

## بازرسی چشمی (VT)

### بازرسی چشمی

در بسیاری از برنامه های تدوین شده توسط سازنده جهت کنترل کیفیت محصولات، از آزمون چشمی به عنوان اولین تست و یا در بعضی موارد به عنوان تنها متد ارزیابی بازرسی، استفاده می شود. اگر آزمون چشمی بطور مناسب اعمال شود، ابزار ارزشمندی می تواند واقع گردد.

بعلاوه یافتن محل عیوب سطحی، بازرسی چشمی می تواند بعنوان تکنیک فوق العاده کنترل پروسه برای کمک در شناسایی مسائل و مشکلات مابعد ساخت بکار گرفته شود.

آزمون چشمی روشی برای شناسایی نواقص و معایب سطحی می باشد. نتیجتاً هر برنامه کنترل کیفیت که شامل بازرسی چشمی می باشد، باید محتوی یک سری آزمایشات متوالی انجام شده در طول تمام مراحل کاری در ساخت باشد. بدین گونه بازرسی چشمی سطوح معیوب که در مراحل ساخت اتفاق می افتد، میسر میشود.

کشف و تعمیر این عیوب در زمان فوق، کاهش هزینه قابل توجهی را در بر خواهد داشت. بطوری که نشان داده شده است بسیاری از عیوبی که بعدها با روشهای تست پیشرفته تری کشف می شوند، با برنامه بازرسی چشمی قبل، حین و بعد از جوشکاری به راحتی قابل کشف می باشند. سازندگان فایده یک سیستم کیفیتی که بازرسی چشمی منظمی داشته است را بخوبی درک کرده اند.

میزان تاثیر بازرسی چشمی هنگامی بهتر می شود که یک سیستمی که تمام مراحل پروسه جوشکاری (قبل، حین و بعد از جوشکاری) را پوشاند، نهادینه شود.

### قبل از جوشکاری.

قبل از جوشکاری، یک سری موارد نیاز به توجه بازرسی چشمی دارد که شامل زیر است:

1. مرور طراحی ها و مشخصات Wps

2. چک کردن تاییدیه پروسیجرها و پرسنل مورد استفاده PQR

3. بنانهادن نقاط تست

4. نصب نقشه ای برای ثبت نتایج

5. مرور مواد مورد استفاده

6. چک کردن ناپیوستگی های فلز پایه

7. چک کردن فیت آپ و تراز بندی اتصالات جوش

8. چک کردن پیش گرمایی در صورت نیاز

اگر بازرس توجه بسیار دقیقی به این آیتم های مقدماتی بکند، می تواند از بسیاری مسائل که بعدها ممکن است اتفاق بیافتد، جلوگیری نماید. مساله بسیار مهم این است که بازرس باید بداند چه چیزهایی کاملا مورد نیاز می باشد. این اطلاعات را می توان از مرور مستندات مربوطه بدست آورد. با مرور این اطلاعات، سیستمی باید بنا نهاده شود که تضمین کند رکوردهای کامل و دقیقی را می توان بطور عملی ایجاد کرد.

### **نقاط نگهداری.**

باید بنا نهادن نقاط تست یا نقاط نگهداری جایی که آزمون باید قبل از تکمیل هر گونه مراحل بعدی ساخت انجام شود، در نظر گرفته شود. این موضوع در پروژه های بزرگ ساخت یا تولیدات جوشکاری انبوه، بیشترین اهمیت را دارد.

## روشهای جوشکاری.

مرحله دیگر مقدماتی این است که اطمینان حاصل کنیم آیا روشهای قابل اعمال جوشکاری، ملزومات کار را برآورده می سازند یا نه؟ مستندات مربوط به تایید یا صلاحیت های جوشکاران هر کدام بطور جداگانه باید مرور شود. طراحی ها و مشخصات معین می کند که چه فلزهای پایه ای باید به یکدیگر متصل شوند و چه فلز پرکننده باید مورد استفاده قرار گیرد. برای جوشکاری سازه و دیگر کاربردهای بحرانی، جوشکاری بطور معمول بر طبق روشهای تایید شده ای که متغیرهای اساسی پروسه را ثبت می کنند و بوسیله جوشکارانی که برای پروسه، ماده و موقعیتی که قرار است جوشکاری شود، تایید شده اند، انجام می گیرد. در بعضی موارد مراحل اضافی برای آماده سازی مواد مورد نیاز می باشد. بطور مثال در جاهایی که الکترودهای از نوع کم-هیدروژن مورد نیاز باشد، وسایل ذخیره آن باید بوسیله سازنده در نظر گرفته شود.

## موادپایه.

قبل از جوشکاری، شناسایی نوع ماده و یک تست کامل از فلزات پایه ای مربوطه باید انجام گیرد. اگر یک ناپوستگی همچون جدالاییگی صفحه ای وجود داشته باشد و کشف نشده باقی بماند روی صحت ساختاری کل جوش احتمال تاثیر دارد. در بسیاری از اوقات جدالاییگی در طول لبه ورقه قابل رویت می باشد بخصوص در لبه هایی که با گاز اکسیژن برش داده شده است.

## مونتاز اتصالات.

برای یک جوش، بحرانی ترین قسمت ماده پایه، ناحیه ای است که برای پذیرش فلز جوشکاری به شکل اتصال، آماده سازی می شود. اهمیت مونتاز اتصالات قبل از جوشکاری را نمی توان به اندازه کافی تاکید کرد. بنابراین آزمون چشمی مونتاز اتصالات از تقدم بالایی برخوردار است. مواردی که قبل از جوشکاری باید در نظر گرفته شود شامل زیر است:

1. زاویه شیار (Groove angle)

2. دهانه ریشه (Root opening)

3.ترازبندی اتصال (Joint alignment)

4.پشت بند (Backing)

5.الکترودهای مصرفی (Consumable insert)

6.تمیز بودن اتصال (Joint cleanliness)

7.خال جوش ها (Tack welds)

8.پیش گرم کردن (Preheat)

هر کدام از این فاکتورها رفتار مستقیم روی کیفیت جوش بوجود آمده، دارند. اگر مونتاژ ضعیف باشد، کیفیت جوش احتمالاً زیر حد استاندارد خواهد بود. دقت زیاد در طول اسمبل کردن یا سوار کردن اتصال می تواند تاثیر زیادی در بهبود جوشکاری داشته باشد. اغلب آزمایش اتصال قبل از جوشکاری عیوبی را که در استاندارد محدود شده اند را آشکار می سازد، البته این اشکالات، محللهایی می باشند که در طول مراحل بعدی بدقت می توان آنها را بررسی کرد. برای مثال، اگر اتصالی از نوع T (T-joint) برای جوشهای گوشه ای (Fillet welds)، شکاف وسیعی از ریشه نشان دهد، اندازه جوش گوشه ای مورد نیاز باید به نسبت مقدار شکاف ریشه افزوده شود. بنابراین اگر بازرس بداند چنین وضعیتی وجود دارد، مطابق به آن، نقشه یا اتصال جوش باید علامت گذاری شود، و آخرین تعیین اندازه جوش به درستی شرح داده شود.

