اویل ایندااستری
Oilindustry.ir
CLICK HERE

جوشکاری خودکار

نویسنده و مترجم: تحریریه سفیر امید
زیر نظر مهندس فکری

مقدمه

جوشـــکاری یکی از بخش‌های مهم و جدانشدنی صنعت نفت و گاز محسوب می‌شود. جوشکاری اصلی‌ترین روش اتصال لوله‌ها و تجهیزات نفت و گاز می‌باشـــد. تکامل صنعت جوشکاری در طی یک قرن گذشـــته صورت پذیرفته اســـت، این صنعت اکنون در شرایط مناســـبی از نظر فناوری و مدارک می‌باشد. علاوه بر وجود تجهیزات و مواد مصرفی مناسب و متعدد، استانداردها و مستندات مورد نیاز بـــه خوبـــی تکامل یافته و برای آزمون جوش نیز تجهیزات، فنـــاوری و رویه‌ها به حد مورد نیاز تکامل یافته‌اند. حتی برای حالت‌های خاص که به ندرت اتفاق می‌افتد هم تجهیزات ارائه شده و هم مستندات و اســـتاندارد مورد نیاز در دســـترس می‌باشـــد. علاوه بر جوشـــکاری دستی، جوشـــکاری اتوماتیک و جوشـــکاری اربیتال نیز به خوبی توسعه یافته‌اند. از سوی دیگر تجهیزات جانبی مورد نیاز این صنعت نظیـــر تجهیزات برش، پخ‌زنی و پرداخت نیز پاســـخگوی نیازهای فرایند جوشـــکاری می‌باشـــند. در سیستم‌های نوین جوشکاری فناوری‌های پیشرفته نظیر پردازش تصویر برای جوشکاری کنترل شده و با کیفیت خوب و به صورت اتوماتیک به کمک این صنعت آمده اســـت. کنترل میکروپرســـوری از فناوری‌های جدیدی می‌باشد که سطح کیفی و سرعت جوشکاری را ارتقاء داده است.

به نظر می‌رســـد در حال حاضر مهمترین موضوعی که باید در رابط با جوشـــکاری به آن توجه شـــود، آموزش مناســـب اپراتورها و جوشـــکاران حرفه‌ای و آشناسازی آنها با فناوری‌های نوین می‌باشد. تهیه WPS[Welding Procedure Specification] مناســـب برای عملیات جوشـــکاری با توجه به شـــرایط موجود در پروژه یکی از عوامل مهم در بالابردن کیفیت جوش می‌باشـــد. با وجود تعداد زیادی WPS از پیـــش آماده، بهتر اســـت که بـــرای هر پروژه با الهام گرفتن از این مدارک بررســـی دقیق شـــرایط جوشـــکاری، WPS مناسب پروژه تهیه و استفاده شـــود. مسئله مهم دیگر جایگزین کردن جوشکاری اتوماتیک می‌باشـــد. در صورت امکان اجرای جوشـــکاری اتوماتیک، علاوه بر افزایش سرعت، می‌تواند کیفیت جوش را نیز بالا برد. به همین دلیل، پس از معرفی مختصر تاریخچه صنعت جوش و مفاهیم اصلی این صنعت، به این موضوع می‌پردازیم.

تاریخچه

از نظر تاریخی، قدمت جوشکاری به چندهزارسال پیش و عصرهای برنز و آهن برمی‌گردد. آثار باقی مانده از ۳ هزارسال قبل از میلاد در ناحیه بین‌النهرین و مصر نشـــان می‌دهند که در آن دوره جوشکاری فلزات انجام می‌شـــده است. هردوت که خود در قرن ۵ قبل از میلاد می‌زیســـته اســـت، از جوشـــکاری آهن خبر داده است. ستون آهنی دهلی با ارتفاع حدود ۷متر و وزن ۶ تن در هندوســـتان متعلـــق به قرن چهـــارم میلادی اســـت و پیشرفت در صنعت جوشکاری را به خوبی نشان می‌دهد. نظیر این ســـتون در کاوشـــهای باســـتانی در روم قدیم، انگلستان و اسکاندیناوی هم دیده شده است. ایرانیان در شـــناخت و استفاده از فلزات پیشـــگام بوده‌اند، در منابع مختلف نظیر اوستا و شـــاهنامه به این موضوعات اشاره شده است. در تخت جمشید برای استحکام بیشتر بناها فلز مذاب را داخل حفره دو ســـنگ می‌ریختند تا اتصال دو قطعه سنگ مستحکم‌تر شود. آهنگری، جوشکاری و استفاده از فلزات تا سال‌ها درهمین سطح از فناوری در کشـــورهای ایران، هند، روم و بخش‌های شـــمال غربی اروپا وجود داشـــته اســـت. به هرحال این اســـتفاده‌های محدود و غیرعلمی از فرایند جوشکاری برای صدها سال بـــدون تغییر خاصی ادامـــه پیدا کرد. انتشـــار مطالبی پیرامون فناوری آهنگری در سال ۱۵۴۰ میلادی توسط

Vannoccio Biringuccio در ایتالیا را می‌توان مقدمه‌ای بر توجه علمی به مقوله آهنگری و جوشکاری در عصر جدید دانست. در سال ۱۷۸۳ میلادی عنصر تنگستن کشف شد، این فلز در برخی از فرایندهای جوشکاری نقش مهمی بر عهده دارد. در سال ۱۸۰۰ میلادی همفری دیوی (Humphry Davy) فرایند قوس الکتریکی (Electric arc) را کشف نمود و از آن برای روشنایی استفاده نمود. در پی این اختراع همچنین کشف گاز استیلن و پروپان و توسعه فرایند سوختن متمرکز و توسعه فرایندتولید الکتریسیته در طول قرن ۱۹میلادی به تدریج زمینه‌های فرایند جوشکاری سیر تکاملی خود را طی کرد. در این میان Nikolai Benardos و Stanislav Olszewski، در سال ۱۹۸۵ میلادی قوس الکتریکی با الکترود کربنی را اختراع و در سال ۱۸۸۸ میلادی اختراع جوشکاری قوس‌کربن را به نام خود ثبت کردند. در سال ۱۸۹۰ میلادی کوفین (C. L. Coffin) در میشیگان آمریکا جوشکاری با الکترود فلزی را اختراع نمود. در ادامه Elihu Thompson جوشکاری مقاومتی [Resisance welding]RW را اختراع نمود. در سال ۱۹۰۳ میلادی Hans Goldschmidt مخترع آلمانی روش جوشکاری (Thermit welding) را برای جوشکاری ریل‌های آهن ابداع نمود[به مخلوط پودرآلومینیوم و اکسیدآهن Thermit می‌گویند]. در سال ۱۹۰۵ میلادی شرکت Lincoln electric اولین دستگاه جوش DC با ولتاژ متغیر را ساخت، همین شرکت در سال ۱۹۱۲ میلادی ماشین جوش نقطه‌ای (Spot welding) را برای صنایع خودروسازی اختراع و تولید نمود. با اختراع الکترود روکش‌دار توسط مخترع سوئدی Oscar Kjellberg در سال ۱۹۰۸ میلادی فصل جدیدی در جوشکاری باز شد[این اختراع با کمک شرکت ESAB و برپایه اختراع A. P. Strohmenger در بریتانیا صورت گرفت]. اگرچه در سال ۱۸۶۲ میلادی اولین خط لوله نفت با قطر ۲ اینچ در پنسیلوانیای آمریکا توسط Samuel van sickel با موفقیت احداث شد، اما این اتصالات از نوع پیچی بودند، تا اینکه درسال ۱۹۱۱ میلادی اولین تلاش برای جوشکاری خط لوله با استفاده از اکسی استیلن در ۱۱ مایل

