

## استفاده از الکتریسیته در جوشکاری قوسی

عنوان توانایی		زمان آموزش (ساعت)	
عملی	نظری		
		۱	۲

- ۱ چند کاربرد قوس الکتریکی را در زندگی روزمره بیان کند.
- ۲ چگونگی ایجاد قوس الکتریکی را در جوشکاری بیان کند.
- ۳ گاز یونیزه و چگونگی یونیزه شدن آن را بیان نماید.
- ۴ نقش الکترودهای جوشکاری را بیان کند.
- ۵ روش‌های مختلف انتقال مذاب از الکتروود به قطعه کار را توضیح دهد.
- ۶ اشعه‌های حاصل از قوس الکتریکی را معرفی کند.
- ۷ چگونگی تشکیل فلز جوش را بیان نماید.

## نمونه سؤالات پیش آزمون

۱- کدام یک از شرایط زیر مشابه رعد و برق در آسمان است؟

- الف) موقع به سنگ زدن فلزات
- ب) جرقه فندک اجاق گاز موقع روشن کردن گاز با فندک اجاق
- ج) جرقه شمع در اتومبیل برای انفجار مخلوط هوا و بنزین
- د) گزینه‌های ب و ج درست است.

۲- در شرایط عادی به ترتیب کدام یک از گازها به صورت اتمی و مولکولی وجود دارند؟

- الف) آرگون- اکسیژن
- ب) نیتروژن- هلیوم
- ج) اکسیژن-ازت
- د) هیدروژن- اکسیژن

۳- ترکیب روپوش الکترودها از چه جنسی است؟

- الف) براده فلزات
- ب) ترکیبات مختلف غیرفلزی
- ج) ترکیبات فلزی و غیرفلزی
- د) ترکیبات مختلف فلزی

۴- دمای قوس در جوشکاری قوس الکتروود دستی نسبت به نقطه ذوب فولاد ..... است.

- الف) بیشتر
- ب) خیلی بیشتر
- ج) مساوی
- د) کمتر

۵- چرا به قوس جوشکاری نمی‌توان نگاه کرد؟

- الف) نور شدید دارد
- ب) اشعه‌های غیر مرئی و نور مرئی زیادی تولید می‌شود
- ج) نور و حرارت زیادی تولید می‌شود
- د) نور ناگهانی تولید می‌شود

۶- دودی که در حین جوشکاری قوس الکتروودستی به وجود می‌آید ناشی از چیست؟

- الف) سوختن مغز الکتروود
- ب) سوختن روپوش الکتروود
- ج) سوختن هوای اطراف قوس جوشکاری
- د) تمام موارد ذکر شده

## ۱-۴ آشنایی با طبیعت قوس الکتریکی

همه ما پدیده رعد و برق را در آسمان وقتی که هوا بارانی است به خاطر داریم (شکل ۱-۴). رعد و برق صدای مهیب، نور شدید و خیره کننده‌ای دارد. در حقیقت این پدیده حاصل تخلیه بار الکتریکی بین دو توده ابر است. به عبارت دیگر تجمع مقدار زیادی الکترون در یک توده ابر و تخلیه این الکترون‌ها در توده ابر مجاور طی لحظه کوتاهی موجب ایجاد نور زیاد و صدای شدید می‌شود. بنابراین اساس کار تخلیه بار الکتریکی بین دو سطح دارای اختلاف پتانسیل است.

شکل (۱-۴)



تخلیه بار الکتریکی بین دو توده ابر سبب ایجاد رعد و برق می‌شود.

امروزه از قوس الکتریکی در زندگی روزمره در موارد زیادی به عنوان آتش زنه مثل: اجاق‌های گاز خانگی، فندک‌های دستی و نیز در بخاری‌های گازی برای روشن کردن شعله استفاده می‌شود.

