

اثر طراحی و اجرای اتصالات جوشی بر آسیب پذیری لرزه ای سازه های فولادی

چکیده

باگذشت حدود ۵۰ سال از کاربرد اتصالات جوشی در صنعت ساختمان در ایران هنوز نقایص زیادی در اجرای ساختمانهای فولادی جدید مشاهده می شود. در یک بررسی اولیه عوامل زیر را می توان به عنوان دلایل اصلی نقایص ذکر کرد:

عدم طرح دقیق اتصالات جوشی با توجه به عملکرد مورد نظر آنها
عدم انطباق اجرای معمول ساختمان با آئین نامه ها و دستورالعملها
کیفیت پائین جوش به علت عدم وجود آموزش کلاسیک کافی در این زمینه برای مهندسان و جوشکاران
نبود نظارت اصولی و دقیق بر اجرای جوشکاری در ساختمانهای شهری در کشور.

در این مقاله بعد از مرور خرابیهای سازه های فولادی در زلزله های گذشته ایران و جهان سعی گردیده تا طراحی و اجرای معمول و سنتی سازه های فولادی جوش شده در کشور با حالت قابل قبول آن مقایسه گردد. برای این منظور از آئین نامه های معمول طراحی سازه های فولادی ایران و آئین نامه های طراحی کشورهای صنعتی زلزله خیز استفاده شده تا مشخص شود که چه مواردی از اجرا یا آئین نامه ها و دستورالعملهای اجرائی همخوانی ندارد. علاوه بر آن مطالعه ای بر روی نقاط ضعفی که ناشی از اجرای جوش می باشد انجام گرفته و در پایان پیشنهاداتی برای بهبود وضع موجود و کاهش خطرات ناشی از زلزله ها در این نوع سازه ها ارائه گردیده است.

مقدمه

سازه فولادی از مجموعه ای از اعضای باربر ساخته شده از نیمرخهای فولادی یا ورق می باشد که به کمک اتصالات به یکدیگر متصل می گردند. با توجه به روشهای تکامل یافته ای که برای تولید نیمرخ های فولادی به کار گرفته می شود این مقاطع غالباً رفتار در حد قابل انتظاری از خود نشان می دهند. مساله بسیار مهم رفتار اتصالاتی است که الف) برای ساخت اعضای مرکب از نیمرخ و ورق برای یکپارچه نمودن اعضا (شامل تیر و ستون و مهاربندها) در محل گره ها مورد استفاده قرار می گیرد. وسایلی که برای ساخت اعضا و اتصال آنها به یکدیگر به کار می رود شامل پیچ و پرچ و جوش است. در این میان استفاده از جوش در ساختمان سازی متعارف در ایران بسیار رایج است. تا زمان وقوع زلزله نورث ریج (۱۹۹۴) تصور بر این بود که در صورت رعایت اصول فنی در طرح و اجرای سازه های فولادی جوشی این سازه هادر زلزله عملکرد قابل قبولی از خود نشان می دهند. اما وقوع این زلزله این فرض را زیر سوال برد. در این زلزله

مشاهده شد که در بسیاری از اتصالات ، در محل درز جوش اتصال ، فلز مادر (Base metal) دچار ترک یا بعضاً شکست شده است. این مساله باعث شد تا تحقیقات گسترده ای در مورد علت این پدیده صورت گیرد که این تحقیقات تا به امروز ادامه دارد. از طرف دیگر مشاهده و تحقیق درباره وضعیت ساخت و ساز ساختمانهای فولادی نشان می دهد که اتصالات جوشی متداول در ایران از کیفیت مناسبی برخوردار نیستند و با وجود سابقه نسبتاً طولانی در استفاده از جوشکاری در صنعت ساختمان هنوز نقایص زیادی در این زمینه مشاهده می شود .

عملکرد لرزه ای ساختمانهای فولادی

براساس تجربه های حاصل از زلزله های گذشته و مطالعات انجام گرفته سازه هایی در برابر زلزله دارای عملکرد بهتری هستند که بتوانند ضمن حفظ پایداری و انسجام کلی خود انرژی ناشی از زلزله را تا حد امکان جذب و مستهلک نمایند. با توجه به منحنی نیرو-تغییر مکان سازه ها و توجه به این مطلب که سطح بین منحنی نیرو-تغییر مکان و محور تغییر مکان نشان دهنده میزان انرژی جذب شده توسط سازه است. هر چه سازه شکل پذیرتر باشد انرژی بیشتری را هنگام زلزله جذب کرده و رفتار مطلوبتری دارد. فولاد نرمه به علت طبیعت شکل پذیر از این نظر ماده مناسبی می باشد و می تواند میزان زیادی انرژی جذب کند. اما تجربه نشان داده است که در سازه های فولادی در صورت عدم استفاده از اتصالات مناسب عملکرد مناسب لرزه ای آنها مناسب و قابل قبول نخواهد بود و در اثر زلزله دچار شکست سازه ای و یا انهدام خواهد شد. در زلزله منجیل (۱۳۶۹) مشاهده شد که تعدادی از ساختمانهای فولادی دچار تخریب کامل شدند. رفتار این سازه ها در این زلزله ثابت کرد که در بسیاری از موارد سازه های موجود دارای سیستم مقاوم زلزله مناسبی نیستند. استفاده از تیرهای خورجینی (تیرهای سرتاسری در دو طرف ستون با اتصال نبشی) و عدم شناخت سیستم حاصل و مدل صحیح برای این اتصالات باعث شده این سیستم از نظر مهندسی زلزله بسیار آسیب پذیر تلقی گردد. درس حاصل از این زلزله کیفیت پایین ساخت و ساز شهری بود که در سالهای اخیر تلاشهایی برای اصلاح آن به عمل آمده است. در زلزله نورث ریج آمریکا مشاهده شد که در بسیاری از ساختمانهای فولادی اتصال تیرها و ستونها دچار ترک و یا بعضاً شکست شد. بیشتر این ترکها و شکستها در بال ستون اتفاق افتاده است .