شکل ۱ : ستون آهنی در دهلی نو، نمونه‌ای از صنعت آهنگری در سال‌های دور

از خط لوله در پنسیلوانیا با موفقیت به انجام رسید. در سال ۱۹۱۹ میلادی انجمن جوش آمریکا AWS[The American Welding Society] تاسیس شد، این نهاد در حال حاضر یکی از معتبرترین مراکز تدوین استانداردهای جوشکاری در سطح جهان می‌باشد. در سال ۱۹۲۰ میلادی شرکت جنرال الکتریک جوشکاری اتوماتیک با استفاده از جریان DC را توسعه داد. در همین سال توسط C. J. Holslag استفاده از جریان AC برای جوشکاری معرفی شد اما این روش تا سال ۱۹۳۰ میلادی کاربردی نشد. در سال ۱۹۲۰ میلادی P. O. Nobel در شرکت جنرال الکتریک سیستم جوش اتوماتیک را با استفاده از جریان مستقیم (DC) ابداع نمود. در سال ۱۹۲۴ میلادی اولین ساختمان اسکلت فولادی تمام جوشی توسط شرکت جنرال بویلر در آمریکا ساخته شد. در سال ۱۹۲۶ میلادی P.W. Swain کارمند NRL مقاله‌ای درباره X-Ray tests of weld برای شناخت کیفیت جوش منتشر نمود. در سال ۱۹۲۸ میلادی AWS D 1.1 منتشر شد. در همین سال اولین پل راه‌آهن تمام جوشی در آمریکا توسط شرکت وستینگ هاوس ساخته شد. در سال ۱۹۲۹ میلادی شرکت لینکلن الکتریک آمریکا تولید الکترود پوشش دار را به صورت فروش عمومی آغاز نمود. در سال ۱۹۳۰ میلادی اولین برگه مشخصه برای جوشکاری (Welding Specification) نوشته شد. در همین سال توسط H.M. Hobart و P.K. Devers مطالبی در مورد جوشکاری قوسی منتشر نمودند که موجب ابداع جوشکاری GMAW شد. در سال ۱۹۳۲ میلادی جوشکاری زیرپودری (Submerged Arc Welding) توسط شرکت National Tube ابداع شد. سال ۱۹۳۴ میلادی اولین مخزن به وسیله رادیوگرافی بازرسی شد. استاندارد BS 538 در رابطه با جوشکاری در سال ۱۹۳۷ منتشر شد. در سال ۱۹۴۰ میلادی انجمن جوش کانادا (CWS) تاسیس شد. در سال ۱۹۴۱ میلادی ساخت خط انتقال زیردریایی با فناوری Flash Welding آغاز شد. در ۱۹۵۷ میلادی روش جوشکاری توپودری FCAW[Flux Cored Arc Welding] و جوشکاری پلاسما PAW[Plasma Arc Welding] ابداع شد. در اوایل دهه ۱۹۶۰ میلادی جوشکاری اربیتال (Orbital) برای جوشکاری تجهیزات فضایی در شرکت North American Aviation در تیمی به سرپرستی Gasparas Kazlauskas ابداع و استفاده شد. تجهیزات مورد استفاده بسیار سنگین و خاص بودند. در دهه ۱۹۸۰ میلادی تجهیزات قابل حمل جوشکاری اربیتال ساخته شد. در حال حاضر اغلب شرکت‌های بزرگ سازنده تجهیزات جوشکاری، دستگاه جوش اتومات و اربیتال را نیز تولید و عرضه می‌کنند. در ادامه پیشرفت و تکامل صنعت جوشکاری، ده‌ها روش و هزاران نوع دستگاه جوش ابداع و به بازار ارائه شده‌اند برخی از این تجهیزات برای روش‌های بسیارخاص و برای کاربردهای ویژه تولید می‌شوند و برخی دیگر دارای کاربردهای بسیار عمومی می‌باشند. در ادامه این مبحث چند نمونه از فرایندهای پرکاربرد جوشکاری را به همراه مختصری از تاریخچه آن، با هدف نهایی جوشکاری لوله و اتصالات به صورت اتوماتیک را ارائه می‌کنیم.

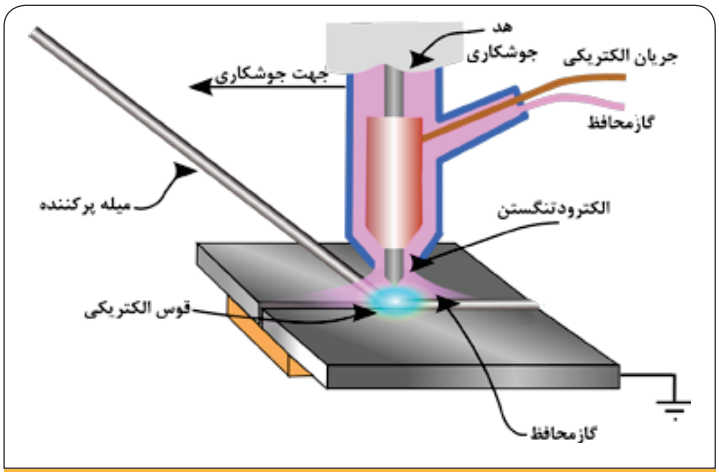
فرایند جوشکاری

اشاره‌کردیم که فرایندها و تجهیزات متعددی در طول یک قرن گذشته برای جوشکاری ابداع شده است. اما در این مبحث فقط به فرایندهایی اشاره می‌کنیم که در صنعت نفت و گاز کاربرد دارند. به صورت خلاصه فرایندهای اصلی مورد استفاده در این صنعت عبارتند از:

۱- جوشکاری با قوس الکتریکی و الکترود روکشدار[SMAW]

۲- جوشکاری با گازمحافظ و الکترود مصرف نشدنی [GTAW یا TIG]

۳- جوشکاری با گازمحافظ و الکترود مصرف شدنی نظیر [MIG/MAG]



شکل ۲ : جوشکاری TIG

روش‌های دیگر نظیر جوشـکاری مقاومتی (ERW) در فرایند سـاخت لوله‌های نفت و گاز کاربرد دارند، روش‌های جوشکاری با گازسوختنی (OFGW) اگرچه استاندارد می‌باشد، اما به دلیل برخی نواقص، توصیه نمی‌شـود. سـایر روش‌های خاص جوشـکاری نیـز مرتبط با موضـوع این مقاله نمی‌باشند. در ادامه انواع جوشکاری مورداستفاده در صنعت نفت و گاز را بررسی می‌کنیم:

۱» جوشکاری قوس تنگستن تحت گاز محافظ TIG یا GTAW

در سـال ۱۸۹۰ میلادی کوفین (C. L. Coffin) ایده استفاده از الکترود فلزی و استفاده از گاز خنثی برای محافظت از جوش را مطرح نمود. اما تا سال‌ها بعد استفاده عملی از این ایده به عمل نیامد، تا اینکه در دهه ۱۹۳۰ میلادی به تدریج این ایده به کارگرفته شـد. در آن دوره به ویژه در صنعت هواپیماسازی به جوشکاری آلومینیوم و همچنین جوشکاری منیزیم با کیفیت مناسب نیاز جدی وجود داشت و با روش‌های معمول نمی‌شد به کیفیت مناسب دست یافت. سرانجام با کمک جریان مسـتقیم برق (Direct current) و گازهلیم، جوشـکاری منیزیم امکان‌پذیر شـد. در سال ۱۹۴۱ میـلادی تنگسـتن با توجه به دمـای ذوب بالا به عنوان الکترود[مصرف نشـدنی] به این مجموعـه اضافـه گردید. علاوه بر هلیوم از آرگون نیز به عنوان گاز خنثی در این نوع جوشـکاری اسـتفاده می‌شود. به همین دلیل در ایران به این نوع جوشکاری، جوش آرگون نیز گفته می‌شود. به دلیل گران بودن این دو گاز در اوایل دهه ۱۹۵۰ میلادی گاز دی‌اکسیدکربن نیز آزمایش شد. در عمل این گاز کیفیت مناسب برای جوش آلومینیوم یا منیزیم را ایجاد نمی‌کند، اما CO_2 برای جوشـکاری فولادهای کربنی می‌تواند کیفیت مناسبی داشـته باشد. مشکل دیگر این جوشکاری گرمای زیاد(حدود ۱۹۵۰۰°C) در محل قوس الکتریکی می‌باشـد برای حل این مشـکل شرکت لینده سیستم خنک کننده تورچ جوشکاری را ابداع و به این سیستم اضافه نمود.

