is. Example: -H4 = 4mL per 100 grams

LOW ALLOY STEEL COATED ELECTRODES

E7018-X

E	Indicates that this is an electrode
70	Indicates how strong this electrode is when welded. Measured in thousands of pounds per square inch.
1	Indicates in what welding positions it can be used.
8	Indicates the coating, penetration, and current type used. (See Classification Table above)
X	Indicates what alloys are in this electrode. (See Suffix Table page 45)

WELDING POSITIONS

Same as for Mild Steel Coated Electrodes (above)

CLASSIFICATION

Same as for Mild Steel Coated Electrodes (above)

WELDING ELECTRODES CLASSIFICATIONS

LOW ALLOY STEEL COATED ELECTRODES, CONT'D.

SUFFIX TABLE

Suffix	Steel Alloy Type	Suffix Number Description		
-A1	Carbon-Molybdenum	0.40 - 0.65 Mo		
-B1	Chromium-Molybdenum	0.40 - 0.65 Cr		0.40 - 0.65 Mo
-B2	Chromium-Molybdenum	1.00 - 1.50 Cr		0.40 - 0.65 Mo
-B2L	Chromium-Molybdenum	Lower Carbon B2		
-B3	Chromium-Molybdenum	2.00 - 2.50 Cr		0.90 - 1.20 Mo
-B3L	Chromium-Molybdenum	Lower Carbon B3		
-B4L	Chromium-Molybdenum	1.75 - 2.25 Cr		0.40 - 0.65 Mo
-B5	Chromium-Molybdenum	0.40 - 0.60 Cr		1.00 - 1.25 Mo
-B6	was E502	4.6 - 6.0 Cr	0.45 - 0.65 Mo	
-B8	was E505	8.0 - 10.5 Cr	0.8 - 1.2 Mo	
-C1	Nickel Steel	2.00 - 2.75 Ni		
-C1L	Nickel Steel	Lower Carbon C1		
-C2	Nickel Steel	3.00 - 3.75 Ni		
-C2L	Nickel Steel	Lower Carbon C2		
-C3	Nickel Steel	0.80 - 1.10 Ni		
-NM	Nickel-Molybdenum	0.80 - 1.10 Ni	0.40 - 0.65 Mo	
-D1	Manganese-Molybdenum	1.00 - 1.75 Mn		0.25 - 0.45 Mo
-D2	Manganese-Molybdenum	1.65 - 2.00 Mn		0.25 - 0.45 Mo
-D3	Manganese-Molybdenum	1.00 - 1.80 Mn		0.40 - 0.65 Mo
-W	Weathering Steel	Ni, Cr, Mo, Cu		
-G		No required chemistry		
-M	Military grade	May have more requirements		

Class	Min. Tensile Strength	Min. Yield Strength
E60xx	62,000 psi	50,000 psi
E70xx	70,000 psi	57,000 psi
E80xx	80,000 psi	67,000 psi
E90xx	90,000 psi	77,000 psi
E100xx	100,000 psi	87,000 psi
E110xx	110,000 psi	95,000 psi
E120xx	120,000 psi	107,000 psi

CHEMICAL SYMBOLS FOR THE ELEMENTS

C	Carbon	Most effective hardening element in steel
Mn	Manganese	Hardening element second to carbon
Si	Silicon	Deoxidizer, moderate strengthener
P	Phosphorus	Causes cracking if too high
S	Sulfur	Aids in machining - Cracking problems like **P**
Cr	Chromium	Hardness (low) - corrosion resistance (high)
Ni	Nickel	Hardening element - better cold toughness
Mo	Molybdenum	Hardenability - high temp tensile - creep strength
B	Boron	Very small amounts increase hardness
Cu	Copper	Corrosion resistance (low) - cracking (high)
Al	Aluminum	Deoxidizer - improves mechanical properties
Ti	Titanium	Removes: **O**xygen, **S**, **N**, and **C**
N	Nitrogen	Improves strength - lowers toughness
Cb	Columbium	Hardness - Improves mechanical properties
V	Vanadium	Hardness - Improves mechanical properties

مراجع:

1- دکتر امیرحسین کوکبی، " تکنولوژی جوشکاری" ، انتشارات آزاده، تهران، پاییز.1388

2- Welding processes handbook, Klas Weman, Woodhead publishing, Cambridge, England, 2003.

3- Internet