صنعت جوشکاری ساختمان در ایران

با گذشت ۵۰ سال از استفاده از جوش در ساختمان دهه اخیر (۸۰-۱۳۷۰) از نظر تعداد ساختمانهایی که با سازه های فولادی طراحی و اجرا شده اند کاملاً استثنایی به شمار می آید. در نیمه دوم این دهه دهها هزار سازه فولادی در تهران و شهرهای بزرگ ایران به ناگهان سر از زمین برآورد. گسیل سرمایه ها به سوی ساخت و ساز شهری و تبدیل ساخت سرپناه به ماشین سرمایه گذاری جهت سودهای کلان باعث گردید تا رعایت اصول فنی و ایمن سازی ساختمانها در برابر زلزله در برابر منفعت طلبی صاحبکاران عملاً مورد توجه قرار نگیرد. از طرف حجم عظیم ساخت و ساز نیروز انسانی زیادی اعم از مهندس و تکنسین و جوشکار احتیاج داشت که باعث ورود افراد غیرمتخصص به این جرگه گردید. تمامی این مسائل دست به دست هم داد تا طرح و اجرای ساختمانهای فولادی آنچنان که باید از کیفیت

مطلوبی برخوردار نباشد. تخریب کلی ساختمانهای فولادی در زلزله منجیل موید پایین بودن کیفیت ساختمانهای فولادی کشور می باشد. از میان تمامی عوامل دخیل در طرح و ساخت سازه های فولادی اتصالات جوشی از نارساییهای بیشتری برخوردارند. علل اصلی پایین بودن کیفیت جوش در ساخت و سازه های شهری را می توان به

صورت	زیر	بیان	نمود	:
عدم انطباق اجرای معمول سازه های فولادی با آیین نامه ها و دستورالعملها				
کیفیت پایین جوش به علت عدم آموزش کلاسیک کافی در این زمینه برای جوشکاران و مهندسان				
نبود نظارت اصولی و دقیق بر اجرای جوشکاری در ساختمانهای شهری در کشور				
عدم طرح دقیق اتصال جوشی با توجه به عملکرد مورد نظر آنها				
عدم انطباق اجرای معمول سازه های فولادی با آیین نامه ها و دستورالعملها				

در بسیاری از موارد طرز اجرای متداول جوش با جزییات ارایه شده در آیین نامه تطابق ندارد. این موارد ناشی از موارد متعددی است که از میان آنها به موارد زیر می توان اشاره کرد :

الف) آشنا نبودن مهندسین سازه به مسایل اجرایی و در نتیجه ارایه نقشه ها و جزئیات غیرقابل اجرا

ب) گران تر بودن هزینه اجرای جزییات آئین نامه نسبت به روش سنتی اجرا

پ) آگاه نبودن کارفرما و یا مهندس مجری طرح به جزییات آئین نامه و عدم

توانایی در تمیز دادن حالات مختلف از یکدیگر

بعد از اجباری شدن آیین نامه ۲۸۰۰ (۱۳۶۸) اهمیت وجود سیستم مقاوم در برابر زلزله از یک طرف و محدودیتهای معماری برای استفاده از سیستم مهاربندی از طرف دیگر باعث استفاده روزافزون از سیستم قاب خمشی در جهت عرضی ساختمانها شد. در این سیستم اتصال تیر به ستون از نوع گیردار بوده یعنی باید توانایی انتقال برش و لنگراز تیر به ستون وجود داشته باشد. در این نوع اتصالات از ورقهای بالاسری و زیرسری که در محل اتصال به ستون برای ایجاد جوش نفوذی کامل خورده است استفاده می شود. اما از آنجاییکه متاسفانه عملیات جوشکاری در محل کارگاههای ساختمانی و نه در محل کارخانه صورت می گیرد کنترل کیفیت جوش بخصوص در هنگام مونتاژ در ارتفاع زیاد از سطح زمین حتی به صورت عینی (Visual) امکان پذیر نمی باشد. همچنین معمولا در محل اتصال ورق به ستون به جای جوش نفوذی از جوش گوشه استفاده می شود در نتیجه هنگام زلزله این نقاط علاوه بر تحمل نیروی کمتر در حالت تردشکن گسیخته خواهد شد. زمانی که در یک عضو فشاری ازدومقطع در کنار یکدیگر استفاده می شود باید هم پایداری کل عضو به عنوان یک المان و هم پایداری تک تک مقاطع کنترل شود تا هیچکدام تحت تاثیر نیروی فشاری به طور جداگانه دچار کمانش نشوند. برای این منظور این مقاطع باید در فواصل مشخص به یکدیگر متصل شوند تا طول آزاد آنها کاهش یابد. بسیاری از اوقات بادبندهای دویل در طول خود به یکدیگر وصل نمی شوند و در نتیجه دومقطع بایکدیگر عمل نمی کنند و بار بحرانی عضو کمتر از مقداری است که مهندس سازه در محاسبات خود منظور نموده

است. مبحث دهم مقررات ملی ساختمان حداکثر فاصله بین جوش دومقطع در ستونهای ترکیبی را مقرر نموده است. اما در موارد زیادی مشاهده می شود که فاصله بین جوش ستونها بیشتر از این مقدار است .

کیفیت پایین جوش به علت عدم آموزش کلاسیک کافی در این زمینه برای جوشکاران

مهندسان

و

یکی از مهمترین اشکالات موجود در اجرای ساختمانهای فولادی در کشور کیفیت پایین جوشکاری ساختمان می باشد. عوامل مختلفی در این امر تاثیر می گذارند. استفاده از جوشهای کارگاهی حتی در مورد جوشهای نفوذی و اجرای کل جوشکاری در کارگاه ساختمانی و استفاده از نیروی انسانی غیرمغرب از عوامل اصلی پایین آمدن کیفیت جوشکاری ساختمان می باشد. در نتیجه عوامل برشمرده شده مشکلات عدیده ای گریبانگیر اتصالات جوشی می باشد . در بسیاری از موارد سطح فلز در حال جوش آلوده به روغن یا مواد نامناسب دیگر است و یا اینکه روی فلز زنگ زده یا رنگ خورده جوش داده می شود. گاه در فاصله بین پاسهای متوالی جوش حتی از جدا نموده گل جوش نیز خودداری می شود و یابدون برداشتن گل جوشکاری اقدام به زدن رنگ ضدزنگ می شود. از انواع جوشهایی که در کارهای ساختمانی بسیار از آن استفاده می شود جوش سربالا می باشد. به علت سختی اجرا در غالب موارد این نوع جوش از کیفیت پایینی برخوردار است. در بسیاری از موارد در اثر استفاده از تکنیکهای نامناسب جوشکاری نقایصی چون تابیدگی و پیچش در قطعات اتفاق می افتد .