در این نوع جوش در صورت نیاز به فلز پرکننده، می‌توان فلزپرکننده (Filler Metal) را داخل حوضچه مذاب اضافه نمود. فرایند TIG[Tungsten Inert Gas] ، جوشی تمیز و باکیفیت بالا تولید می‌کند. با توجه به عدم وجود سـرباره(گل جوش)، عیب ناخالصی سـرباره وجود نداشته و جوش نهایی نیاز به تمیزکاری ندارد. جوشـکاری TIG می‌تواند بر روی همه فلزات و آلیاژها انجام شود و فرایند قابلیت اجراء به صورت دستی و اتوماتیک را دارا می‌باشد. برای استفاده کاربردی‌تر و خاص انواع مختلفی از الکترود برای این سیستم تولید می‌شود. در حالیکه الکترود استاندارد این سیستم از تنگسـتن با خلوص ۹۹/۵ درصد ساخته می‌شـود. در الکترودهای خاص یک درصد زیرکونیوم (Zirconium) یا لانتانیوم (Lanthanum) یا ۲ درصد توریوم (Thorium) یا سریوم (Cerium) اضافه می‌کنند، این الکترودها برای کاربردها یا شرایط خاص دارای عملکرد و کیفیت بالاتری می‌باشند. این فرایند به طور وسیعی برای جوشکاری آلومینیوم و فولاد زنگ نزن مورد استفاده قرار می‌گیرد. از دیگـر کاربردهـای ایـن فرایند جوشـکاری می‌توانیم به جوشـکاری در صـنایع هسـته‌ای، شـیمیایی، هـوافضـا و صنایع غـذایی اشاره کنیم.

۲» جوشکاری با قوس پلاسما PAW

در سـال ۱۹۵۳ میـلادی بـرای توسـعه کیفیت و سـرعت جوشـکاری TIG ، اسـتفاده از نازل برای تمرکـز قوس الکتریکی آزمایـش گردید و جوشـکاری TIG با راندمـان بالاتر با نام PAW ابداع شد، این روش به دلیل تشکیل پلاسما، به جوشکاری با قوس پلاسـما معروف می‌باشـد. در این فرایند از دوجریان جداگانه گاز اسـتفاده می‌شود. گاز اطراف الکترود، پلاسما را تشکیل می‌دهد و گاز محافظ منطقه جـوش را محافظت می‌کند. دما دراین فرایند نسـبت به جوشـکاری TIG بالاتر بوده و به ۲۴۰۰۰°C می‌رسد. فرایند PAW به سه شکل زیر استفاده می‌شود:

روش اول: جوشکاری Micro با جریان ۰/۱تا ۲۰ آمپر،

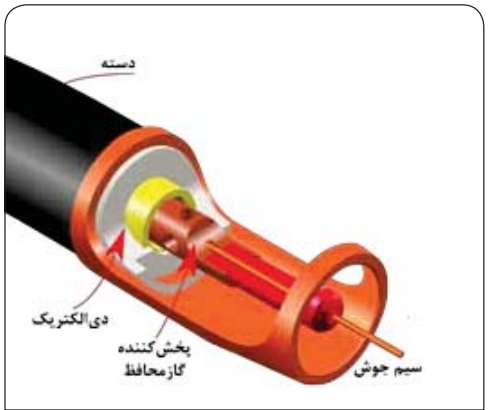
روش دوم: جوشکاری Melt-in با جریان از ۲۰ تا ۱۰۰ آمپر،

روش سـوم: جوشـکاری keyhole با جریان بیش از ۱۰۰ آمپر به صورتیکه قوس‌پلاسما ازضخامت قطعه عبورکند.

این نوع جوشکاری به صورت گسترده برای اتصال باکیفیت بالا و همچنیـن در قطعه‌کارهای بـا ضخامت زیـاد در صنایع هوافضا، صنایع شیمیایی، صنایع نفت و گاز و ... کاربرد دارد.

۳» جوشـکاری قوس فلز تحت گاز محافظ MIG/MAG یا GMAW[Gas Metal Arc Welding]

این فرایند جوشـکاری برای جوش آلومینیوم در دهه ۱۹۴۰ میلادی ابداع و توسـعه داده شد. توسعه نهایی این فرایند توسط Battelle Memorial Institute در سال ۱۹۴۸ میلادی انجام شد. H. E. Kennedy استفاده از الکترود با اندازه کوچک و جریان ثابت الکتریکی را ابداع نمـوده بود، این ابداع در روش جوش قوس فلز تحت گاز محافظ به کارگرفته شد. این نوع جوشکاری در ابتدا تنها شامل جوشکاری قوس فلز با گاز خنثی MIG[Metal Inert Gas] و معمولاً آرگون می‌شد. به دلیل گرانی این‌گازدرسال ۱۹۵۳ میلادی جوشـکاری قوس فلـز بـا گازفعـال MAG[Metal Active Gas] یعنی CO_2 نیز توسـعه داده شـد، بـه ایـن گاز، Semi Inert هم می‌گویند. در ادامه تکامل این فرایند در سال‌های ۱۹۵۸ و ۱۹۵۹ میـلادی روش Short-arc و در ابتدای دهه ۱۹۶۰ میلادی روش Spray-arc نیز ابداع گردید. درسال‌های اخیر Pulsed spray-arc هم به زیر مجموعه این فرایند جوشکاری اضافه گردیده است.



شکل ۳ : Torch جوشکاری MIG/MAG

این فرایند جوشـکاری را به نام جوشکاری قوس فلز تحت گاز محافظ[GMAW] نیز می‌شناسـند. در این جوشـکاری قوس الکتریکی بین یک الکترود پیوسته توپر مصرف شـدنی و قطعه جوشـکاری نگه داشته می‌شود. قوس الکتریکی ومنطقه جوشکاری به وسیله جریان گاز محافظ خنثی یا فعال محافظت می‌شـود. این فرایند مناسب جوشکاری اغلب فلزات و آلیاژهایی اسـت که الکترود آنها به صورت پیوسـته قابل تهیه می‌باشـد. به طور کلی جوشکاری MIG/MAG سرعت بیشتری نسبت به جوشکاری با الکترود دستی[MMA] دارا می‌باشـد زیراکه در این روش الکترود پیوسـته اسـت و مشـابه جوش دسـتی مرتب نیاز به تعویض الکترود نمی‌باشـد. از طرف دیگر ضایعات ته الکترود که در روش دسـتی وجـود دارد، در این روش وجود ندارد. روش MIG/MAG روشـی پرکاربرد می‌باشد که می‌توانـد بـا سـرعت بـالا و در همه جهـات با آن جوشکاری نمود. این روش مناسب جوش اتوماتیک و نیمـه اتوماتیک می‌باشـد و از آن برای جوشـکاری فولادهـا بـا ضخامـت متوسـط و زیـاد و همچنین جوشکاری سـازه‌های آلومینیومی استفاده می‌کنند. برای جوشـکاری فولاد با ضخامت زیاد از سـیم‌های توپودری استفاده می‌کنند.

۴» جوشـکاری با سیم توپودری FCAW[Flux-Cored Arc Welding]

جوشـکاری با سـیم توپـودری، در ابتدای دهه ۱۹۵۰ به عنوان آلترناتیو جوشکاری MAG/MIG ابداع و توسعه داده شد. در این نوع جوشکاری الکترود توپر نیسـت و داخل آن پودر[فلاکـس] قرار دارد. در این روش جوشـکاری پـودر داخـل الکتـرود بـا تولید گازمحافـظ از جـوش در مدت عملیات جوشـکاری محافظت می‌کند در این حالت به آن Self shielded می‌گویند، علاوه بر آن پودر سـرباره تولید می‌کند و این سـرباره نیز از جـوش محافظت مضاعف به عمل می‌آورد. بعد از عملیات جوشکاری باید این سرباره را از جـوش جدا کرد. در این روش همچنین می‌توان از گاز محافظ جداگانه نیز در موارد خاص استفاده نمود.