### حین جوشکاری.

در حین جوشکاری، چندین آیتم وجود دارد که نیاز به کنترل دارد تا نتیجتاً جوش رضایتبخشی حاصل شود. آزمون چشمی اولین متد برای کنترل این جنبه از ساخت می باشد. این می تواند ابزار ارزشمندی در کنترل پروسه باشد. بعضی از این جنبه های ساخت که باید کنترل شوند شامل موارد زیر می باشد:

(1) کیفیت پاس ریشه جوش (weld root bead)

(2) آماده سازی ریشه اتصال قبل از جوشکاری طرف دوم

(3) پیش گرمی و دماهای میان پاسی

(4) توالی پاسهای جوش

(5) لایه های بعدی جهت کیفیت جوش معلوم

(6) تمیز نمودن بین پاسها

(7) پیروی از پروسیجر کاری همچون ولتاژ، آمپر، ورود حرارت، سرعت.

هر کدام از این فاکتورها اگر نادیده گرفته شود سبب بوجود آمدن ناپیوستگی هایی می شود که می تواند کاهش جدی کیفیت را در بر داشته باشد.

### پاس ریشه جوش.

شاید بتوان گفت بحرانی ترین قسمت هر جوشی پاس ریشه جوش می باشد. مشکلاتی که در این نقطه وجود دارد...

در نتیجه بسیاری از عیوب که بعدها در یک جوش کشف می شوند مربوط به پاس ریشه جوش می باشند. بازرسی چشمی خوب روی پاس ریشه جوش می تواند بسیار موثر باشد. وضعیت بحرانی دیگر ریشه اتصال در درزهای جوش دو طرفه هنگام اعمال جوش طرف دوم بوجود می آید. این مساله معمولاً شامل جداسازی سرباره (slag) و دیگر بی نظمی ها توسط تراشه برداری (chipping)، رویه برداری حرارتی (thermal gouging) یا سنگ زنی (grinding) می باشد. وقتی که عملیات جداسازی کاملاً انجام گرفت آزمایش منطقه گودبرداری شده قبل از جوشکاری طرف دوم لازم است. این کار به خاطر این است که از جداسدن تمام ناپیوستگی ها اطمینان حاصل شود. اندازه یا شکل شیار برای دسترسی راحت تر به تمام سطوح امکان تغییر دارد.

## پیش گرمی و دماهای بین پاس.

پیش گرمی و دماهای بین پاس می توانند بحرانی باشند و اگر تخصیص یابند قابل اندازه گیری می باشند. محدودیت ها اغلب بعنوان می نیمم، ماکزیمم و یا هر دو بیان می شوند. همچنین برای مساعدت در کنترل مقدار گرما در منطقه جوش، توالی و جای تک تک پاسها اهمیت دارد. بازرس باید از اندازه و محل هر تغییر شکل یا چروکیدگی (shrinkage) سبب شده بوسیله حرارت جوشکاری آگاه باشد. بسیاری از اوقات همزمان با پیشرفت گرمای جوشکاری اندازه گیری های تصحیحی گرفته می شود تا مسائل کمتری بوجود آید.

## آزمایش بین لایه ای .

برای ارزیابی کیفیت جوش هنگام پیشروی عملیات جوشکاری، بهتر است که هر لایه بصورت چشمی آزمایش شود تا از صحت آن اطمینان حاصل شود. همچنین با این کار می توان دریافت که آیا بین پاسها بخوبی تمیز شده اند یا نه؟ با این عمل می توان امکان روی دادن ناخالصی سرباره در جوش پایانی را کاهش داد. بسیاری از این گونه موارد احتمالاً در دستورالعمل جوشکاری اعمالی، آورده شده اند.

در این گونه موارد، بازرسی چشمی که در طول جوشکاری انجام می گیرد اساساً برای کنترل این است که ملزومات روش جوشکاری رعایت شده باشد.

## بعد از جوشکاری.

بسیاری از افراد فکر می کنند که بازرسی چشمی درست بعد از تکمیل جوشکاری شروع می شود. به هر حال اگر همه مراحل که قبلاً شرح داده شد، قبل و حین جوشکاری رعایت شده باشد، آخرین مرحله بازرسی چشمی به راحتی تکمیل خواهد شد. از طریق این مرحله از بازرسی نسبت به مراحل که قبلاً طی شده و نتیجتاً جوش رضایت بخشی را بوجود آورده اطمینان حاصل خواهد شد. بعضی از مواردی که نیاز به توجه خاصی بعد از تکمیل جوشکاری دارند عبارتند از:

(1) ظاهر جوش بوجود آمده

(2) اندازه جوش بوجود آمده

(3) طول جوش

(4) صحت ابعادی

(5) میزان تغییر شکل

(6) عملیات حرارتی بعد از جوشکاری

هدف اساسی از بازرسی جوش بوجود آمده در آخرین مرحله این است که از کیفیت جوش اطمینان حاصل شود. بنابراین آزمون چشمی چندین چیز مورد نیاز می باشد. بسیاری از کدها و استانداردها میزان ناپیوستگی هایی که قابل قبول هستند را شرح می دهد و بسیاری از این ناپیوستگی ها ممکن است در سطح جوش تکمیل شده بوجود آیند.