عیوبی نظیر نفوذ ناقص بریدگی کناره جوش اختلاط سرباره تخلخل و وجود ترک در فلز مادر باعث کاهش ظرفیت باربری قطعات می شود. یکی از متداولترین اشکال مقاطع مورد استفاده در سازه های فولادی تیرهای لانه زنبوری می باشد. بسیاری از مجریان طرح این تیرها را در وضعیت نامطلوبی در کارگاه ساختمانی مونتاژ می کنند. در بسیاری از موارد جوش میانی تیر از کیفیت پایینی برخوردار است و با توجه به اهمیت عملکرد مناسب این قسمت و تقویتیهای لازم درمجل تکیه گاه تیر و وسط آن صورت نمی پذیرد. متاسفانه طراحی و اجرای پلکانهای فولادی در ساختمانها نیز از کیفیت پایینی برخوردار است و با توجه به اهمیت عملکرد مناسب این قسمت ساختمان پس از زلزله دقت لازم در ساخت آن مبذول نمی شود .

نبود نظارت اصولی و دقیق بر اجرای جوشکاری در ساختمانهای شهری در کشور

با توجه به اهمیتی که شهرداری برای مسایلی از قبیل پارکینگ و نورگیرها و مسایلی از این دست قایل است مشاهده می شود که بیشتر توجه مهندسان نیز به این امور معطوف می باشد و توجه چندانی به مسایل سازه ای نمی شود. البته باید به این نکته نیز اشاره شود که به علت عدم وجود آموزش جوشکاری در واحدهای درسی دانشجویان عمران مهندسی که از دانشگاه فارغ التحصیل می شوند در این زمینه دارای اطلاعات کافی نیستند و به عنوان مهندس ناظر نمی توانند مسوولیت خود را به نحواحسن انجام دهند. البته باید به این موارد مساله سختی کار را نیز افزود. به علت

جوشکاری در ارتفاع غالب مهندسین از انجام بازدید از این جوشها طفره می روند. در نهایت امر اینکه آنطور که از ظواهر امر مشخص است شهرداریها نیز در این زمینه کوچکترین نقشی ایفا نمی کنند و هیچگونه نظارتی بر اجرای ساختمانها ندارند

عدم طرح دقیق اتصال جوشی با توجه به عملکرد مورد نظر آنها

بسیاری از کارفرمایان عمل طراحی سازه و ایجاد تمهیدات مقابله با زلزله را یک امر زاید می دانند و تلاش می کنند تا کمترین هزینه ممکن را صرف این کار نمایند. از طرف دیگر شهرداریها کمترین نظارتی بر طرح و اجرای سازه ها نداشته فقط به مسایل معماری دقت می کنند. این عوامل دست به دست هم می دهد تا فقط حق امضای مهندسین سازه اهمیت داشته باشد و طرح از حداقل اهمیت برخوردار باشد به خاطر همین موضوع مهندسین سازه اغلب کمترین وقت را صرف این عمل می نمایند و بالطبع دقت لازم را در طرح اتصالات جوشی مبذول نمی شود. بعضی اوقات از اتصالات طرح شده برای یک ساختمان در نقشه های دیگر ساختمانها استفاده می شود. در بسیاری از موارد جزئیات اتصالات موجود در نقشه ها نامفهوم بی دقت و ناقص است .

نتیجه گیری و پیشنهادات

از بررسی های انجام شده بر روی ساخت و ساز ساختمانهای فلزی در سطح تهران مشخص است که هنوز مشکلات زیادی در طرح و اجرای این سازه ها وجود دارد. و عمده مشکلات و نقایص مربوط به اتصالات جوشی است. اجرای جوش کارگاهی و نبود آموزش کافی برای مهندسان عمران و عدم نظارت کافی بر حسن اجرای جوش و ... مشکلاتی است که این صنعت را رنج میدهد. و برای رفع این موارد بهترین راه در صورت امکان استفاده از جوش در کارخانه به

جای	جوش	کارگاهی
بالابردن سطح آگاهی عمومی جامعه درباره زلزله بر ساختمانها		
آموزش جوشکاری به جوشکاران و دادن گواهینامه به جوشکاران ماهر ساختمانی		
آموزش جوشکاری به عنوان واحد درسی به مهندسین عمران و یا ایجاد شاخه جدیدی تحت عنوان بازرسی جوش اسکات برای مهندسین ناظر		
تقویت سیستم نظارتی موجود و ایجاد سیستم های نظارتی ناظر بر کار مهندسین عمران		

جوشکاری با گاز یا شعله

جوشکاری با گاز شعله یکی از اولین روشهای جوشکاری معمول در قطعات آلومینیومی بوده و هنوز هم در کارگاههای کوچک در صنایع ظروف آشپزخانه و دکوراسیون و تعمیرات بکار میرود. در این روش فلاکس یا روانساز یا تنه کار برای برطرف کردن لایه اکسیدی بکار میرود .

مزایا: سادگی فرایند و ارزانی و قابل حمل و نقل بودن وسایل محدود: کاربرد: ورقهای نازک ۰/۸ تا ۱/۵ میلیمتر محدودیتها: باقی ماندن روانساز لابلای درزها و تسریع خوردگی - سرعت کم - منطقه H.A.Z وسیع است . قطعات بالاتر از ۲/۵ میلیمتر را به دلیل عدم تمرکز شعله و افت حرارت بالین روش جوش نمیدهند .