۵» جوشـکاری قوسـی با الکترود دسـتی SMAW[Shielded Metal Arc Welding] یا MMA[Manual Metal Arc]

ایـن فرایند قدیمی‌تریـن و پرکاربردترین روش جوشکاری قوسی می‌باشد. Nikolay Slavyanov در سـال ۱۸۸۸ میلادی روش الکتـرود مصرفی را ابداع نمـود. در سـال ۱۹۰۸ میـلادی Oscar Kjellberg الکترود روکش دار را ابداع نمود. با وجود این کشـف به دلیل گران بودن روکش، استفاده از آن ممکن نشد تا اینکه در دهه ۱۹۵۰ میلادی روکش با هزینه پایین که دارای پودر آهن برای افزایش سـرعت جوشـکاری بود ابداع گردید. در این روش یک قوس الکتریکی بین انتهـای الکترود روکش‌دار و قطعه کار ایجاد می‌شـود. به تدریج فلز الکترود ذوب شـده و وارد حوضچه مذاب می‌شـود. از طـرف دیگر گازهای حاصل از تجزیه پوشـش الکتـرود یک لایه محافظ در مقابل اتمسـفر ایجاد می‌کنند. این لایه سـرباره به صورت مذاب تمام سـطح جوش را اشـغال می‌کند و تا سـرد شدن جوش از آن محافظت می‌کند. بعد از هر پاس جوش باید این سـرباره[گل جوش] را از سـطح جوش جدا کرد. صدها نوع الکترود برای این نوع جوشـکاری تولید می‌شـود. این الکترودها اغلب حاوی آلیاژهائی برای افزایش اسـتحکام جوش نیز می‌باشـند. روش جوش دستی با وجود سرعت پایین و همچنین نیاز به تعویض الکترود و جداکردن سرباره، هنوز پرکاربردترین روش جوشکاری می‌باشد.

۶» جوشکاری زیرپودری SAW[Submerged Arc Welding]

این روش جوشـکاری توسـط .National Tube Co در سال ۱۹۳۲ میلادی ابداع گردید و بلافاصله حقوق خود را به شرکت Union Carbide Company به عنوان بخشی از شرکت Linde واگذار نمود. در این جوشکاری قوس الکتریکی بین قطعه کار و انتهای الکترود مصرفی تشکیل می‌شود. منطقه جوش به وسیله لایه‌ای از پودر دانه‌بندی شـده، پوشـش داده می‌شود. در این روش قوس جوشـکاری زیر پودر مخفی شده و دیده نمی‌شود.

شکل ۴ : جوشکاری اتوماتیک

مقداری از پودر[فلاکس] در اثر حرارت ذوب شده و لایه‌ای از سرباره محافظ را بر روی حوضچه مذاب تشکیل می‌دهد. از فلاکس ذوب نشـده می‌توان مجدد اسـتفاده نمود. الکترود مصرفی عموماً توپر اسـت اما می‌توان از الکترود توپودری نیز استفاده نمود. فرایند جوش زیرپودری به طورکلی مناسب تجهیزات اتوماتیک می‌باشد اما می‌توان از آن به صورت نیمه اتوماتیک نیز اسـتفاده نمود همچنین امکان اسـتفاده به صورت دو یا چند سیمه نیز برای افزایش راندمان وجود دارد. سـرعت رسـوب‌گذاری در این روش زیاد است به همین دلیل از آن برای جوشـکاری با راندمان و کیفیت بالا نظیر سـاخت مخـازن، جـوش‌های طـولی لـوله، سـازه‌هـای فـولادی سـنگین و صنایع کشتی‌سازی استفاده می‌کنند.

جوشکاری اتوماتیک

اولین بار جوش اتوماتیک در سـال ۱۹۵۲ میلادی در شـرکت E&E Seegmiller Ltd به کار گرفته شـد [همانطور که اشـاره کردیم نمونه سـاده‌تری از جوش‌کاری اتوماتیک در ۱۹۲۰سـال میلادی توسـط شرکت جنرال الکتریک ارائه شـد]. در دهه ۱۹۶۰ میلادی در صنایع خودروسـازی آمریکا جوش اتوماتیک بوسـیله ربات‌های جوشـکار معرفی شـد، اما اسـتفاده جدی از این فناوری به دهه ۱۹۸۰ میلادی بر می‌گردد. در حال حاضر تعداد بسـیار زیادی ربات جوشـکار در صنایع خودروسازی در سراسـر جهان وظیفه جوشکاری به ویژه

جوش نقطه‌ای را برعهده دارند. در سایر صنایع نیز به تدریج برای افزایش راندمان، بالابردن کیفیت و ایجاد یکنواختی در جوش و همچنین کاهش هزینه‌ها به منظور کاهش نیروی انسانی، استفاده از این فناوری مورد توجه قرار گرفت. جوشکاری مخازن و جوش انواع تجهیزات صنعت نفت و گاز، ساخت انواع لوله و برخی اتصالات و ... در کارخانه‌ها و کارگاه‌ها نمونه‌های دیگری از این فناوری می‌باشند.

جوش اتوماتیک را به می‌توان به دو دسته کلی تقسیم نمود: در دسته اول دستگاه جوش ثابت است و قطعه/تجهیز حرکت می‌کند یا چرخانده می‌شود. جوشکاری اتومات لوله و اتصالات در کارگاه اسپول‌سازی نمونه‌ای از این نوع جوشکاری می‌باشد. در دسته دوم قطعه/تجهیز ثابت بوده و دستگاه جوش حرکت می‌کند یا چرخانده می‌شود. جوشکاری خطوط لوله[خطوط انتقال] در حالتی که دستگاه جوش حول لوله می‌چرخد، نمونه‌ای از این نوع جوشکاری می‌باشد. این نوع جوشکاری که با نام **Orbital** نیز شناخته می‌شود به دلیل تغییر موقعیت جوشکاری حول لوله و مشکلات استانداردی، دارای مکانیزم پیچیده‌تری نسبت به دسته اول می‌باشد. در این بخش هدف ما صرفاً معرفی جوشکاری لوله به منظور ورود به مبحث جوشکاری اتومات می‌باشد و به صورت مشخص جوشکاری با دستگاه جوش ثابت را بررسی خواهیم کرد و به جوش اوربیتال نخواهیم پرداخت.

۱» روش جوشکاری

یکی از با اهمیت‌ترین بخش‌های مرتبط با جوش اتوماتیک، انتخاب روش جوشکاری می‌باشد. زیرا هدف از بکارگیری جوش اتوماتیک افزایش راندمان ضمن بهبود کیفیت جوش می‌باشد. در جوشکاری اتوماتیک فناوری‌های متعددی معرفی شده‌اند، هرکدام از این فناوری‌ها دارای محاسن و معایبی می‌باشند. در ساده‌ترین روش از یک دستگاه جوش که به صورت ثابت قرار گرفته استفاده می‌شود. در این روش با توجه به شرایط خاص پاس ریشه، امکان جوشکاری مناسب این بخش وجود ندارد و غالباً پاس ریشه توسط دست[روش نیمه خودکار] انجام می‌شود و پاس میانی و پاس نهایی[Cap] توسط دستگاه اجراء می‌گردد. در این روال اگرچه به میزان قابل توجهی سرعت افزایش می‌یابد اما پاس ریشه گلوگاه محسوب شده و سرعت نهایی را کاهش می‌دهد. برای حل این مشکل فناوری‌های مختلفی معرفی شده‌اند، که در این قسمت به دو نمونه از آن اشاره می‌کنیم.