## ۲-۴ قوس الکتریکی در جوشکاری

همان‌طور که گفته شد وقتی تخلیه بار الکتریکی یا جابه‌جایی سریع الکترون‌ها بین دو قطب مثبت و منفی صورت می‌پذیرد، قوس الکتریکی ایجاد می‌شود. در این شرایط الکترون‌ها در یک فضای گازی از یک قطب به قطب دیگر جهش می‌کنند و نور، حرارت و صدا تولید می‌شود که به آن قوس الکتریکی می‌گویند.

شکل (۲-۴)



تخلیه بار الکتریکی بین نوک الکتروود و سطح قطعه کار سبب ایجاد قوس می‌شود.

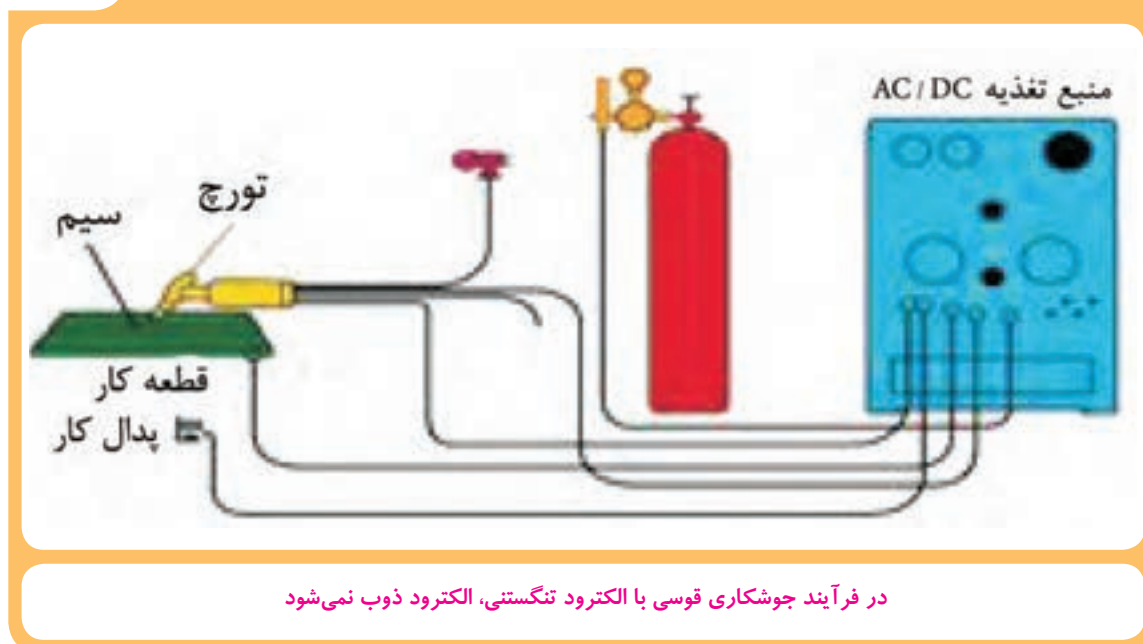
به زبان علمی تر تخلیه بار الکتریکی بین دو قطب مثبت و منفی در فضای گاز یونیزه شده<sup>۱</sup> قوس الکتریکی نامیده می‌شود. در فرآیندهای جوشکاری‌های قوسی برای ذوب کردن لبه‌های فلز پایه و ماده فلزی پرکننده درز اتصال از گرمای قوس الکتریکی استفاده می‌شود. شکل (۲-۴) قوس الکتریکی را در فرآیند جوشکاری با الکتروود روپوش دار نشان می‌دهد.

در فرآیندهای جوشکاری قوسی تخلیه الکتریکی بین دو قطب جریان (الکتروود و قطعه کار) موجب تشکیل قوس می‌شود که از طرف نوک الکتروود به طرف سطح قطعه کار یا درز اتصال می‌وزد. بر این اساس در فرآیندهای متداول جوشکاری دو نوع قوس الکتریکی وجود دارد