حال می پردازیم به چگونگی تامین حرارت در این فرایند

حرارت لازم در این روش از واکنش شیمیایی گاز با اکسیژن بوجود می آید . حرارت توسط جابجایی و تشعشع به کار منتقل می شود. قدرت جابجایی به فشار گاز و قدرت تشعشع به توان چهارم درجه حرارت شعله بستگی دارد. لذا تغییر اندکی در درجه حرارت شعله می تواند میزان حرارت تشعشعی و شدت آنرا بمقدار زیادی تغییر دهد. درجه حرارت شعله به حرارت ناشی از احتراق و حجم اکسیژن لازم برای احتراق و گرمای ویژه و حجم محصول احتراق (گازهای تولید شده) بستگی دارد. اگر از هوا برای احتراق استفاده شود مقدار ازتی که وارد واکنش سوختن نمی شود قسمتی از حرارت احتراق را جذب کرده و باعث کاهش درجه حرارت شعله می شود. بنابراین تنظیم کامل گاز سوختنی و اکسیژن لازمه ایجاد شعله بادرجه حرارت بالاست. گازهای سوختنی نظیر استیلن یا پروپان یا هیدروژن و گاز طبیعی نیز قابل استفاده است که مقدار حرارت احتراق و در نتیجه درجه حرارت شعله نیز متفاوت خواهد بود. در عین حال معمولترین گاز سوختنی گاز استیلن است . تجهیزات و وسایل اولیه این روش شامل سیلندر گاز اکسیژن و سیلندر گاز استیلن یا مولد گاز استیلن و رگولاتور تنظیم فشار برای گاز و لوله لاستیکی انتقال دهنده گاز به مشعل و مسعل جوشکاری است . استیلن با فرمول C_2H_2 و بوی بد در فشار بالا ناپایدار و قابل انفجار است و نگهداری و حمل و نقل آن نیاز به رعایت و مراقبت بالا دارد. فشار گاز در سیلندر حدود ۲۲۰۰ psi است و رگولاتورها این فشار را تا زیر ۱۵ psi پایین می آورند. و به سمت مشعل هدایت می شود. (در فشارهای بالا ایمنی کافی وجود ندارد). توجه به این نکته نیز ضروری است که اگر بیش از ۵ مترمکعب در ساعت از استیلن استفاده شود از سیلندر استن بیرون خواهد زد که خطرناک است . بعضی اوقات از مولدهای استیلن برای تولید گاز استفاده می شود. بر اساس ترکیب سنگ کربید با آب گاز استیلن تولید می شود



روش تولید گاز با سنگ کربید به دو نوع کلی تقسیم می شود .

- ۱- روشی که آب بر روی کربید ریخته می شود
- ۲- روشی که کربید با سطح آب تماس حاصل می کند و باکم و زیاد شده فشار گاز سطح آب در مخزن تغییر می کند .

رگولاتورها (تنظیم کننده های فشار) هم دارای انواع گوناگونی هستند و برای فشارهای مختلف ورودی و خروجی

مختلف طراحی شده اند. رگولاتورها دارای دو فشارسنج هستند که یکی فشار داخل مخزن و دیگری فشار گاز خروجی را نشان می دهند. رگولاتورها در دو نوع کلی یک مرحله ای و دو مرحله ای تقسیم می شوند که این تقسیم بندی همان مکانیزم تقلیل فشار است. ذکر جزئیات دقیق رگولاتورها در اینجا میسر نیست اما اطلاع از فرایند تنظیم فشار برای هر مهندسی لازم است (حتما پیگیر باشید).

کار مشعل آوردن حجم مناسبی از گاز سوختنی و اکسیژن سپس مخلوط کردن آنها و هدایتشان به سوی نازل است تا شعله مورد نظر را ایجاد کند.

اجزا مشعل: الف- شیرهای تنظیم گاز سوختنی و اکسیژن ب- دسته مشعل ج- لوله اختلاط د- نازل

قابل ذکر اینکه طرحهای مختلفی در قسمت ورودی گاز به لوله اختلاط مشعل وجود دارد تا ماکزیمم حرکت اغتشاشی به مخلوط گازها داده شود و سپس حرکت گاز در ادامه مسیر در ادامه مشعل کندتر شده تا شعله ای آرام بوجود آید.

در انتها یادآور می شود مطالب بسیار زیادی در این خصوص وجود داشت که بدلیل عدم امکان نمایش تصاویر که عمدتا اسکن هم نشده اند بیش از این به شرح و توضیح آنها نپرداختم. از جمله این مطالب شناسایی نوع شعله (از لحاظ قدرت و کاربرد) بود. یا نشان دادن چند نوع رگولاتور از نمای شماتیک و ... اما هیچکدام از این مطالب و عکسها جایگزین چند ساعت تمرین عملی در کارگاه نیست.

پیچیدگی

((Distortion

پیچیدگی و تغییر ابعاد یکی از مشکلاتی است که در اثر اشتباه طراحی و تکنیک عملیات جوشکاری ناشی می شود. با فرض اجتناب از ورود به مباحث تئوریک تنها به این مورد اشاره می کنیم که حین عملیات جوشکاری به دلیل عدم فرصت کافی برای توزیع یکنواخت بار حرارتی داده شده به موضع جوش و سرد شدن سریع محل جوش انقباضی که میبایست در تمام قطعه پخش می شد به ناچار در همان محدوده خلاصه می شود و این انقباض اگر در محلی باشد که از نظر هندسی قطعه زاویه دار باشد منجر به اعوجاج زاویه ای (Angular distortion) می شود. در نظر بگیرید تغییر زاویه ای هرچند کوچک در قطعات بزرگ و طویل چه ایراد اساسی در قطعه نهایی ایجاد می کند.

حال اگر خط جوش در راستای طولی و یا عرضی قطعه باشد اعوجاج طولی و عرضی (Longitudinal shrinkage or Transverse shrinkage) نمایان میشود. اعوجاج طولی و عرضی همان کاهش طول قطعه نهایی قطعه می باشد. این موارد هم بسیار حساس و مهم هستند.

نوع دیگری از اعوجاج تاول زدن یا طبله کردن و یا قپه ((Bowling می باشد.

ذکر یکی از تجربیات در این زمینه شاید مفید باشد. قطعه ای به طول ۲۰ متر آماده ارسال برای نصب بود که بنا به خواسته ناظر میبایست چند پاس دیگر در تمام طول قطعه جوش داده می شد. تا ساق جوش ۳-۲ میلیمتر بیشتر شود. بعد از انجام اینکار کاهش ۲۷ میلیمتری در قطعه بوجود آمد. و این یعنی فاجعه. چون اصلاح کاهش طول معمولا

امکان پذیر نیست و اگر هم با روشهای کارگاهی کلکی سوار کنیم تنها هندسه شکل را اصلاح کرده ایم و چه بسا حین استفاده از قطعه آن وصله کاری توان تحمل بارهای وارده را نداشته باشد و ایرادات بعدی نمایان شود .
بهترین راه برای رفع این ایراد جلوگیری از بروز Distortion است. و (طراح یا سرپرست جوشکاری خوب) کسی که بتواند پیچیدگی قطعه را قبل از جوش حدس بزند و راه جلوگیری از آن را هم پیشنهاد بدهد .

بعضی راهکارهای مقابله با اعوجاج :

اندازه ابعاد را کمی بزرگتر انتخاب کرده... بگذاریم هر چقدر که میخواهد در ضمن عملیات تغییر ابعاد و پیچیدگی در آن ایجاد شود. پس از خاتمه جوشکاری عملیات خاص نظیر ماشین کاری... حرارت دادن موضعی و یا پرسکاری برای برطرف کردن تاب برداشتن و تصحیح ابعاد انجام میگیرد .