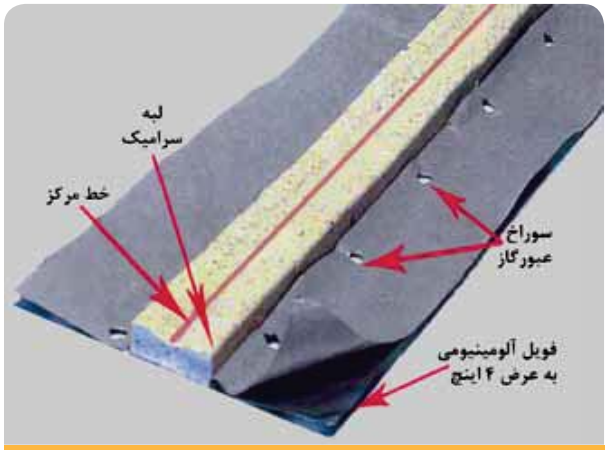
الف: استفاده ازپردازش تصویر

در این روش به صورت پیوسته توسط دوربین، از منطقه جوشکاری فیلمبرداری شده و تصاویر برداشت شده به یک سیستم پردازش تصویر **(Image processing)** منتقل می‌شود. در این سیستم با پردازش تصویر، اطلاعات مورد نیاز از آن استخراج می‌شود. به کمک این اطلاعات به صورت مداوم موقعیت و فاصله **Torch** نسبت به قطعه تغییر می‌کند. این سیستم کنترل به صورت مداوم عملیات جوش را برای بدست آوردن بهترین کیفیت در عین حال افزایش سرعت جوشکاری، تحت کنترل خود دارد. این سیستم به صورت مداربسته، تصاویر جوشکاری منطقه جوش را و همچنین اطلاعات استخراج شده را نشان می‌دهد. غالباً برای اعمال کنترل دستی و تصحیح خطاهای احتمالی سیستم اتوماتیک، می‌توان با **Joystick**، موقعیت تورچ جوشکاری را تغییر داد یا به وسیله صفحه کلید پارامترهای سیستم پردازش را تغییر داد. شرکت **Tecnat** کانادا نوعی سیستم جوش اتوماتیک بر پایه پردازش تصویر ارائه نموده است. در سیستم یاد شده به علت حذف خطاهای انسانی کیفیت جوش افزایش یافته و نیاز به تعمیر **(Repair)** به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد و سرعت جوشکاری نیز افزایش می‌یابد. در این متد به دلیل کنترل مناسب پارامترهای جوشکاری به ویژه کنترل موقعیت تورچ، می‌توان جوش ریشه را با کیفیت مناسب به صورت اتوماتیک اجراء نمود.

علاوه بر مزایای اشاره شده در این روش به دلیل کنترل فیدبک‌دار موقعیت تورچ جوشکاری نیاز به ماشین‌کاری سطح کار به حداقل می‌رسد و در مجموع سرعت **Fit-up** نیز افزایش می‌یابد. در این سیستم استفاده از فرایند جوش **MIG/MAG** و جوش زیرپودری در پاس‌های **Fill** و **Cap** امکانپذیر می‌باشد.

ب: نوسان کردن هد جوشکاری

جوشکاران با تجربه و خبره از تکنیک زیگزاگ **(Weave bead)** و تکنیک مستقیم **(Stringer bead)** به صورت همزمان و متناسب استفاده می‌کنند. در جوشکاری اتوماتیک به جای استفاده از این دو روش برای نفوذ کامل در پاس ریشه و افزایش کیفیت در پاس‌های دیگر از تکنیک جوش نوسانی **(Oscillation)** استفاده می‌کنند. در این روش **Torch**جوشکاری مطابق برنامه ازپیش تنظیم شده توسط یک نوسان‌ساز **(Oscillator)** در جهت عرضی ضمن حرکت رو به جلو نوسان می‌کند. نوسان تورچ باعث می‌شود که ماده پرکننده به صورت یکنواخت به داخل



شکل ۶ : یک نمونه پشت بند سرامیکی

منطقه جوشکاری نفوذ نماید، ضمن آنکه از گیرکردن احتمالی مفتول جوشکاری در داخل شکاف جلوگیری می‌شود. شرکت **Gullco** کانادا یکی از شرکت‌هائی است که این فناوری را ارائه می‌نماید، مطابق تائیدیه این شرکت پاس ریشه مطابق استاندارد و آزمون‌های بازرسی جوش انجام و جوش نهائی در محدوده قابل قبول و با کیفیت خوب می‌باشد. این شرکت برای افزایش کیفیت جوش پیشنهاد می‌کند که در زمان جوشکاری لوله، محل جوشکاری از داخل توسط پشت بند سرامیکی پوشیده شود، با استفاده از این روش کمکی، کیفیت جوشکاری به میزان قابل توجهی افزایش یافته و سرعت جوشکاری نیز افزایش می‌یابد.

**** پشت‌بند سرامیکی (Ceramic backing) چیست؟**

یکی از روش‌های معمول در جوشکاری پاس ریشه استفاده از جوشکاری دوطرفه **(Double weld)** می‌باشد. روش مناسب دیگر برای جوش پاس ریشه به ویژه در جوشکاری لوله واتصالات، جوشکاری با استفاده از پشت بند **(Backing weld)** می‌باشد. شره و ریزش مواد مذاب به داخل لوله مشکلی است، که با استفاده از پشت بند حل می‌شود. در جوش اتوماتیک این مشکل خودش را بیشتر نشان می‌دهد، زیراکه در جوش دستی امکان کنترل در هرحال بیشتر می‌باشد. استفاده از پشت بند در اینجا کاملاً کارآمد می‌باشد. پشت بندها می‌تواند از جنس فلز پایه بوده یا از مواد مقاوم در مقابل گرما انتخاب شوند. این پشت بندها ضمن آنکه باید جلوی ریزش مواد مذاب را بگیرند، نباید به مواد مذاب بچسبند. از سوی دیگر بستن و بازکردن این پشت‌بند نیز باید سریع صورت بگیرد. پشت‌بندهای سرامیکی چسب‌دار نظیر شکل ۶، نمونه مناسبی از این المان کمکی می‌باشند. در این نمونه تقریباً همه موارد فنی مورد نظر دیده شده است. این المان به وسیله

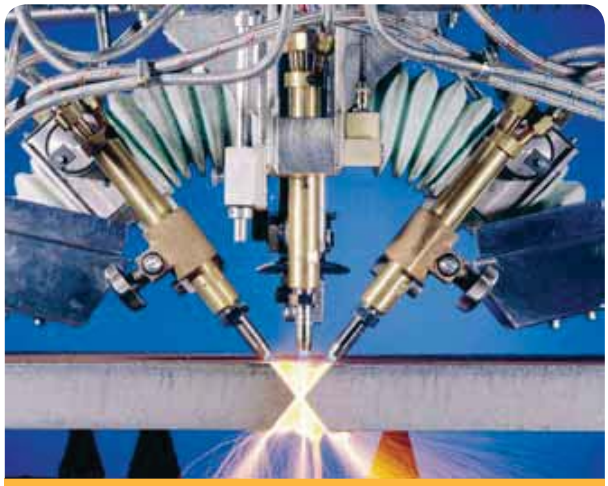
چسب مقاوم در مقابل گرما به سطح داخلی لوله می‌چسبد و محکم می‌شود. سوراخ‌های موجود گاز را تخلیه می‌کنند، نصب این المان ساده می‌باشد و پس از عملیات جوشکاری نیز به راحتی از لوله جدا می‌شود. تنها مشکل عملی نصب آن در لوله‌های سایز پائین می‌باشد.

**** گوجینگ (Gouging) چیست؟**

یکی دیگر از گلوگاه‌های احتمالی جوشکاری پایپینگ، تعمیر جوش‌های معیوب می‌باشد. برای آماده‌سازی و جوشکاری مجدد، جوش معیوب، از گذشته از دستگاه‌های سنگ‌زنی استفاده می‌شده است. استفاده از این تجهیزات زمانبر است. برای سرعت بخشیدن به این فرایند می‌توان ازدستگاهی به نام Gouging machine استفاده نمود که با استفاده از الکترودهای ذغالی و استفاده از جریان هوای فشرده خشک (Dry) و بدون روغن (Oil free) جوش‌های ذوب شده را کنده و از محل خارج می‌کند. با این روش سطح قطعه برای جوشکاری مجدد نیز آماده می‌گردد.