### الف- ایجاد قوس الکتریکی بین الکتروود مصرف نشدنی و قطعه کار

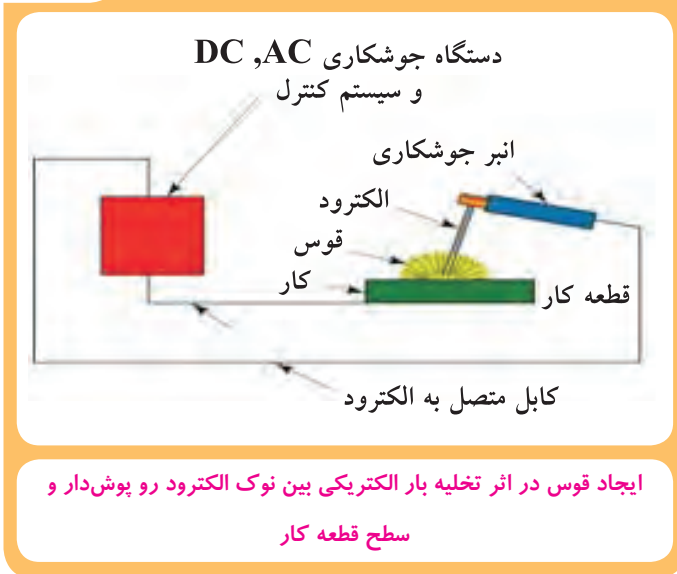
در این حالت انتقال مذاب از الکتروود به قطعه کار صورت نمی‌گیرد مثل: فرآیند جوشکاری قوسی با الکتروود تنگستن تحت پوشش گاز محافظ که در شکل (۳-۴) نمای شماتیک فرآیند مذکور نشان داده شده است.

شکل (۳-۴)



۱- گاز یونیزه‌گازی است که اجزاء تشکیل دهنده آن باردار هستند. این حالت در شرایط قوس جوشکاری بدلیل یونیزه شدن اتم‌ها و مولکول‌های گازی در اثر دمای بالای قوس الکتریکی ایجاد می‌شود.

شکل (۴-۴)



ب- ایجاد قوس الکتریکی بین الکتروود مصرف شدنی و قطعه کار در این حالت مطابق شکل (۴-۴) مذاب جدا شده از الکتروود طول قوس را طی می‌کند و به قطعه کار منتقل می‌شود. مثل: فرآیندهای جوشکاری قوس الکتروود دستی، MIG/MAG و زیر پودری.

### ۳-۴ قدرت قوس در جوشکاری

دمای قوس در فرآیند جوشکاری قوسی با الکتروود تنگستن تا حدود  $20/000$  درجه سانتیگراد و در فرآیند جوشکاری قوس با الکتروود روپوش دار تا حدود  $6000$  درجه سانتیگراد می‌رسد. این دما قادر است ترکیبات فلزی و غیر فلزی را به اتم‌های تشکیل دهنده آن تجزیه کند و یا یونیزه نماید. یاد آوری می‌شود که مرکز ستون قوس بالاترین درجه حرارت را دارا می‌باشد و هرچه از مرکز دور شویم، دما کاهش پیدا می‌کند. با این شرایط می‌توان گفت در مرکز قوس مقداری بخار فلز نیز تشکیل می‌شود که در تماس با الکترون‌های جاری در ستون قوس باعث یونیزه شدن اتم‌های فلزی می‌شود و به آن پلاسمای فلزی می‌گویند. در ستون قوس جوشکاری چون الکترون‌ها از قطب منفی به قطب مثبت منتقل می‌شوند، بنابراین برخورد الکترون‌ها به قطب مثبت باعث تولید حرارت می‌شود از این رو در قطب مثبت گرمای بیشتری توزیع می‌شود. از حرارت تولید شده در قوس، حدود  $60$  تا  $70$  درصد صرف گرم شدن و ذوب شدن الکتروود و فلز پایه می‌شود و بقیه به صورت‌های مختلف زیر تلف می‌شود:

الف- اشعه‌های مرئی و نامرئی قوس

ب- جابه‌جایی بوسیله گازهای موجود در قوس

ج- تشعشع حرارتی

د- ذوب پوشش الکتروود

### ۱-۳-۴ نیروهای موجود در قوس

در قوس الکتریکی نیروهای مختلفی مانند: نیروی الکترومغناطیسی و نیروی هیدرودینامیک (در اثر وجود میدان الکترومغناطیسی و حرکت گازها در ستون قوس) وجود دارند که باعث می‌شوند مذاب از الکتروود جدا شده و به قطعه کار منتقل شود. در جوشکاری حالت‌های عمودی یا سقفی نقش این نیروها کاملاً مشهود است و جهت این نیروها به طور معمول از طرف نوک الکتروود به طرف سطح قطعه کار می‌باشد. به این ترتیب نیروهای فوق در ستون قوس باعث راندن مذاب و سرباره الکتروود به طرف جلو قوس می‌شوند و به عملیات جوشکاری کمک می‌کنند.

### ۴-۴ الکترودهای جوشکاری

به طور کلی الکتروود به میله‌ای گفته می‌شود که هادی جریان الکتریسیته باشد و جریان برق از آن عبور کند. الکتروودهای مربوط به فرآیند جوشکاری قوسی با الکتروود روپوش‌دار که در شکل (۵-۴) نشان داده شده است از دو قسمت تشکیل شده‌اند.

شکل (۵-۴)



الکتروودهای مورد استفاده در فرآیند جوشکاری قوس الکتروودستی

#### ۱-۴-۴ میله فلزی

وظیفه آن هدایت جریان الکتریکی، تشکیل، تداوم و پایداری قوس است که از آن به عنوان ماده پرکننده درز اتصال یکپارچگی قطعات نیز استفاده می‌گردد.

## ۲-۴-۴ روپوش الكترود

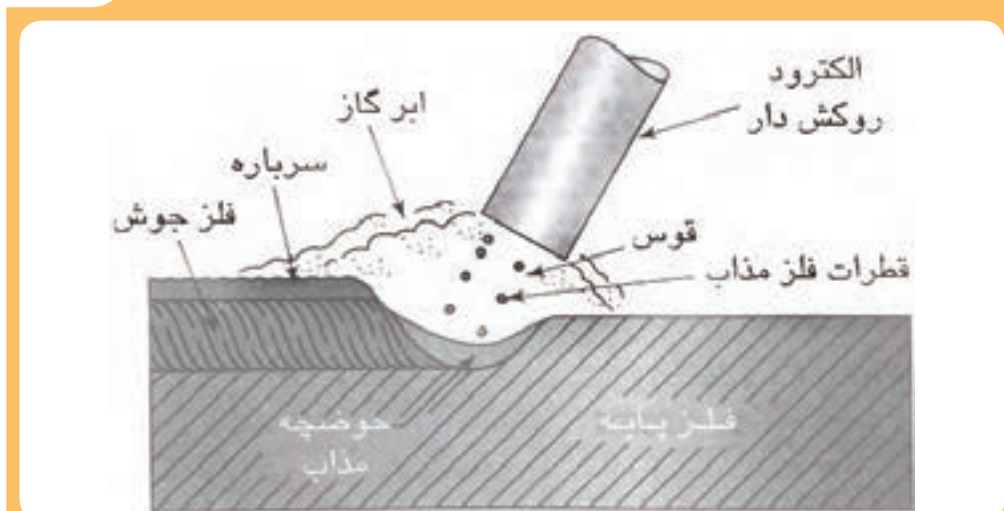
وظیفه روپوش الكترود ایجاد فضای گازی مناسب در قوس و اطراف آن است، به طوری که در اثر ذوب یا تجزیه شدن از طریق تشکیل فضای گازی یونیزه ضمن کمک به تشکیل و پایداری قوس، حوضچه مذاب، قوس و نوک الكترود را نیز از آسیب در مقابل اتمسفر مصون سازد. ضمن اینکه وظیفه دیگر روپوش الكترود نقش سرباره سازی است که به حذف ناخالصی‌ها از فلز جوش، کنترل سرعت سرد شدن و ظاهر مطلوب فلز جوش کمک می‌کند.