حین طراحی و ساخت قطعه با تدابیر خاصی اعوجاج را خنثی کنیم .

از تعداد جوش کمتر با اندازه کوچکتر برای بدست آوردن استحکام مورد نیاز استفاده شود .

تشدید حرارت و تمرکز آن بر حوزه جوش در اینصورت نفوذ بهتری داریم و نیازی به جوش اضافه نیست .

از دیاد سرعت جوشکاری که باعث کمتر حرارت دیدن قطعه می شود .

در صورت امکان بالا بردن ضخامت چراکه در قطعات با ضخامت کم اعوجاج بیشتر نمود دارد .

تا حد امکان انجام جوش در دوطرف کار حول محور خنثی

طرح مناسب لبه مورد اتصال که اگر صحیح طراحی شده باشد میتواند فرضا مصالح جوش را در اطاف محور خنثی پخش کند و تاحد زیادی از میزان اعوجاج بکاهد .

بکار بردن گیره و بست و نگهدارنده باری مهار کردن انبساط و انقباض ناخواسته در قطعه

عوامل مهم بوجود آمدن اعوجاج :

حرارت داده شده موضعی ، طبیعت و شدت منبع حرارتی و روشی که این حرارت به کار رفته و همچنین نحوه سرد شدن

درجه آزادی یا ممانعت بکار رفته برای جلوگیری از تغییرات انبساطی و انقباضی. این ممانعت ممکن است در طرح قطعه وجود داشته باشد و یا از طریق مکانیکی (گیره یا بست یا نگهدارنده و خالجوش) اعمال شود .

تنش های پسماند قبلی در قطعات و اجزا مورد جوش گاهی اوقات موجب تشدید تنش های ناشی از جوشکاری شده و در مواردی مقداری از این تنش ها را خنثی می کند .

خواص فلز قطعه کار واضح است که در شرایط مساوی طرح اتصال (هندسه جوش) و جوشکاری مواردی مانند میزان حرارت جذب شده در منطقه جوش و چگونگی نرخ انتقال حرارت و ضریب انبساط حرارتی و قابلیت تغییر فرم پذیری و استحکام و بعضی خواص دیگر فلز مورد جوش تاثیر قابل توجهی در میزان تاب برداشتن دارد. مثلا در قطعات فولاد آستنیتی زنگ نزن مشکل پیچیدگی به مراتب بیشتر از فولاد کم کربن معمولی می باشد .

یک نمونه کامل برای PQR که در صفحه یک به شرح اتصال پرداخته شده و در صفحات بعد ۲ و ۳ نتایج آزمایشات ارایه شده

نکته ای جالب تعدد آزمایشات است و تصور میکنم به خاطر استفاده از استاندارد BS است که سختگیرانه است. در استاندارد AWS تعداد آزمایشات از ۶ فراتر نمیرود

دوستان و همکاران گرامی در صورتیکه نکات قابل ذکر و کاربردی در این زمینه دارند برای اطلاع دیگران و اعتلای سطح علمی دیگر همکاران میتوانند در این صفحه در اختیار دیگران بگذارند. با کمال میل منتظر نظرات شما هستم

توضیحاتی پیرامون PQR & WPS

در نظر بگیرید در کارخانه ای بزرگ که تعداد زیادی پروژه در دست انجام است مسوول کنترل کیفی و یا ناظر هستیم. و با انواع و اقسام حالات جوشکاری برخورد می کنیم... انواع الکترودها، ورقها با ضخامتهای متفاوت، ماشینهای مختلف که تحت شرایط خاصی تنظیم شده است، جوشکاران که اغلب به روش سنتی (بدون رعایت اصول علمی) جوشکاری میکنند را در نظر بگیرید. بهترین کار چک کردن کار با کتابچه ای است که به عنوان WPS ((Welding Procedure specification معروف است. هر چند کاربرد اصلی این دفترچه برای پرسنل تولید است اما در واقع زبان مشترک تولید کننده و بازرس و ناظر می باشد که در بعضی مواقع کارفرماهای بزرگ خودشان WPS مورد قبول خود را به سازنده ارایه می کنند و بنای بازرسی ها را بر اساس آن قرار می دهند. فکر می کنم تا حدودی مفهوم را ساده کرده باشم

استاندارد مرجع AWS حدود ۱۷۰ نوع اتصال را با پوزیشنهای متفاوت معرفی کرده و انواع پارامترهای جوشکاری را برای تمامی انواع فرایندها (SMAW-MIG/MAG-TIG-SAW-...) معرفی کرده این متغیرها شامل محدوده ضخامت مجاز برای نوع اتصال - دامنه تغییرات مجاز برای آمپر - ولتاژ - قطر الکترودها - نوع پودر - زاویه کونیک کردن - روش پیش گرم و پس گرم - و ... می باشد. که بخشی از وظیفه QC_MAN کنترل میزان تطابق روش جاری جوشکاری با روش مشخص شده در WPS است. در بعضی از موارد خاص که استاندارد روش خاصی ارایه نداده اغلب یک طراح جوش بنا به تجربیات خود پروسه جری ارایه می دهد. در بعضی شرکتها بزرگ برای هر پروژه ای یک دفترچه WPS موجود است اما از آنجا که روشها و امکانات موجود هر کارخانه اغلب ثابت است لذا بنظر میرسد که نیازی به WPS-های متفاوت نباشد. و تجربه نشان داده که برای کارهای مشخص و ثابت بهتر است یک WPS تهیه شود و از تعدد ایجاد مدارک و مستندات دست و پاگیر جلوگیری شود. یک WPS معمولی میتوانید در حدود ۲۰۰-۲۵۰ صفحه باشد. یعنی به همین تعداد اتصالات مختلف را نشان داده و روش جوشکاری مربوطه را توضیح داده است

PQR

(Procedure

Qualification

Record)

(ابتدا توضیح کوتاهی در مورد خود PQR لازم است که باید گفت PQR نتایج آزمایشات مخرب و غیر مخرب در

مورد یک نوع مسخص جوش است. که از طرف آزمایشگاههای معتبر باید ارایه شود (حال به این سوال میرسیم که از کجا اعتبار یک WPS را بفهمیم؟ ومدیران خط تولید یا تضمین کیفیت و یا ناظران و کنترل کیفیت چطور از اعتبار WPS اطمینان حاصل می کنند؟

قطعا آن قسمت از WPS که از متن استاندارد استخراج شده نیاز به این کار ندارد چراکه تمامی موارد پیشنهادی استاندارد هم حاصل تجربیات گروه زیادی از متخصصان بوده است و فلسفه استفاده از استاندارد کوتاه کردن مسیر تجربه است تا زودتر به نتیجه دلخواه برسیم. ولی جدا از نحوه برداشت ما از استاندارد در استاندارد AWS مشخصا به این موضوع اشاره شده که برای موارد پیشنهادی استاندارد نیازی به PQR نیست . اما برای آن مواردی که از استاندارد استخراج نشده و پیشنهاد واحد طراحی و یا مشاور طرح بوده باید حتما PQR تهیه شود .