۲» آماده‌سازی سطح کار Facing and Beveling

اگرچه آماده‌سازی سطح کار برای هر نوع جوشکاری لازم می‌باشد، اما غالباً در جوش دستی امکان تنظیم جوش به نحوی وجود دارد که اگر آماده‌سازی کامل صورت نگرفته باشد، می‌توان ضمن جوشکاری به نحوی این مشکل را برطرف نمود. برخی از شرکت‌های سازنده جوش اتوماتیک نظیر Tecnar ادعا می‌کنند سیستم جوشکاری آنها کاملاً مشابه سیستم دستی بر این مشکل فائق می‌آید. اما با نگاه دقیق‌تر به مسئله آماده‌سازی سطح کار (Facing, Beveling) می‌بینیم که آماده‌سازی سطح کار در بالابردن سرعت عملیات جوشکاری تاثیر زیادی دارد. از طرف دیگر با آماده‌سازی سطح کار ضمن کم شدن استفاده از مواد مصرفی،

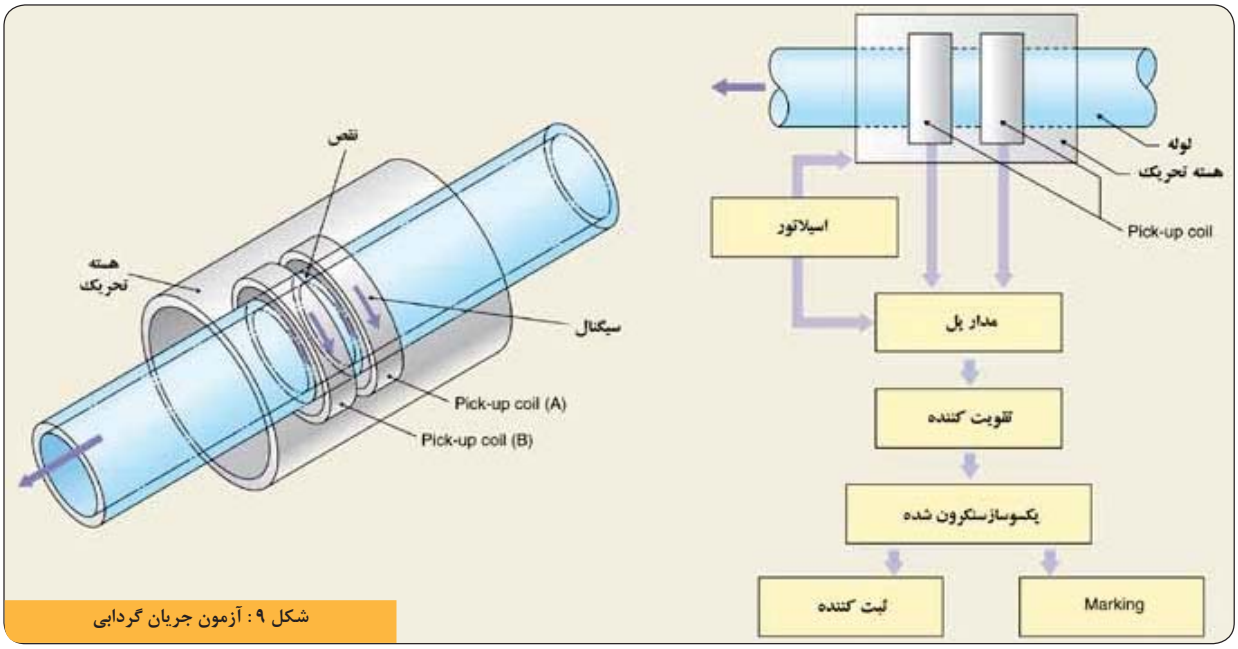


شکل ۷ : پخ‌زنی با هواگاز

کیفیت جوش افزایش یافته و کاملاً یکنواخت می‌شود.

برای آماده سازی سطح کار روش‌های بسیار متعددی وجود دارد. برخی از روش‌ها نظیر Oxyfuel یا پلاسما ضمن داشتن هزینه قابل توجه، ممکن است پرداخت مناسبی به سطح کار ندهند[البته باید توجه کرد برخی شرکت‌ها تجهیزاتی برای روش‌های اشاره شده نظیر پلاسما با عنوان High Definition ارائه می‌کنند که ضمن سرعت بالا، کیفیتی درحد کیفیت ماشین‌کاری ایجاد می‌کنند]، در این میان استفاده از روش Cold Cutting[Facing] می‌تواند کیفیت مناسب‌تری را ارائه

شکل ۸ : دستگاه پخ‌زنی سرلوله



شکل ۹ : آزمون جریان گردابی

نماید. ماشین‌آلات برش‌کاری و پرداخت به تنهائی دارای تنوع زیادی می‌باشند، اما به نظر می‌رسد فناوری‌های خاصی که ویژه پخزنی و پرداخت لوله ابداع شده‌اند، کیفیت بهتری در بر داشته و کار با آنها ساده‌تر باشد. یکی از انواع مناسب این ماشین‌آلات ساخت شرکت Gerima می‌باشد که تصویر آن را در شکل ۸ مشاهده می‌کنید. با وجود کیفیت خوب و سرعت بالای این دستگاه برای ضخامت‌های کم، پخزنی ضخامت‌های بالا، وقت‌گیر و غیر اقتصادی است و باید از روش‌های دیگر استفاده کرد.

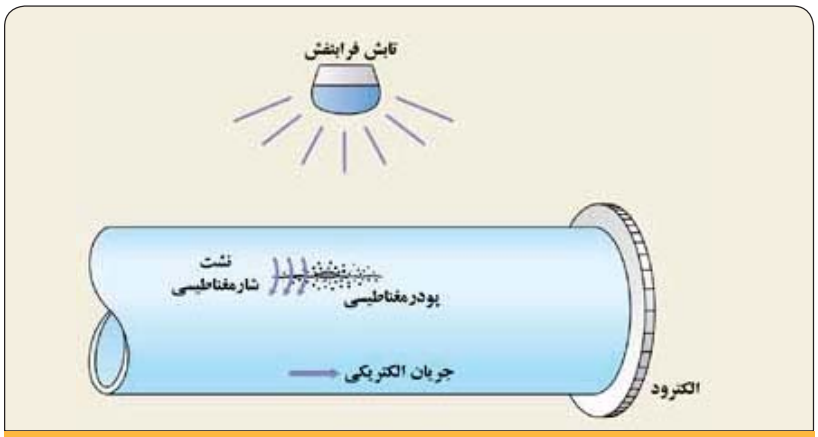
۳» تنظیم لوله و اتصالات Fit-UP

مشابه قسمت قبل Fit-up نیز فعالیتی است که در انواع جوشکاری پایپینگ کاربرد دارد. نکته‌ای که در جوشکاری اتوماتیک باید به آن دقت شود این است که در جوشکاری دستی غالباً سرعت Fit-up از سرعت جوشکاری بیشتر است اما در جوشکاری اتوماتیک سرعت جوشکاری بیش از سرعت Fit-up می‌باشد. به همین دلیل در این نوع جوشکاری باید تعداد گروه‌های Fit-Up به نحوی انتخاب گردد که این بخش برای کل فرایند گلوگاه تشکیل ندهد.