مغز فلزی الكترودهای روپوش دار از جنس متفاوت و در ابعاد مختلف ساخته می‌شوند و دارای دسته‌بندی‌های متنوعی از نظر مواد تشکیل‌دهنده پوشش می‌باشند که برای جوشکاری فلزات و آلیاژهای مختلف در وضعیت‌های متفاوت جوشکاری تولید و در بسته‌بندی‌های گوناگون به بازار عرضه می‌گردد.

## ۵-۴ انتقال مذاب در قوس جوشکاری

فلز جوش به قسمتی از اتصال گفته می‌شود که از مخلوط شدن مذاب لبه‌های اتصال و مذاب مغز فلزی الكترود بوجود می‌آید و به صورت ترکیب فلزی در درز اتصال رسوب می‌کند. در حین جوشکاری ذرات مذاب مطابق شکل (۶-۴) از الكترود جدا شده و به حوضچه مذاب اضافه می‌شوند.

شکل (۶-۴)



انتقال قطرات فلز مذاب از نوک الكترود به طرف سطح قطعه کار در فضای گازی ستون قوس الکتریکی

شیوه انتقال فلز مذاب از نوک الکتروود مصرفی به طرف حوضچه مذاب در سطح قطعه کار در فرآیندهای مختلف جوشکاری قوسی به حالت‌های مختلفی صورت می‌گیرد که بستگی به نوع گاز محافظ، شدت جریان و ولتاژ دارد که در ادامه به بررسی شیوه‌های متداول‌تر پرداخته می‌شود.

### ۱-۵-۴ انتقال اسپری یا پرواز آزاد<sup>۱</sup>

در این روش ذرات به صورت اسپری از الکتروود جدا شده، ستون قوس را طی می‌کنند و وارد حوضچه مذاب می‌شوند (شکل ۷-۴).

در این حالت امکان انتقال فلز مذاب از الکتروود به قطعه کار برخلاف نیروی ثقل (جاذبه زمین) عملی است.

شکل (۷-۴)



انتقال ذرات مذاب از نوک الکتروود مصرفی به طرف حوضچه مذاب به صورت اسپری

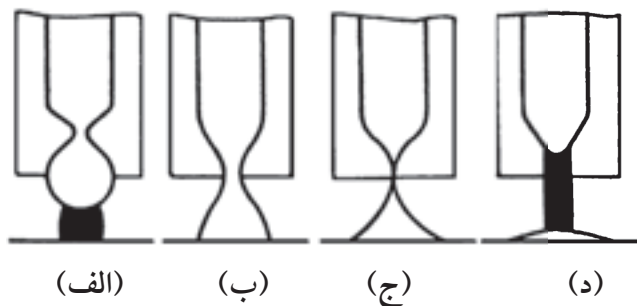
### ۲-۵-۴ انتقال مدار بسته یا اتصال کوتاه<sup>۲</sup>

در این روش قطره مذاب در نوک الکتروود شکل می‌گیرد و ضمن رشد قبل از جدا شدن کامل از الکتروود با حوضچه مذاب تماس پیدا می‌کند (شکل ۸-۴).

در این شرایط یک حالت مدار بسته یا اتصال کوتاه به وجود می‌آید که به صورت لحظه‌ای قوس خاموش می‌شود و شدت جریان افزایش می‌یابد.

شکل (۸-۴)

روند تشکیل قطره مذاب و جدا شدن آن از نوک الکتروود در اثر اتصال مدار کوتاه



انتقال مذاب از نوک الکتروود به طرف حوضچه جوش از طریق اتصال کوتاه

در نتیجه دما بالا می‌رود و قطره مذاب به داخل حوضچه جوش کشیده می‌شود. در حالت اتصال کوتاه شرایط برای بخار شدن قطره مذاب به دلیل افزایش شدت جریان و بالا رفتن دما وجود دارد. لذا در این حالت احتمال ایجاد جرقه و پاشش به اطراف درز اتصال افزایش می‌یابد.