### ناپیوستگی ها .

بعضی از انواع ناپیوستگی هایی که در جوشها یافت می شوند عبارتند از:

(1) تخلخل

(2) ذوب ناقص

(3) نفوذ ناقص در درز

(4) بریدگی (سوختگی) کناره جوش

(5) رویهم افتادگی

## (6) ترکها

## (7) ناخالصی های سرباره

## (8) گرده جوش اضافی (بیش از حد)

در حالی که ملزومات کد امکان دارد مقادیر محدودی از بعضی از این ناپیوستگی ها را تایید نماید ولی عیوب ترک و ذوب ناقص هرگز پذیرفته نمی شود. برای سازه هایی که تحت بار خستگی و یا سیکلی (Cyclic) می باشند، خطر این ناپیوستگی های سطحی افزایش می یابد. در اینگونه شرایط، بازرسی چشمی سطوح، پر اهمیت ترین بازرسی است که می توان انجام داد.

وجود سوختگی کناره (Undercut)، رویهم افتادگی (Overlap) و کنتور نامناسب سبب افزایش تنش می شود؛ بار خستگی می تواند سبب شکستهای ناگهانی شود که از این تغییر حالتی که بطور طبیعی روی می دهد، زیاد می شود. به همین خاطر است که بسیاری اوقات کنتور مناسب یک جوش می تواند بسیار با اهمیت تر از اندازه واقعی جوش باشد، زیرا جوشی که مقداری از اندازه واقعی کمتر باشد، بدون ناخالصی ها و نامنظمی های درشت، می تواند بسیار رضایت بخش تر از جوشی باشد که اندازه کافی ولی کنتور ضعیفی داشته باشد.

برای تعیین اینکه مطابق استاندارد بوده است، بازرس باید کنترل کند که آیا همه جوشها طبق ملزومات طراحی از لحاظ اندازه و محل (موقعیت) صحیح می باشند یا نه؟ اندازه جوش گوشه ای (Fillet) بوسیله یکی از چندین نوع سنجه های جوش برای تعیین بسیار دقیق و صحیح اندازه تعیین می شود.

در مورد جوشهای شیاری (Groove) باید از لحاظ گرده جوش مناسب دو طرف درز را اندازه گیری کرد. بعضی از شرایط ممکن است نیاز به ساخت سنجه های جوش خاص داشته باشند.



### عملیات حرارتی بعد از جوشکاری.

به لحاظ اندازه، شکل، یا نوع فلز پایه ممکن است عملیات حرارتی بعد از جوش در روش جوشکاری اعمال شود. این کار فقط از طریق اعمال حرارت (گرما) در محدوده دمایی بین پاس یا نزدیک به دمای آن، صورت می گیرد تا از لحاظ متالورژیکی خواص جوش بوجود آمده را کنترل نمود. حرارت دادن در درجه حرارت دمای بین پاس، ساختار بلوری را به استثناء موارد خاص تحت تاثیر قرار نمی دهد. بعضی از حالات ممکن است نیاز به عملیات تنش زدایی حرارتی داشته باشند. بطوری که قطعات جوش خورده بتدریج در یک سرعت مشخص تا محدوده تنش زدایی تقریباً  $^{\circ}\text{F}1100$  تا  $^{\circ}\text{F}1200$  (590 تا 650 درجه سانتی گراد) برای اکثر فولادهای کربنی گرما داده می شود.

بعد از نگهداری در این دما به مدت یک ساعت برای هر اینچ از ضخامت فلز پایه، قطعات جوش خورده تا دمای حدود  $^{\circ}\text{F}600$  (315 درجه سانتی گراد) در یک سرعت کنترل شده سرد می شود. بازرسی در تمام این مدت مسئولیت نظارت بر انجام کار را دارد تا از صحت کار انجام شده و تطابق با ملزومات روش کار اطمینان حاصل نماید.

### آزمایش ابعاد پایانی.

اندازه گیری دیگری که کیفیت یک قطعه جوشکاری شده را تحت تاثیر قرار می دهد صحت ابعادی آن می باشد. اگر یک قسمت جوشکاری شده بخوبی جفت و جور نشود، ممکن است غیر قابل استفاده شود اگرچه جوش دارای کیفیت کافی باشد.

حرارت جوشکاری، فلز پایه را تغییر شکل داده و می تواند ابعاد کلی اجزاء را تغییر دهد. بنابراین، آزمایش ابعادی بعد از جوشکاری ممکن است برای تعیین متناسب بودن قطعات جوشکاری شده برای استفاده مورد نظر مورد نیاز واقع شود.

**ضرورت تست جوش**  
**ضرورت تست جوش**

با گذشت 50 سال از استفاده از جوش در ساختمان دهه اخیر (80-1370) 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 همانند قارچ سر از زمین برآورد. گسیل سرمایه ها به سوی ساخت و ساز شهری و تبدیل ساخت سرپناه به یک ماشین سرمایه گذاری جهت سودهای کلان باعث گردید تا رعایت اصول فنی و ایمن سازی ساختمانها در برابر زلزله در برابر منفعت طلبی بسیاری از صاحبکاران عملاً مورد توجه قرار نگیرد. از طرف دیگر حجم عظیم ساخت و ساز نیروی انسانی زیادی اعم از مهندس و تکنسین و جوشکار ماهر احتیاج داشت که در اثر کمبود نیروهای متخصص و یا عدم کنترل پروژه ها توسط افراد متخصص راه برای ورود افراد غیرمتخصص به این جرگه هموار گردید. تمامی این مسایل 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:

1- عدم انطباق اجرای معمول سازه های فولادی با آیین نامه ها و دستورالعملها

2- کیفیت پایین جوش به علت عدم آموزش کلاسیک کافی در این زمینه برای جوشکاران و مهندسان

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

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

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 جزییات غیرقابل اجرا

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

پ) آگاه نبودن کارفرما و یا مهندس معجری طرح به جزییات آیین نامه و عدم توانایی در تمیز دادن حالات مختلف از یکدیگر

بعد از اجباری شدن آیین نامه 2800(1368) 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 معمولاً 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 از دو مقطع در کنار یکدیگر استفاده می شود باید هم پایداری کل عضو به عنوان یک المان و هم پایداری تک تک مقاطع کنترل شود تاخیزچکدان تحت تاثیر نیروی فشاری به طور جداگانه دچار کمناش نشوند. برای این منظور این مقاطع باید در فواصل مشخص به یکدیگر متصل شوند تا طول آزاد آنها کاهش یابد. بسیاری از اوقات باندبندهای دابل در طول خود به یکدیگر وصل نمی شوند و در نتیجه دو مقطع بایکدیگر عمل نمیکنند 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 دو مقطع در ستونهای ترکیبی را مقرر نموده است. اما در موارد زیادی مشاهده می شود که فاصله بین جوش ستونها بیشتر از این مقدار می باشد