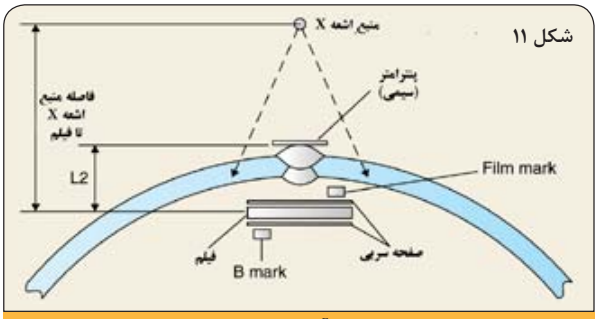
۴»بازرسی Inspection

وجود یک لوله خراب به علت مشکل در تولید لوله یا وجود ایراد در جوشکاری، علاوه بر هزینه فراوان تعویض و توقف در بهره‌برداری، ممکن است موجب بروز خطرات جانی و مالی در پی نشت مواد قابل انفجار یا مواد خطرناک و سمی شود. به همین دلیل سعی می‌گردد با انجام آزمایش و بازرسی‌های دقیق و مطابق استاندارد، میزان خطا در تولید یا جوشکاری و نصب را به حداقل رساند. برای نیل به این مقصود و حصول اطمینان از کیفیت تولید و تامین الزام‌های استانداردی، علاوه بر انجام بازرسی و آزمایش‌های مربوط به تولید لوله و اتصالات، در مرحله نصب نیز بازرسی جوش دارای اهمیت بسیار زیادی می‌باشد. هر یک از آزمون‌ها و بازرسی‌های استاندارد، محک مناسبی در تایید کیفیت مواداولیه استفاده شده و همچنین مناسب بودن مراحل جوشکاری می‌باشد. بازرسی جوش، فرایندی است که پس از اتمام عملیات جوش یک لوله انجام می‌پذیرد. این موضوع در حالی است که ناظر جوشکاری حین عملیات جوشکاری نیز بر رعایت شدن استاندارد و پروسیجرهای تعریف شده نظارت می‌کند. نظارت این ناظر علاوه بر استاندارد، منطبق بر مدرک WPS می‌باشد. قبل از آغاز جوشکاری، از جوشکاران آزمون گرفته می‌شود و درصورت تائید ناظر، اجازه فعالیت می‌یابند.

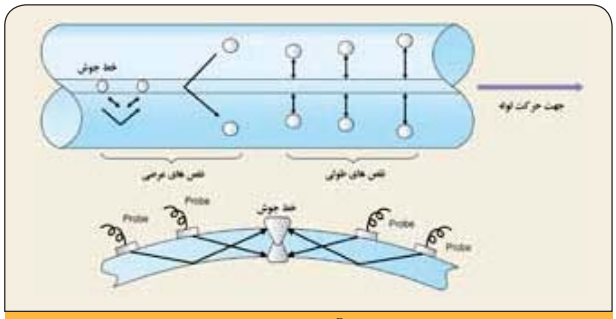
یکی از مواردی که در بازرسی جوش معمول نمی‌باشد، بازرسی لوله یا اتصالات قبل از عملیات جوشکاری می‌باشد. غالباً پس از بررسی گواهی‌های صادر شده از سوی سازنده کالا و بازرسی چشمی، عملیات جوشکاری آغاز می‌شود. اما تجربه نشان داده ممکن است، در مرحله بازرسی نهایی تولید لوله و اتصالات برخی ایرادات کوچک توسط QC کارخانه دیده نشود یا در مرحله حمل مشکلاتی برای لوله و اتصالات ایجاد شود. به همین دلیل منطقی است که به صورت اتفاقی تعدادی از قطعات آماده جوشکاری به صورت کامل مورد آزمون بازرسی قرار گیرند. این آزمون می‌تواند رادیوگرافی یا آزمون ذرات مغناطیسی باشد. برای نظارت بر عملیات جوشکاری استانداردهای API 1104, ASW D 1.1, ASME IX, EN288 و روال تعریف شده در WPS ، اسناد مورد استناد ناظرین و بازرسان می‌باشند. از بازرسی و آزمون‌های‌استاندارد می‌توان به بازرسی‌چشمی (Visual Inspection) ،



شکل ۱۰ : آزمون ذرات مغناطیسی



شکل ۱۱ : آزمون رادیوگرافی



شکل ۱۲ : آزمون اولتراسونیک

بازرسی ابعادی (Dimensional)، آزمون مایعات نافذ Liquid Penetrate، آزمون ذرات مغناطیسی Magnetic (Particle) ، بازرسی جریان‌گردابی (Eddy Current)، آزمون اولتراسونیک (Ultrasonic)، آزمون رادیوگرافی (Radiographic)، آزمون اکوستیک (Acoustic)، آزمون نشت (Leak) ، آزمون ترموگرافی (Thermography)، متالوگرافی در محل (In-Situ Metallographic) و هیدروتست (Hydrotesting) اشاره کنیم. از میان روش‌های ذکرشده، رادیو گرافی به وسیله اشعه X یا گاما از گذشته دارای کاربرد فراوانی بوده و دارای نتایج بسیار مطمئنی می‌باشد و برای تمام ضخامت‌های معمول لوله‌کشی مناسب می‌باشد.

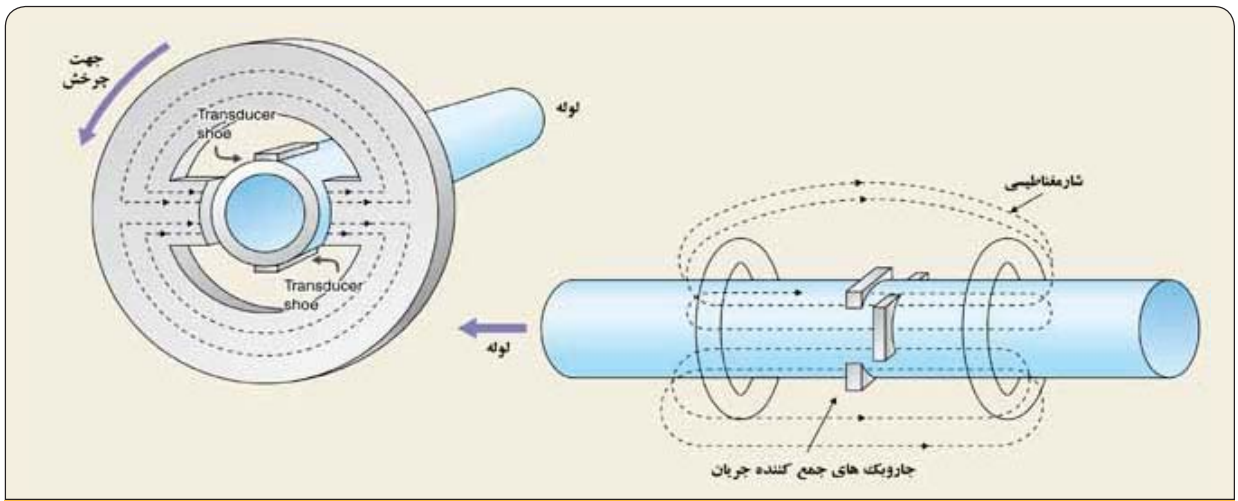
الف- آزمون رادیوگرافی Radiographic Test

کشف اشعه X در سال ۱۸۹۵ میلادی توسط رونتگن و کشف خاصیت رادیوکتیو توسط بکرل در سال ۱۸۶۹میلادی، پایه‌های علمی و فنی آزمون رادیوگرافی محسوب می‌گردند. فرق این اشعه‌ها با نور معمولی در این است که این اشعه‌ها، برخلاف نور معمولی قادرند به مواد کدر نفوذکنند، ضمن آنکه همانند نورمرئی قابلیت ثبت تصویر را نیز دارا می‌باشند. آزمون رادیوگرافی پرکاربردترین روش NDT می‌باشد. در این آزمون انواع عیوب نظیر حفره‌های گازی و عیوب صفحه‌ای دیده می‌شوند. همچنین از رادیوگرافی می‌توان برای پیداکردن تغییرات در ترکیب مواد و ضخامت‌سنجی نیز استفاده نمود. یکی از محاسن اصلی این روش قابل اجرا بودن آن از اندازه‌های میکرونی تا ساختارهای بسیار بزرگ می‌باشد. مزیت مهم دیگر این روش قابل استفاده بودن آن برای رنج گسترده‌ای از مواد نظیر انواع فولادها، آلومینیوم، برلیم، منیزیم، نیکل، کامپوزیت‌ها و... می‌باشد.