۱- Free Flight

۲- Short Circuit



## ۶-۴ تشعشعات قوس جوشکاری

اشعه‌هایی که در قوس جوشکاری تولید می‌شوند را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم نمود.

الف- نور قابل دیدن

ب- اشعه ماوراء بنفش

ج- اشعه مادون قرمز

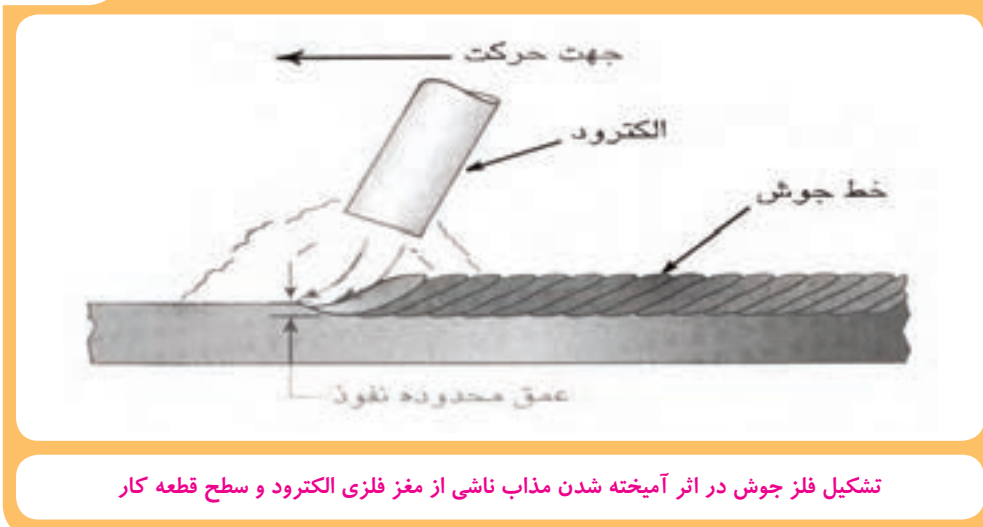
اشعه مادون قرمز مانند اشعه‌هایی است که از اجسام گداخته مثل شیشه یا فولاد گداخته ساطع می‌شود و برای پوست و مو مضر است. اشعه ماوراء بنفش یکی دیگر از اشعه‌هایی است که از قوس ساطع می‌شود و با توجه به انرژی زیاد آن نسبت به اشعه‌های دیگر بیش‌ترین صدمه را به بافت‌های بدن وارد می‌کند. ضمن اینکه موجب تشکیل ذرات خطرناکی مثل اوزن ( $O_3$ ) می‌گردد که برای انسان زیان‌آور است. هم‌چنین در قوس نور مریی شدید تولید می‌شود که به دلیل شدت آن، برای چشم مضر است.

علاوه بر اشعه‌های مذکور به دلیل حرارت زیاد قوس، مقداری بخارات فلزی در حوضچه جوش بوجود می‌آید. هم‌چنین در صورت آلوده بودن قطعه کار به رنگ یا بتونه و یا ناخالصی‌های دیگر بخاراتی تولید می‌شود که برای انسان زیان‌آور است؛ از طرف دیگر پوشش الکتروود نیز مقداری گاز و بخارات سمی تولید می‌کند که هم برای جوشکار و هم برای کسانی که در کارگاه‌های جوشکاری کار می‌کنند زیان‌بار است. لذا جوشکاران همواره باید نکات ایمنی را رعایت کرده و از وسایل ایمنی استفاده کنند تا خود و دیگران را از آسیب‌های احتمالی مصون سازند.

## ۷-۴ تشکیل فلز جوش

مغز فلزی الکتروود که به دلیل گرمای قوس ذوب می‌شود، به صورت ذرات ریز و درشت به قطعه کار منتقل می‌گردد و با مذاب لبه‌های اتصال درمی‌آمیزد و فلز جوش را تشکیل می‌دهد (شکل ۹-۴). قسمتی از پوشش الکتروود نیز در اثر سوختن یا تجزیه شدن گازهای محافظ را تولید می‌کند و بخش دیگر روپوش تشکیل سرباره می‌دهد که روی حوضچه مذاب و گرده جوش را می‌پوشاند.