## خطاهای جوشکاری اتصالات در ساختمانهای فولادی

### خطاهای جوشکاری اتصالات در ساختمانهای فولادی

#### چکیده

با وجود تجربه تلفات و خسارات سنگین زلزله های اخیر مانند زلزله های منجیل و بم ، احتمال وقوع زمین لرزه های بزرگ در بیشتر مناطق پر جمعیت کشور و نیاز جدی به اعمال کنترل کیفی در طراحی و اجرای ساختمانها ، هنوز توجه کافی به ساخت و ساز صحیح نشده است . مشکل اصلی آسیب پذیر ی لرزه ای ساختمانها، کم توجهی

به دانش فنی و دستورالعملهای آیین نامه های موجود در مراحل اجرایی ساختمانها می باشد. بیشتر ساختمانهای کوچک مسکونی فاقد محاسبات سازه ای و جزئیات اجرایی لازم بوده و با نظارت صحیح مهندسین ساختمانی که دانش فنی لازم را دارند ساخته ن می شوند و احداث آنها توسط پیمانکاران غیر حرفه ای و فاقد صلاحیت لازم

انجام می گیرد.

ساختمانهای فولادی بخش قابل توجهی از ساخت و ساز در ایران را تشکیل می دهد و سهم بزرگی از مشکلات اجرایی آنها به خطاها و ضعفهای متنوع جوشکاری بر می گردد. جوشکاری به عنوان مهمترین مسئله اتصالات در اجرای یک ساختمان فلزی بایستی مورد توجه قرار گیرد و روشهای مختلف کنترل کیفیت جوش در این خصوص بکار گرفته شود. در این مقاله، ضمن مروری بر خطاها و عیبهای معمول جوشکاری در اجرای ساختمانهای فولادی، به اختصار روشهای بازرسی و کنترل کیفیت جوش به م نظر ترویج فرهنگ صحیح جوشکاری ارائه میگردد.

## مقدمه

با وجود تجربه تلفات و خسارات سنگین زلزله های اخیر مانند زلزله های منجیل و بم (تصویر ۱)، احتمال جدی وقوع زمین لرزه های بزرگ در بیش تر مناطق پر جمعیت کشور و نیاز جدی به اعمال کنترل کیفی در طراحی و اجرای ساختمانها، متأسفانه هنوز توجه کافی به ساخت و ساز صحیح نشده است. از نظر علم مهندسی زلزله، در حال حاضر ساخت بناهای مقاوم در برابر زلزله امکان پذیر است، لیکن عملاً به دلیل یکسری مشکلات اجرایی رسیدن به ساختمانهای مقاوم تضمین نمی گردد

مشکل اصلی آسیب پذیری لرزه ای ساختمانها حتی نمونه های جدید الاحداث در ایران، عدم استفاده صحیح از دانش فنی در مراحل طراحی و اجرا می باشد. دستورالعملهای اتصالات جوشکاری شده و ضوابط طراحی ساختمانهای فولادی، گاهی در طراحی و اجرا سهل انگاری می شود. لذا بایستی سطح معلومات فنی این افراد افزایش یافته و نیز مکانیزمی برای اعمال قاطعیت اجرایی و کنترل امر در نظر گرفته شود و البته طوری که حقوق مهندس ناظر حفظ شده و مسئولیتها به درستی تقسیم گردد

ساختمانهای فولادی بخش قابل توجهی از ساخت و ساز در ایران را تشکیل میدهند و یکی از مهمترین موضوعات در هر ساختمان فولادی، کنترل جوشکاری آن میباشد (تصاویر ۲ و ۳). اهمیت این امر در

زلزله های. (اخیر نشان داده شده است که خسارات اساسی پس از بریدن جوش اتصال عضو سازهای پدید م یآید(شکل ۴)



شکل ۲) عمده ساختمانهای بلند در تهران با اسکلت فولادی و اتصالات گیردار اجرا می شوند که نیاز به تامین شرایط ویژه کنترل کیفی جوش دارند.



شکل ۳) ضعف جوشکاری اتصالات که یکی از علل اصلی تخریب یک ساختمان فلزی قدیمی در تهران بوده است.

جوشها در همه بخشها بایستی منطبق بر اطلاعات نقشه بوده و از لحاظ بعد و طول جوش (شکل ۵) و کنترل کیفیت لازم بررسی گردد. در استاندارد ۲۸۰۰، آزمایشات اولتراسونیک و رادیوگرافی برای کنترل اتصالات جوشی قابهای خمشی ویژه اجباری شده است [۳] که البته بسته به تشخیص مهندس ناظر در سایر حالات حتی در ساختمانهای معمولی نیز باید انجام گردد. در این مقاله، ضمن مروری بر عیبهای معمول جوشکاری در اجرای ساختمانهای فولادی، روشهای بازرسی و کنترل کیفیت جوش

ارائه میگردد.



شکل ۴) خسارت لرزه‌ای وارد بر یک ساختمان فولادی در زلزله بم که پس از بریدن جوش اتصال عضو مهاربندی پدید آمده‌است.



شکل ۵) جزئیات ضعف طول و کیفیت جوشکاری در یک ستون قوطی و اتصال گیردار تیر به ستون ساختمان فلزی.