روش رادیوگرافی، یک روش حجمی در NDT می‌باشد که براساس اختلاف در جذب اشعه به وسیله قطعه مورد بازرسی و با استفاده از تشعشعات الکترومغناطیس با طول موج خیلی کوتاه[اشعه X و اشعه گاما] یا تشعشعات ذره‌ای[ذرات α، β یا نوترون] انجام می‌شود. به خاطر اختلاف در دانسیته و تغییر در ضخامت قطعه یا اختلاف در خواص جذب که به خاطر اختلاف در ترکیب و وجود عیوب می‌باشد، قسمت‌های مختلف قطعه مورد آزمایش مقادیر مختلفی از اشعه نافذ را جذب می‌کنند. در رادیوگرافی، یک جسم توسط اشعه X یا گاما پرتودهی می‌شود و قسمتی از تشعشع که بوسیله جسم جذب نشده است، به یک برگه فیلم برخورد می‌نمایند. اشعه جذب نشده که به فیلم برخورد می‌کند اثری به صورت نقاط تیره و روشن بر روی فیلم بر جای می‌گذارد. این اثر از وضعیت داخلی جسم پرتودهی شده تاثیر پذیرفته و با آن می‌توان به وضعیت داخل جسم پی برد.

ب- آزمون اولتراسونیک Ultrasonic Test

آزمون اولتراسونیک یک روش NDT محسوب می‌شود که امواج صوتی با فرکانس بالا[در محدوده مگاهرتز] به درون ماده تحت آزمایش جهت ردیابی عیوب داخلی یا بررسی خواص ماده، ارسال می‌شود و با دریافت امواج عبورکرده و مشاهده آن می‌توان وضعیت داخل قطعه را بررسی نمود. در آزمون اولتراسونیک عیوبی از قبیل ترک‌ها، حفره‌های انقباضی، حفره‌های عمیق به خوبی قابل ردیابی و آشکارسازی می‌باشد. مجموعه المان‌های یک سیستم اولتراسونیک شامل: فرستنده‌ای از جنس کریستال پیزوالکتریک که وظیفه تولید امواج با فرکانس مناسب را برعهده دارد، ردیاب که وظیفه دریافت و نمایش امواج را برعهده دارد و یک مایع مخصوص جهت انتقال انرژی امواج به داخل ماده تحت آزمایش به نام کوپلانت می‌باشد.



شکل ۱۳ : آزمون مغناطیسی

**** آزمون مناسب در جوشکاری اتومات کدام است؟**

اشــاره کردیم که آزمون رادیوگرافی، آزمونی مطمئن و دارای سابقه طولانی در صنعت نفت و گاز می‌باشد. اما این آزمون یک عیب در جوشکاری اتوماتیک دارد و آن کندی و شرایط خاص آن می‌باشــد. محیــط اطراف موضع تحت آزمــون رادیوگرافی، به صورت موقت به تشعشــع‌های خطرناک رادیواکتیو آلوده می‌شــود و نمی‌توان همزمان با جوشــکاری در همان محل به آزمون رادیوگرافی هم پرداخت. برای حل این مشــکل آزمون اولتراســونیک پیشــنهاد می‌گردد. آزمون اولتراســونیک آلترناتیو مناســبی برای ضخامت‌های بالای ۸ میلیمتر می‌باشد. این آزمون دارای

شکل ۱۵ : آزمون اولتراسونیک

ســرعت بالاتر و نتایج قابل قبول می‌باشــد. به دلیــل جایگاه ویژه آزمــون رادیــوگرافی و به منظور ایجاد اطمینان بیشــتر به نتایج آزمون، توصــیه شــده است که به صــورت اتـفاقی علاوه بر آزمون اولتراسونیک، آزمون رادیوگرافی نیز بعمل آید.

منابع:

۱: خوردگــی، انتخــاب مــواد و جوشــکاری در صنعت نفــت و گاز؛ گردآوری و ترجمه وحید عامل

2 :The Haynes Welding Manual by Jay Storer and John H Haynes

3: API Standard 1104 Welding of Pipeline and Related Facilities

4: www.gullco.com

5: www.hobartbrothers.com

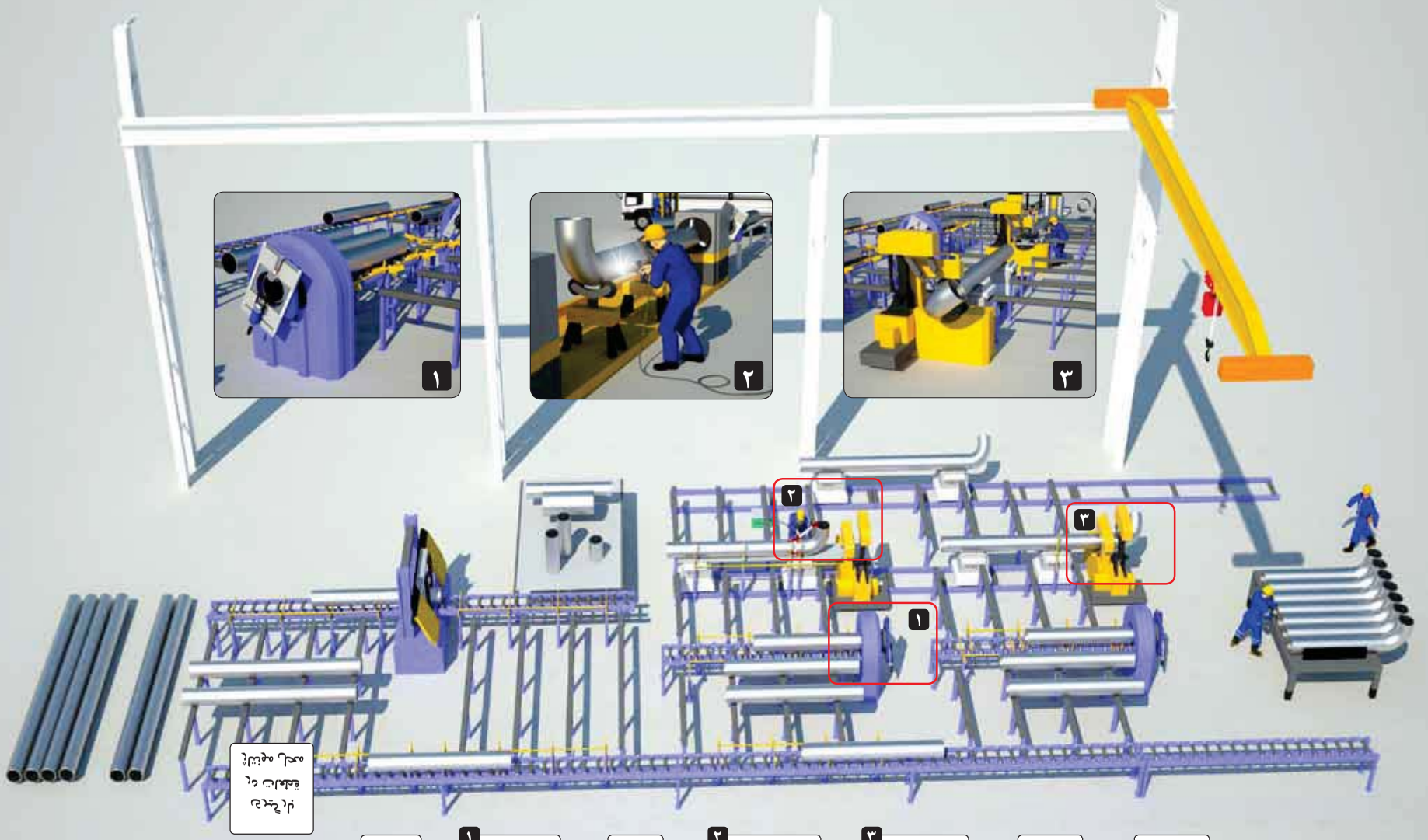
6: www.aws.org

7: www.lincolnelectric.com

8: www.esab.com

9: www.tecnar.com

10: www.ge-mcs.com


۱
۲
۳
۱
۲
۳
انبار
آزمون کیفیت
اتصال نهایی از طریق جوش اتومات
ثابت کردن قطعات با ایجاد خال‌جوش
حمل توسط رولرها
پخ‌زنی لبه‌ها
برش لوله‌ها