PQR:

تهیه

روش

فرض کنیم نیاز داریم برای ۷۰ نوع از انواع اتصالات PQR تهیه کنیم. آیا باید ۷۰ نمونه تهیه کنیم؟ و آیا این کار عاقلانه است؟ مسلما خیر .

بنابر جداول مربوط به تهیه نمونه برای PQR می توان تعداد ار کمتری برای تاییدیه روش جوشکاری (PQR) تهیه کرد به این ترتیب که در جداول مربوطه بنا بر تغییرات ضخامت قطعات در اتصالات شبیه یه هم تعداد نمونه و نوع و تعداد آزمایشات برای آن نمونه معرفی شده. که پس از فرستادن قطعات به آزمایشگاههای ذیصلاح و گرفتن جواب مثبت میتوان به آن WPS اعتماد کرد و جوشکاری را آغاز کرد .

:

مثال

فرض کنید دفترچه WPS را برای تهیه PQR در اختیاردارید. مراحل زیر برای تهیه PQR پیشنهاد می شود .

۱- اتصالاتی که در استاندارد وجود دارد راتنها با متن استاندارد مطابقت دهید تا چیزی از قلم نیفتاده باشد و تفرانسها دقیقا استخراج شده باشد و نظایر این ...

۲- در مورد اتصالات شبیه به هم با مراجع به استاندارد یکی از پرکاربردترین ضخامتها را انتخاب کنید. برای کارهای سازه ای و اتصال نوع Groove فرض کنید که ۴۵ نوع ضخامت مختلف به شما معرفی شده . بهترین کار این است که با مراجعه به جداول استاندارد بهترین نمونه برای تهیه PQR انتخاب کنیم که این بهترین انتخاب اغلب پرکاربردترین یا حساسترین اتصال است. مثلا Groove با ضخامت ۳۰-۳۰ که بنابر جدول استاندارد میبینیم که این نوع اتصال محدوده ضخامتی ۳ mm تا ۶۰ mm را با اعتبار میبخشد یعنی برای ضخامت ۲ تا ۶۰ دیگر نیازی به تهیه PQR نداریم و این از مزایای استفاده از استاندارد است .

۳- حال که نمونه مورد نظر را انتخاب کردیم باید در ابعاد مشخص (طول و عرض) که باز هم در استاندارد آمده است آنرا تهیه کنیم و توسط یک جوشکار که دارای کارت صلاحیت جوشکاری در حالت مربوطه (۱F-۲F-۱G-۲G و غیره)

- است جوشکاری انجام شود .
- ۴- قطعه مور نظر را به آزمایشگاه های معتبر ارسال می کنیم تا تحت تستهای مختلف قرار گیرد. این تستها اغلب خمش کناره-رادیوگرافی-ماکرواج-شکست و ... است .
- ۵- پس از اعلام نتیجه مثبت آزمایشگاه می توان جوشکاری را آغاز نمود.
- در پایان این مطلب ذکر این نکته لازم است که شاید توضیحات کمی ناقص باشد اما اگر کسی در حیطه ای این کار باشد کاملاً متوجه توضیحات می شود. اما دوستان دیگر هم اگر سوالی در این مورد داشتند مطرح کنند... در حد توان در خدمت هستم .

نکاتی در مورد جوشکاری فولادهای ضدزنگ و ضدخوردگی

خصلت اصلی فولادهای استنلس مقاومت در برابر زنگ خوردگی است (داشتن کرم بیش از ۱۲٪ موید همین مطلب است). نیکل موجود در این فولادها حتی به مقدار زیاد هم نمی تواند به تنهایی مقاومت در برابر خوردگی را زیاد کند. ولی با حضور کرم می تواند تا حد زیادی این وظیفه را بخوبی انجام دهد. مزیت اصلی نیکل تسهیل ایجاد فاز آستینیت و بهبود خاصیت مقاوم به ضربه فولادهای کرم نیکل دار است. مولیبدن شرائط خنثی سازی این فولاد را تثبیت می کند و عموماً عامل افزایش مقاومت به خوردگی موضعی (Pitting) است .

به منظور اطمینان از تشکیل کاربیدهای پایدار که باعث افزایش مقاومت به خوردگی بین دانه ای می شود افزودن Ti و Nb به انواع معینی از فولادهای کرم-نیکل دار ضروری است .

کرم و کربن عناصر اصلی اینگونه از فولادها را تشکیل می دهد. هر چند که مقدار کربن کمتر از ۰/۰۴ درصد است تاثیر کرم بر استحکام کششی حتی در مقادیر ۱۳ و ۱۷ و ۲۰ درصد بسیار ناچیز است. در حالیکه در مقادیر زیادتر کربن با عملیات حرارتی مناسب امکان دست یابی به استحکام کششی مناسب و عملیات مکانیکی مورد نظر فراهم می شود .

- با توجه به زیرساختار فولادهای کرم دار را به شرح زیر می توان دسته بندی کرد :
- الف- فولادهای کرم دار-فریتی (۱۲ تا ۱۸ درصد کرم - ۰/۱ درصد کربن)
- ب- فولادهای کرم دار-نیمه فریتی (۱۲ تا ۱۴ درصد کرم - ۰/۰۸ تا ۰/۱۲ درصد کربن)
- ج- فولادهای کرم دار-مارتنزیتی (۱۲ تا ۱۸ درصد کرم و بیش از ۰/۳ درصد کربن)
- د- فولادهای کرم دار-قابل عملیات حرارتی (۱۲ تا ۱۸ درصد کرم - ۰/۱۵ تا ۰/۲۰ درصد کربن)

این دسته بندی را در مورد جوش پذیری نیز می توان تکرار کرد .