### عیبها و ناپیوستگی های معمول در جوشکاری

یکی از مهمترین وظایف بازرس یا تیم کنترل کیفی جوش، ارزیابی حقیقی جوشها به منظور بررسی مناسب بودن آنها در شرایط بهره برداری و در واقع تعیین هر گونه کمبود و نیز نامنظمی در جوش یا قطعه جوشکاری شده که عموماً ناپیوستگی نامیده می شود م یباشد. در حالیکه یک ناپیوستگی، هر گونه اختلال در ساختار یکنواخت را بیان می کند، یک عیب ناپیوستگی ویژه است که مناسب بودن

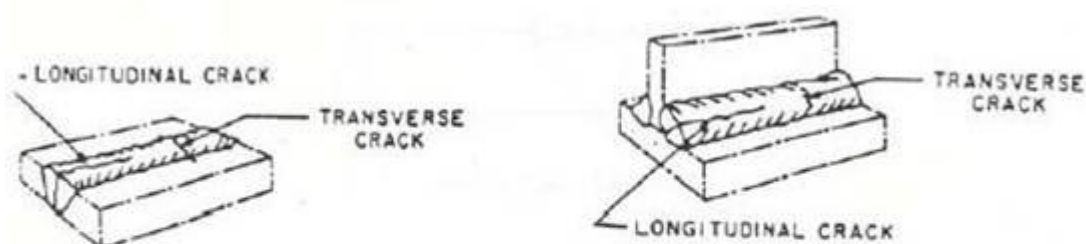
سازه یا قطعه را زیر سؤال می برد. شکل ناپیوستگی را میتوان به دو گروه کلی خطی و غیر خطی تقسیم نمود. ناپیوستگی های خطی طولی به مراتب بیش از پهنا دارند. زمانیکه در جهت عمود بر تنش اعمالی قرار گیرند، یک ناپیوستگی خطی نسبت به غیر خطی شرایط بحرانی تری را ایجاد می کند، چرا که احتمال اشاعه و در نهایت تخریب آن بیشتر خواهد بود

## ناپیوستگی های فلز جوش و فلز پایه

ترکها

بحرانی ترین ناپیوستگی ها، ترکها هستند. شرایط اضافه بار باعث ایجاد ترکها و تمرکز تنش می شود. یک روش گروه بندی ترکها با مشخص کردن آنها به صورت گرم یا سرد است. همچنین ترکها را میتوان توسط جهت آنها نسبت به محور طولی جوش توصیف نمود. ترکهای طولی بعلت تنشهای انقباضی عرضی جوشکاری یا تنشهای سرویس ایجاد می شوند. ترکهای عرضی عموماً به علت اثر تنشهای انقباضی طولی جوشکاری روی جوش یا فلز پایه با انعطاف پذیری کم ایجاد می شوند (شکل ۶). انواع مختلف ترک با توصیف دقیق موقعیتهای آنها نسبت به اجزا مختلف شامل: ترکهای گلوبی، ریشه، کناره، چاله جوش، زیرگرده منطقه متاثر از حرارت و فلز پایه هستند.

ترکهای گلوبی که از میان گلوبی جوش یا کوتاهاترین مسیر در سطح مقطع جوش گسترش می یابد، از نوع ترکهای طولی بوده و اغلب در طبقه بندی ترک گرم قرار دارند.



شکل ۶) ترکهای طولی و عرضی در جوشهای شیار و گوشه



رکهای ریشه در فلز پایه یا در خود جوش نیز در زمره ترکهای طولی هستند. ترکهای کناره جوش در فلز پایه ایجاد شده و در کناره جوش توسعه می یابند. ترکهای چاله جوش در نقطه پایانی ردیفهای منفرد جوش در صورت عدم مهارت جوشکار ایجاد می شوند. دسته بعدی ترکها، ترک زیر جوش به علت حضور هیدروژن است. این نوع ترک بجای فلز جوش در ناحیه تحت تاثیر حرارت به موازات خط ذوب واقع هستند.

## ۲. ذوب و نفوذ ناقص -۳

طبق تعریف، ذوب ناقص یک ناپیوستگی در جوش است که ذوب شدن بین فلز جوش و سطوح ذوب و یا لایه های جوش رخ نداده باشد. بعلت خطی بودن و انتهای نسبتاً تیز آن، ذوب ناقص از ناپیوستگی های بارز در جوش است و در وضعیتهای مختلف در منطقه جوش تشکیل می شود. نفوذ ناقص معرف حالتی است که فلز جوش به طور کامل در سراسر ضخامت ورق گسترده نشده باشد. موقعیت این عیب در مجاورت ریشه جوش است. ذوب و نفوذ ناکافی به علت عدم مهارت جوشکار، شکل نامناسب اتصال یا آلودگی اضافی ایجاد می شود.

## ۳. سرباره های محبوس شده -۳

مناطق در سطح مقطع یا در سطح جوش هستند که سرباره محافظ حوضچه جوش به طور مکانیکی درون فلز منجمد شده محبوس می شود. این سرباره منجمد شده بخشی از مقطع جوش را نمایش می دهد که فلز جوش بخوبی ذوب نم ی شود. این پدیده خود سبب ایجاد بخشی ضعیف در نمونه خواهد شد. در حقیقت سرباره های محبوس شده اغلب در ارتباط با ذوب ناقص هستند.

## ۴. تخلخل -۳

این نوع ناپیوستگی در خلال انجماد جوش در اثر حبس گاز ایجاد می شود. بنابراین تخلخل را بسادگی میتوان، حفره های گاز درون فلز جوش منجمد شده دانست. به علت طبیعت کروی شکل آنها، تخلخل کمترین خطر را در میان دیگر ناپیوستگی ها داراست ولی در زمانیکه جوش باید تحمل فشارهای بالا را داشته باشد حضور تخلخل خطرناک خواهد بود [۶]. منابع مختلفی برای حضور



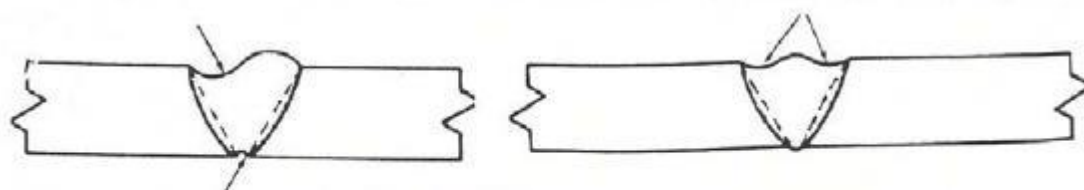
رطوبت یا آلودگی وجود دارد که میتوان الکتروود فلز پایه، گاز محافظ یا محیط اطراف را در این میان نام برد، تغییر در تکنیک جوشکاری نیز می تواند سبب ایجاد تخلخل شود.