شکل (۹-۴)



تشکیل فلز جوش در اثر آمیخته شدن مذاب ناشی از مغز فلزی الکتروود و سطح قطعه کار

چون جرم حجمی آن از جرم حجمی سرباره مذاب کمتر است در نتیجه روی مذاب قرار می‌گیرد و فرم و شکل مناسبی به گرده جوش می‌دهد. هم‌چنین قسمتی از مغز الکتروود به صورت جرقه و ذرات ریز به اطراف فلز جوش پاشیده می‌شود که جزء تلفات و ضایعات جوشکاری است. در الکتروودهای معمولی حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد از وزن مغز فلزی الکتروود، به صورت ذرات جرقه و ته الکتروود به ضایعات تبدیل می‌شود. بنابراین حدود ۷۰ درصد وزنی مغز الکتروود، گرده جوش را تشکیل می‌دهد.

در بعضی از انواع الکتروودها به روپوش الکتروود مقداری پودر آهن اضافه می‌کنند تا نرخ رسوب افزایش یابد و بازده الکتروود بیشتر شود. در مواردی هم بعضی از ترکیبات روپوش الکتروود عمل آلیاژسازی را بر عهده دارند و استحکام فلز جوش را بالا می‌برند.

## نمونه سؤالات آزمون پایانی

۱- گرمای قوس جوشکاری در چه حدودی است؟

الف) تقریباً دو برابر نقطه جوش فولاد

ب) حدود دو برابر درجه ذوب فولاد

ج) چند درجه بیشتر از دمای جوشیدن فولاد مذاب

د) مساوی دمای ذوب فولاد

۲- چرا بخار فلزی و گازها در فضای قوس یونیزه می‌شوند؟

الف) برخورد الکترون‌های جاری در فضای قوس با ذرات موجود در ستون قوس

ب) حرارت شدید قوس

ج) نور شدید موجود در قوس

د) به برخورد اتم‌های فلز با اتم‌های عناصر موجود در پوشش الکتروود

۳- شکل قوس چگونه است و کجا تشکیل می‌شود؟

الف) شکل استوانه دارد و بین سطح قطعه کار و نوک الکتروود ایجاد می‌شود.

ب) شکل مخروط ناقص دارد و از نوک الکتروود به طرف سطح قطعه کار شکل می‌گیرد.

ج) شکل مخروط ناقص دارد. که نوک آن به طرف قطعه کار است

د) شکل‌های متفاوتی به خود می‌گیرد.

۴- بیشترین دمای قوس مربوط به کدام ناحیه از قوس است؟

الف) در نزدیک قطب منفی

ب) در جوار قطب مثبت

ج) در مرکز قوس

د) در کناره‌ها

۵- نیروی هیدرودینامیکی در قوس ناشی از ..... است؟

الف) حرکت الکترون‌ها

ب) حرکت گازها

ج) فوران الکترونی

د) نور مرئی شدید

## ۶- کدام یک از وظایف روپوش الکتروود به حساب نمی آید؟

- الف) پایداری قوس  
 ب) تشکیل فلز جوش  
 ج) محافظت از مذاب  
 د) سرباره سازی

## ۷- انتقال به صورت مدار بسته یا اتصال کوتاه یعنی اینکه:

- الف) قطره مذاب بین نوک الکتروود و سطح قطعه کار پل ایجاد می کند.  
 ب) مذاب از نوک الکتروود جدا شده به طرف سطح قطعه کار جهش می کند.  
 ج) مذاب از نوک الکتروود به صورت بخار جدا می شود و به سطح قطعه کار می رسد.  
 د) بخار فلزی، ستون قوس را تشکیل می دهد.

## ۸- در قوس کدام یک از اشعه های زیر تولید می شود؟

- الف) ماوراء بنفش  
 ب) مادون قرمز  
 ج) نور مرئی  
 د) تمام موارد