تحت شرایط حرارتی نامناسب فولادهای فریتی (گروه الف) تمایل به تشکیل دانه های درشت نشان می دهند. انرژی حرارتی ناشی از جوشکاری منجر به رشد دانه بندی می شود که نمی توان آنرا با پس گرمایش برطرف نمود. در نتیجه

کاربید رسوب می کند و در مرز دانه های فریت باعث شکنندگی و کاهش شیبی مقاومت به ضربه فلز جوش میشود. برای غلبه بر این حالت باید از الکتروآستینیتی تثبیت شده با ۱۹ درصد کرم و ۹ درصد نیکل استفاده نمود. فلز جوشی که بدین ترتیب حاصل می شود دارای خاصیت آستینیتی و مقاومت به ضربه بالا است. فلز جوشی که بدین طریق حاصل می شود از نظر مقاومت به خوردگی مطابق فولادهای ضدزنگ فریتی می باشد اما از نظر ظاهر با فلز مبنا تفاوت رنگ دارد. در صورتی که اجبار در یکرنگی باشد باید از فیلر متال مشابه (مثلاً ۱۸ درصد کرم به همراه کمی Ti) استفاده شود. در مقادیر جزئی نقش موثر در ریز دانه کردن فلز جوش دارد .

بعلت رابطه گریز ناپذیر بین رشد دانه ها با از دست رفتن استحکام ضربه ای چاره ای جز کاستن از تنش های حرارتی ناشی از عملیات جوشکاری وجود ندارد و برای نیل به این منظور تمهیداتی نظیر الکتروآستینیتی با قطر کم و سرعت جوشکاری بیشتر و پیش گرمایش ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی گراد باید به کار رود .

پس گرمایش در حدود ۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی گراد خاصیت استحکام به ضربه فلز جوش را بهبود می دهد .

همچنین آنیلینگ (Annealing) به مدت کم نیز باعث تجمع کاربید شده و تا حدی شکنندگی فلز جوش را جبران می کند و همینطور به تنش گیری نیز کمک می کند. ولی هرگز باعث رفع کامل درشت دانگی HAZ نمی شود .

اقدامات مشابهی حین جوشکاری فولادهای نیمه فریتی و کوئنچ ترم شده با ۱۲ تا ۱۴ درصد کربن (دسته ب) نیز ضروری است. می دانیم که سرد کردن سریع باعث تشکیل فاز شکننده مارتنزیتی می شود لذا ضرورت دارد که درجه حرارت قطعه حین انجام جوش بالا نگهداشته شود. قطعه کار ابتدا ۳۰۰ تا ۳۵۰ درجه پیش گرم می شود. درجه حرارت بین پاسی ۳۰۰ (Inter pass) درجه مناسب است و از این کمتر نباید شود. ضمناً قطعه کار باید بلافاصله در دمای ۷۰۰ تا ۷۶۰ درجه پس گرم شود. این سیکل حرارتی در مجموع باعث ایجاد فلز جوشی با ساختار یکنواخت و چقرمه در کل طول درز جوش می شود و خطر شکنندگی و رشد دانه ها را تا حدود زیادی مرتفع می کند .

فولادهای کرم دار مارتنزیتی (دسته ج) معمولاً قابل جوش نیستند و صرفاً به منظور تعمیر و اصلاح عیوب جوشکاری بر روی آنها انجام می پذیرد. برای جوشکاری فولادهای کرم دار با ۱۲ تا ۱۴ درصد کرم مقدار کربن در فیلر متال نباید از ۰/۲۵ درصد تجاوز کند. این نوع فولاد در هوا سخت می شود. از این رو هیچ اقدام پیشگیرانه موثری به منظور غلبه بر سخت شده HAZ وجود ندارد. اما با اعمال پیش گرم زیاد که با پس گرم بلافاصله همراه باشد می توان تا حدودی مشکل را برطرف کرد و سختی نامطلوب را در حد پایینی نگاه داشت. دمای پس گرم ۷۵۰ تا ۸۰۰ توصیه می شود و کمتر از این دما ممکن است باعث تاثیر منفی در مقاومت به خوردگی شود .

آنیلینگ در حرارتی بین ۶۵۰ تا ۶۸۰ درجه ممکن است باعث رسوب کاربید و بروز خوردگی بین دانه ای شود .

۲- فولادهای مقاوم	به	خوردگی
فولادهای آستینیتی مقاوم به خوردگی کرم-نیکل دار عموماً دارای خواص جوشکاری مطلوبی هستند (جوش پذیرند). اما		
خصوصیاتی	چند از این فلزات باید مدنظر قرار گیرد .	
الف- ضریب هدایت	حرارتی	کم

ب- ضریب انبساط حرارتی زیاد .

ج- سرشت انجماد اولیه این نوع فولادها که تاثیر مهم و تعیین کننده ای بر مکانیزم وقوع ترک گرم در آنها دارد. وجود مقدار مشخصی از فریت در فلز جوش بیانگر مقاومت من به ترک گرم است .

به کمک نمودار شفلر-دولانگ امکان تعیین زیر ساختار بر اساس ترکیبات فلز جوش ممکن است .

نمودار شفلر-دولانگ کمکی عملی در تعیین مقدار تقریبی فریت(فریت دلتا) و سرشت ریز ساختار تشکیل شده حین جوشکاری فولادهای آلیاژی غیر همجنس ارائه می دهد. علاوه بر این برآوردی کلی از تاثیرات مقادیر کم فریت بر مقاومت به ترک گرم فلز جوش آستنیتی را مقدور می سازد. تجربه ثابت کرده که روشهای متفاوت تعیین درصد فریت عملاً مساله ساز است و طبق توافق جهانی به جای درصد فریت تعداد فریت را مبنا و مآخذ محاسبات قرار می دهند

دوستانی که احتمالاً از مطالب مربوط به نمودار شفلر آنچنان برداشت منسجم و دقیقی نداشتند کاملاً حق دارند و پیشنهاد می کنم به کتب و منابع معتبر برای فهم بهتر مطلب مراجعه کنند. و فرصت بهتر پرداختن به این مطالب مهم فعلاً در توان بنده نیست .