### ۵. بریدگی کنار جوش - ۳

بریدگی کنار جوش یک ناپیوستگی سطحی است که در فلز پایه مجاور فلز جوش رخ میدهد. در شرایطی عیب را داریم که فلز پایه شسته شده ولی با فلزی پرکننده جبران نمی شود. نتیجه، ایجاد یک شیار خطی با شکلی نسبتاً تیز است که در فلز پایه تشکیل می شود. این عیب بعلت سطحی بودن ماهیت آن برای بارگذاری خستگی خطرناک است. بریدگی کنار جوش عموماً به علت تکنیک جوشکاری نامناسب ایجاد می گردد، به ویژه آگ ر سرعت حرکت جوش زیاد باشد. علاوه بر این اگر گرمای جوشکاری بسیار بالا باشد می تواند سبب ذوب شدن بیش از حد فلز پایه گردد.

### ۶. پرشدن ناقص - ۳

این مورد مشابه بریدگی کنار جوش، یک ناپیوستگی سطحی است که به علت کمبود ماده در مقطع عرضی ایجاد می شود. تنها تفاوت در این میان این است که پرشدن ناقص در فلز جوش ولی بریدگی کنار جوش در فلز پایه یافت می شود. به بیان ساده، پرشدن ناقص، زمانی رخ می دهد که فلز پرکننده به اندازه کافی برای پر کردن اتصال جوش در دسترس نباشد (شکل ۷). مشابه بریدگی کنار جوش، پرشدن ناقص نیز هم در سطح رویی و هم در ریشه جوش ظاهر می شود. دلیل اولیه پرشدن ناقص، تکنیک غلط جوشکاری است. مثلاً سرعت زیاد جوشکاری اجازه پرشدن اتصال و هم سطح شدن آن با فلز را نمی دهد.



شکل ۷) پرشدن ناقص در فلز جوش.

## ۷. سررفتن -۳

نوع دیگر ناپیوستگی سطحی جوش که از تکنیک نامناسب جوشکاری (سرعت جوشکاری خیلی آرام) ناشی می شود، سررفتن است که در آن، فلز جوش روی فلز پایه مجاورش سر می رود و در کناره جوش، شیاری تیز را ایجاد می نماید. به علاوه اگر مقدار سررفتن به اندازه کافی زیاد باشد می تواند ترکی را که از این تمرکز تنش ایجاد می شود را مخفی نماید.

## ۸. تحدب بیش از حد -۳

این ناپیوستگی مختص جوشهای گوشه است و طبق تعریف تحدب عبارت از حداکثر فاصله از رویه محدب یک جوش گوشه تا خط واصل بین کناره های جوش است. از نقطه نظر استحکام مقدار تحدب در جوش گوشه ضروری است ولی اگر از حدی بیشتر باشد، به عنوان یک عیب تلقی می شود. این مطلب هم از نقطه نظر اقتصادی (مصرف فلز پرکننده بیشتر) و هم از نظر حضور مناطق تیز اطراف جوش به خصوص در بارگذاری خستگی مطرح می شود. دلیل ایجاد تحدب، آرام بودن سرعت جوشکاری یا تکنیک ناصحیح جوشکاری است.

## ۹. لکه قوس و پاشش -۳

لکه های قوس در نتیجه شروع قوس عمداً یا تصادفی روی سطح فلز پایه دور از اتصال به وجود می آیند. در اثر این رخداد، منطقه ای متمرکز شده از سطح فلز پایه ذوب شده و سریعاً سرد و شکننده می شود. پاشش همان ذرات فلزی پراکنده ناشی از جریان بالای جوشکاری هستند که در تشکیل جوش نقشی ندارند. از نقطه نظر بحرانی بودن، پاشش ممکن است زیاد مهم تلقی نشود، ولی در هر حال مقادیر زیاد پاشش میتوانند گرمای موضعی زیادی را به سطح فلز مشابه با اثر لکه قوس ایجاد کنند و حتی سبب تشکیل ناحیه تحت تاثیر حرارت شوند.

## ۱۰. اعوجاج -۳

خمیدگی یا اعوجاج از مشکلات مهم جوشکاری است که باید برطرف گردد. این مسئله در اثر انقباض که به هنگام گرم و سرد شدن پس از عملیات جوشکاری در فلز پایه و جوش بوجود می آید، شکل می گیرد. برای کنترل اعوجاج باید شرایط لازم برای جوشکاری شامل کنترل قبل، حین و بعد از جوشکاری تامین گردد.

### ۱۱. تورق و پارگی سراسری -۳

این ناپیوستگی ویژه مربوط به فلز پایه است. تورق در اثر حضور آلودگی و ناخالصی غیر فلزی موجود در زمان تولید فولاد ایجاد می شود. این ناخالصی ها به طور طبیعی اکسیدی هستند که در زمانی که فولاد هنوز مذاب است تشکیل شده و در خلال عملیات بعدی خورد کشیده شده و موج ب تورق می شوند. نوع دیگر ناپیوستگی مربوط به پارگی سراسری است و زمانی رخ می دهد که در جهت تمام ضخامت در اثر جوشکاری تنشهای انقباضی بزرگی ایجاد شده باشد. پارگی عموماً موازی سطح خورد شده زیر فلز پایه و معمولاً موازی مرز ذوب جوش رخ می دهد.

پارگی سراسری یک ناپیوستگی است که مستقیماً به طرز قرارگیری اتصال مرتبط می شود.

### ۱۲. جابجا شدن و ناپیوستگی های ابعادی -۳

دراثر سوار کردن و مونتاژ غلط اجزای مورد جوش در کنار یکدیگر، جابجایی بصورت هم محور نبودن دو سطح قطعه کار در جوشهای لب به لب است که در مواردی با برشکاری رفع می شود، اما در بیشتر مواقع باید جوش را بریده و مجدداً عملیات جوشکاری با دقت تکرار شود. ناپیوستگی های ابعادی، نقائص شکل یا ابعاد هستند و هم در جوش و هم در سازه جوش شده بروز می کنند.

## آزمایشهای جوش

### ۱. ارزیابی جوشکار -۴

آزمونی که صلاحیت جوشکار را برای اجرای ضوابط آیین نامه ای تایید می کند، آزمایش تشخیص

صلاحیت یا ارزیابی جوشکار و یا آزمون کیفیت اجرا خوانده می شود. این ارزیابی مشخص می کند که آیا جوشکار دانش و مهارت لازم را در بکارگیری و اعمال دستورالعمل جوشکاری مدود در رابطه با رده بندی کاری خود دارد یاخیر. ارزیابی جوشکار ممکن است با تجهیزات جوشکاری دستی و یا با تجهیزات جوشکاری تمام اتوماتیک انجام شود.

- روشهای آزمایشی که کیفیت یک جوش را تعیین می کند، در سه طبقه بندی بسیار وسیع قرار می گیرد. ۱- آزمایش های غیر مخرب، ۲- آزمایشهای مخرب و ۳- بازرسی عینی [۶ و ۵]

#### ۲. آزمایشهای غیر مخرب -۴

هدف از این آزمایشها، بازرسی و تشخیص عیوب مختلف جوش (سطحی و عمیق) و تاثیر آن می باشد، بدون اینکه قطعه جوش داده شده غیر قابل استفاده شود. اگر آزمایش نشان دهد که محلی از جوش معیوب است می توان از طرفین محل مذکور به اندازه لازم برداشته و با جوش مجدد اتصال کاملی به دست آورد [ ۵].

#### 4-2-1 آزمون ذرات مغناطیسی

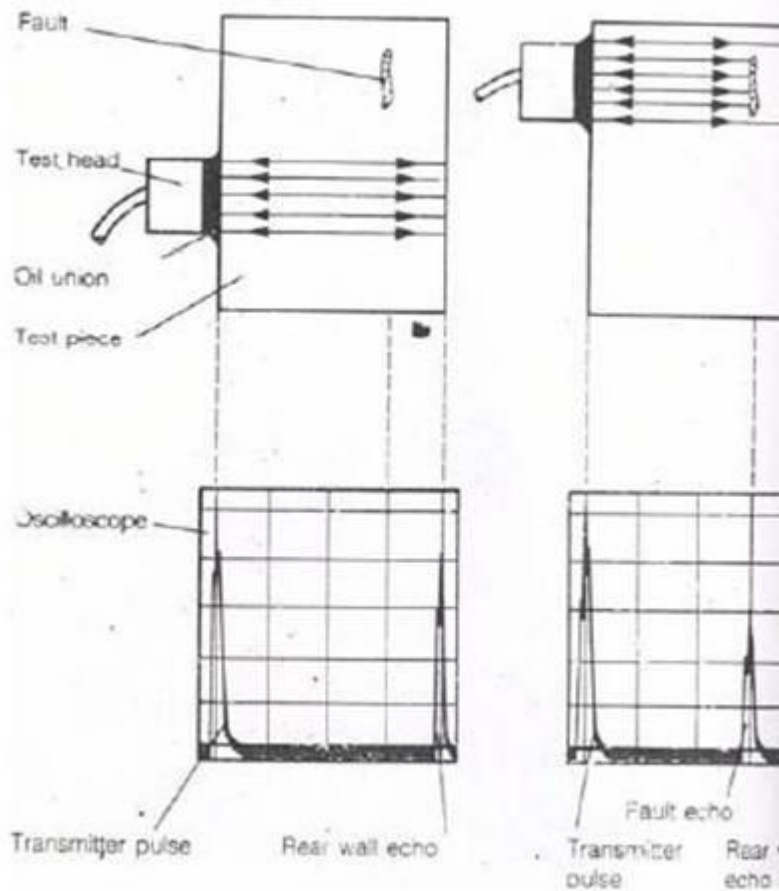
آزمون ذرات مغناطیسی یکی از آسانترین آزمایشهای غیر مخرب جوشکاری است. این روش جوش را برای معایبی از قبیل ترکهای سطحی، ذوب ناقص، تخلخل، بریدگی کنار جوش، نفوذ ناقص ریشه جوش و اختلاط سرباره کنترل می کند. این آزمایش محل ترکهای داخلی و سطحی بسیار ریز را برای رویت با چشم غیر مسلح آشکار میکند. قطعه مورد آزمایش با استفاده از جریان الکتریکی، یا قراردادن آن در داخل یک سیم پیچ مغناطیسی می گردد. سطح مغناطیسی شده قطعه با لایه نازکی از یک گرد مغناطیسی نظیر اکسید آهن قرمز پوشیده می شود و این لایه گرد در صورت وجود یک عیب سطحی یا داخلی در داخل حفره یا ترک مربوطه فرو می رود.

#### ۲. بازرسی با مواد نافذ -۲-۴

بازرسی با مواد نافذ یکی از شیوه های غیر مخرب برای محل یابی معایب سطحی می باشد. سطح مورد  
بازرسی باید ابتدا از لکه های روغن، گریس و مواد ناخالص و خارجی تمیز شود. سپس ماده رنگی  
مورد نظر بر روی سطح پاشیده شده و در داخل ترکها و سایر ناهمواریهای نفوذ می کند. رنگ اضافی  
از روی سطح پاک شده و سپس یک ماده فوق العاده فرار حاوی ذرات ریز سفیدرنگ بر روی سطح  
پاشیده می شود. تبخیر مایع فرار باعث برجای ماندن گرد خشک سفید رنگ بر روی ماده قرمز نفوذ  
کرده در ترک می گردد و بر اثر عمل موینگی، ماده قرمز از ترک بیرون کشیده شده و پودر سفید  
کاملاً قرمز می شود.

### ۳. آزمون فراصوتی - ۲-۴

آزمون فراصوتی قادر به تشخیص معایب داخلی بدون نیاز به تخریب ق طعه جوش شده می باشد.  
موج های فراصوتی از داخل قطعه مورد آزمایش عبور داده می شوند و با هرگونه تغییر در تراکم داخلی  
قطعه منعکس می شوند. امواج منعکس شده (پژواک ها) به صورت برجستگی هایی نسبت به خط مبنا،  
بر روی صفحه نمایش دستگاه ظاهر می شوند. هنگامی که عیب یا ترک داخلی توسط واحد جست و  
جو پیدا شود تولید ضربای سومی می کند که بین ضربان اول و دوم بر روی صفحه نمایش ثبت می  
شود (شکل ۸). بنابراین مشخص می شود که این عیب بین سطوح بالو پایین مصالح (در داخل جسم  
مصالح) می باشد.



شکل ۸) آزمون فراصوتی برای تشخیص معایب سطحی و نواقص داخلی فلز جوش و فلز پایه.