۳- فولادهای مقاوم به حرارت

الف- فولادهای فریتی یا فولادهای فریتی-پرلیتی از نوع Cr یا Cr-Si و Cr-Si-Al و فولادهای فریتی-آستنیتی

ب- فولادهای مقاوم به حرارت از نوع آستنیتی از نوع Cr-Ni-Si

در حالیکه در جوشکاری قطعات فولادی از نوع آستنیتی با الکترودهای همجنس آن پیش گرم قطعه ضرورتی ندارد فولادهای مقاوم به حرارت از نوع فریتی کرم دار را معمولاً ۱۰۰ تا ۳۰۰ درجه پیش گرم و در ۷۵۰ درجه هم پس گرم و آنیل می کنند. علت این کار هم غلبه بر درشت دانگی و تمایل به ترد شدن HAZ است .

قطعات ریختگی از جنس فریت-آستنیت را باید در حالت گرم ۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه جوش داد و اجازه داد که به تدریج سرد گردد

جوشکاری فولادهای فریتی و فریتی-پرلیتی با الکترودهای هم جنس قطعه کار کاهش در استحکام ضربه ضربه ای فلز جوش را نشان می دهد لذا پیشنهاد می شود این نوع فولادها را با الکترودهای آستنیتی مقاوم به حرارت جوش داد. در این حالت نیز باید توجه داشت که مقاومت به حرارت فلز جوش آستنیتی در محیط احتراق با گازهای اکسید کننده با هوا تقویت می شود و طبیعتاً این مقاومت به حرارت در محیط گازهای احیا کننده به مقدار زیادی کاهش می یابد برای غلبه بر محیط احتراق با مقدار زیاد گاز گوگرد استفاده از الکترودهایی با کرم زیاد توصیه می گردد .

مختصری از بازرسی جوش

دوستی درخواست اطلاعات مختصری در مورد بازرسی جوش کردن بودند که با توجه به گستردگی مطلب فعلاً چند جمله ای در مورد اهمیت بازرسی بازرسی جوش می نویسم تا در فرصت مناسبی بتوانم مطلب را باز کنم .

سازه های جوش داده شده نظیر سایر قطعات مهندسی به بازرسی در مراحل مختلف حین ساخت و همچنین در خاتمه ساخت نیاز دارند. برای حصول از مرغوبیت جوش و مطابقت آن با نیازمندیهای طرح باید کلیه عوامل موثر در جوشکاری در مراحل مختلف اجرا مورد بازرسی قرار گیرد .

- "را شناسیم
- بعد از این مرحله به شرح موارد مهم پرداخته می شود. که احتمالا مطالبی در حول و حوش این مسایل می باشد .

وظایف	بازرس	جوش
دسته بندی	بازرسان	جوش
تواناییهای	بازرس	جوش
الف- آشنایی	با نقشه ها و	مشخصات فنی
ب- آشنایی	با زبان	جوشکاری
ج- آشنایی	با فرآیندهای	جوشکاری
د- شناخت	روشهای	آزمایش
- توانایی	گزارش نویسی و	حفظ سوابق
و- داشتن	وضعیت خوب	جسمانی
ز- داشتن	دید	خوب
ح- حفظ	متانت	ای
ط- تحصیل	و آموزش	آکادمیک
ی- تجربه	بازرسی	
ک- تجربه	جوش	

امیدوارم فرصت مناسبی داشته باشم تا در مورد تک تک اینها تجربیات و اطلاعاتم را در اختیار دوستان قرار دهم .

معرفی جوش آرگون در چند جمله

در جوش آرگون یا تیگ (TIG) برای ایجاد قوس جوشکاری از الکترود تنگستن استفاده می شود که این الکترود برخلاف دیگر فرایندهای جوشکاری حین عملیات جوشکاری مصرف نمی شود .

حین جوشکاری گاز خنثی هوا را از ناحیه جوشکاری بیرون رانده و از اکسیده شدن الکترود جلوگیری کند. در جوشکاری تیگ الکترود فقط برای ایجاد قوس بکار برده می شود و خود الکترود در جوش مصرف نمی شود در حالیکه در جوش قوس فلزی الکترود در جوش مصرف می شود. در این نوع جوشکاری از سیم جوش (Filler metal) بعنوان فلز پرکننده استفاده می شود. و سیم جوش شبیه جوشکاری با اشعه اکسی استیلن (MIG/MAG) در جوش تغذیه می

شود. در بین صنعتکاران ایرانی این جوش با نام جوش آلومینیوم شناخته می شود. نامهای تجاری هلی آرک یا هلی ولد نیز به دلیل معروفیت نام این سازندگان در خصوص ماشینهای جوش تیگ باعث شده بعضا این نوع جوشکاری با نام سازندگان هم شناخته شود. نام جدید این فرایند G.T.A.W و نام آلمانی آن WIG می باشد . همانطور که از نام این فرایند پیداست گاز محافظ آرگون می باشد که ترکیب این گاز با هلیوم بیشتر کاربرد دارد . علت استفاده از هلیوم این است که هلیوم باعث افزایش توان قوس می شود و به همین دلیل سرعت جوشکاری را می توان بالا برد و همینطور باعث خروج بهتر گازها از محدوده جوش می شود .

کاربرد	این جوش	عموما	در جوشکاری	موارد	زیر	است
فلزات	رنگین	از قبیل	آلومینیوم...نیکل...مس	و برنج(مس	و	روی) است .
جوشکاری	پاس	ریشه	در	لوله	ها	و مخازن
ورقهای	نازک(زیر ۱	mm)				

TIG

مزایای

بعلت اینکه تزریق فلز پرکننده از خارج قوس صورت می گیرد. اغتشاش در جریان قوس پدید نمی آید. در نتیجه کیفیت فلز جوش بالاتر است .
بدلیل عدم وجود سرباره و دود و جرقه، منطقه قوس و حوضچه مذاب بوضوح قابل رویت است .
امکان جوشکاری فلزات رنگین و ورقهای نازک با دقت بسیار زیاد .

TIG

در

الکترودها

انواع

الکترودها تنگستن خالص (سبز رنگ) برای جوش آلومینیوم استفاده می شود و حین جوشکاری پت پت می کند .
الکترودها تنگستن توریم دار که دو نوع دارد الف- ۱٪ توریم دار که قرمز رنگ است ب- ۲٪ توریم دار که زرد رنگ می باشد .
الکترودها تنگستن زیرکونیم دار که علامت مشخصه آن رنگ سفید است .
الکترودها تنگستن

Omid.mirza@yahoo.com
www.romranb.blogfa.com