#### ۴. آزمایش پرتونگاری - ۲-۴

پرتونگاری یکی از روشهای آزمایش غیر مخرب است که نوع و محل عیوب داخلی و بسیار ریز جوش را نشان میدهد. پرتو رادیویی در ضخامت فلز نفوذ کرده و پس از عبور این ضخامت لکه ای بر روی صفحه فیلم ایجاد می کند. میزان جذب پرتوهای رادیویی توسط مواد مختلف متفاوت است. نفوذ گل، حفره گازی، ترکها، بریدگی های کناره جوش و قسمتهای نفوذ ناقص جوش تراکم کمتری نسبت به فولاد سالم دارند. بنابراین در حوالی این قسمتها پرتو بیشتری به سطح فیلم می رسد و عیوب فلز جوش، به صورت لکه های تاریکی بر روی فیلم ثبت می شوند [۵].

#### ۳. آزمایشهای مخرب - ۴

این آزمایشهای مکانیکی نمونه جوش شده جهت تعیین مقاومت و سایرخواص مکانیکی، نسبتاً ارزان قیمت و

بسیار کاربردی هستند. به همین جهت در سطح وسیعی برای ارزیابی و تایید دستوالعمل جوشکاری و صلاحیت

جوشکار به کار می روند.

## ۵. نتیجه گیری

ساختمانهای فولادی بخش قابل توجهی از ساخت و ساز در ایران را تشکیل می دهند و یکی از مهمترین موضوعات در هر ساختمان فولادی بویژه از نقطه نظر مقاومت لرزه ای، کنترل جوشکاری آن میباشد. جوشها در همه بخشها بایستی منطبق بر اطلاعات نقشه بوده و از لحاظ بعد و طول جوش و کنترل کیفیت لازم بررسی (NDT) گردد. در این خصوص حتی ممکن است در یک ساختمان فولادی کوچک به انجام آزمایشات غیر مخرب بر روی جوش نیاز باشد. در استاندارد ۲۸۰۰، آزمایشات اولتراسونیک و رادیوگرافی برای کنترل اتصالات جوشی قابهای خمشی وی ژه اجباری شده است که البته بسته به تشخیص مهندس ناظر در سایر حالات نیز انجام می گیرد.

## ۶. مراجع

۱- زهرائی، سید مهدی. بررسی علل ضعف اجرای ساختمانهای فولادی در کشور، پژوهشنامه موسسه بین المللی. ۱۳۸۲، زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال ششم، شماره ۲۲- زهرائی، سید مهدی. رعایت آئین نامه زلزله کشور در اجرای ساختمانهای فولادی، سومین همایش ملی نقد و بررسی استاندارد ۲۸۰۰، اسفند ۱۳۸۱، تهران، ایران.

۳- آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله - استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش دوم، نشریه شماره ض - ۲۵۳، مرکز. تحقیقات ساختمان و مسکن، آذر ۱۳۷۸

۴- راهنمای جوش و اتصالات جوشی در ساختمانهای فولادی؛ دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمانی، وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۷۹

۵- آئین نامه جوشکاری ساختمانی ایران ، دفتر امور فنی و تدوین معیارها ، سازمان مدیریت و برنامه ریزی . ۱۳۸۰ ، کشور، نشریه شماره ۲۲۸

## تأثیر عناصر مختلف در کیفیت جوش

### تأثیر عناصر مختلف در کیفیت جوش

عناصر مختلف که بطور متداول در فلزات یافت میشوند تأثیر مشخصی روی قابلیت جوشکاری آنها دارند. بعضی از این عناصر مهم و اثرات حاصل از آنها بر جوشکاری فولاد عبارتند از:

1- کربن (Carbon) از آنجایی که میزان سختی پذیری (hardenability) در فولاد را معین میکند مهمترین عنصر موجود در فولاد است. هرچه میزان کربن بیشتر باشد فولاد سخت تر میشود. اگر فولاد کربنی (بالای 0.30 درصد) جوشکاری شود و ناگهان سرد شود یک ناحیه ترد و شکننده (brittle) در کنار جوش ایجاد میگردد. بعلاوه اگر کربن اضافی از مخلوط گازه‌های جوشکاری بدست آید، جوش بوجود آمده آنقدر سخت میشود که به آسانی ترک میخورد.

بطور کلی بهترین جوش هنگامی ایجاد میشود که میزان کربن موجود در فولاد تا جای ممکن کمترین حد خود باشد.

2- منگنز (Manganese) در فولاد باعث افزایش سختی پذیری و استحکام کششی (tensile strength) میشود. به هر حال اگر مقدار منگنز بالای 0.60 درصد باشد و بخصوص اگر با درجه بالایی از کربن ترکیب شود، قابلیت جوشکاری قطعا کم خواهد شد. در این شرایط معمولاً ترک افزون ایجاد خواهد شد. اگر میزان منگنز خیلی کم باشد تخلخل داخلی (internal porosity) و ترک ممکن است گسترش یابد.

بهترین نتیجه جوشکاری وقتی بدست می آید که فولاد محتوی 0.40 تا 0.60 درصد منگنز باشد.

3- سیلیکون (Silicon) برای بهبود کیفیت و استحکام کششی در فولاد بکار می آید. میزان بالای سیلیکون بخصوص همراه با کربن بالا منتج به ترک می شود.



- 4-گوگرد (Sulfur) اغلب برای بهبود خواص ماشین کاری (machining) فولاد به آن اضافه میگردد. به هر حال مقدار آن در انواع دیگر فولاد پایین نگه داشته میشود (0.035) درصد و حداکثر 0.05 درصد) زیرا که درصد بالای گوگرد احتمال ترک را افزایش میدهد. فولادهای ماشینی پر گوگرد بطور معمول با الکتروود کم هیدروژن بدون هیچ دشواری جوشکاری می شوند.
- 5-فسفر (Phosphorus) به عنوان ناخالصی در فولاد در نظر گرفته می شود در نتیجه مقدار آن تا حد امکان پایین نگهداشته میشود. میزان فسفر بالای 0.04 درصد باعث میشود که جوش شکننده (brittle) شود.
- 6-عناصر دیگر (نیکل، کروم، وانادیم و غیره) تاثیرهای مختلفی بر قابلیت جوشکاری فلزات دارند. جوشکاری این آلیاژها باید با احتیاط خاصی انجام گیرد و معمولاً برای جلوگیری از ایجاد نواحی سخت و شکننده در جوش پیش گرمی (preheat) و پس گرمی (postheat) مورد نیاز میباشد.
-