Archive of SID

بررسی تاثیر فاکتور های مختلف در استحکام لوله های پلی اتیلن جوشکاری شده به روش الکتروفیوژن و سر به سر

علیرضا عراقی[۱]، امین اخباری زاده*[۲]، محمد حسین پایدار[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی شیمی و مواد، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

۲- دکتری، گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی شیمی و مواد، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

۳- دکترا، گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۱۱، تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۳)

*Akhbarizadeh@shirazu.ac.ir

چکیده

جوشکاری لوله های پلی اتیلن به دو شکل جوشکاری سر به سر (butt-fusion) و الکتروفیوژن انجام می گیرد. در طول جوشکاری الکتروفیوژن دو سر لوله ای که قرار است به هم متصل شوند به داخل یک کوپلر فرستاده می شوند. کوپلر دارای سیم مقاومت الکتریکی است که برای ایجاد گرمای ذوب در سطوح جوش از آن ستفاده می شود. در این تحقیق تاثیر فاکتورهای موثر بر جوشکاری الکتروفیوژن از قبیل افزایش سرعت سرد کردن، تاثیر رطوبت در حین جوشکاری، ایجاد ضربه به گرده جوش قبل از اتمام سرد شدن، جوشکاری در دماهای کم و زیاد مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی تاثیر این عوامل از از آزمون کشش، آزمون لایه کنی ، بررسی سطح با کمک میکروسکوپ نوری میدان دید نزدیک و بررسی جوش با کمک رادیوگرافی (RT) استفاده شده است. نتایج بررسی ها نشان داد که جوش ها در اثر تغییر شرایط استاندارد، استحکام بسیار ضعیفی از خود نشان داده و محل سیم ها در کوپلر بعد از جوشکاری دچار اعوجاج می شود.

واژه‌های کلیدی:

جوشکاری الکتروفیوژن، رادیوگرافی،استحکام برشی در لایه کنی

۱- مقدمه

امروزه لوله های پلی اتیلن به مهمترین نوع از لوله های مورد استفاده در شبکه های انتقال و توزیع گاز و آب شهری تبدیل شده است. مهمترین عواملی که باعث این انتخاب شده است عبارتند از: هزینه های پایین نصب و نگهداری نسبت به لوله های فلزی، مقاومت بالا در برابر خوردگی، مقاومت شیمیایی بالا، حد دوام و عمر بالاتر(حداقل ۵۰ سال) و مقاومت بالا در برابر بارها و ضربه های ناگهانی مانند زلزله. پلی اتیلن یک پلیمر ترموپلاست می باشد که از اتصال پیوند دو گانه ی بین کربن مولکول اتیلن بوجود می آید. با پلیمریزاسیون مولکولهای اتیلن، پلی اتیلن حاصل می شود[۱-۲].

اصول روشهای جوشکاری گرم، بر پایه‌ی حرارت دهی دو سطح تا دمای معین و ترکیب و آمیخته شدن ناحیه ی اتصال دو سطح در یکدیگر با نیروی کافی می باشد. در این روش ها، نیرو سبب به جریان افتادن ناحیه ی مذاب و مخلوط شدن بهتر و

www.SID.ir

Archive of SID

راحت تر ناحیه ی اتصال می شود. در نهایت اتصالی قوی ایجاد می شود بطوریکه ناحیه ی اتصال استحکام کششی و فشاری در حد خود لوله یا حتی بیشتر از آن را نشان می دهد[۱-۲]. دو روش عمده جوشکاری لوله های پلی اتیلن عبارت است از روش سر به سر[۱] و روش الکتروفیوژن[۳].

در روش سر به سر دو سر لوله را در مقابل هم قرار داده و با کمک یک اتوی داغ عمل ذوب را انجام می دهند. پس از ذوب دو سطح اتو برداشته شده و دو سر لوله با فشار به هم متصل می شوند. در روش الکتروفیوژن از اتصالات خاصی به نام کوپلر که دارای سیم مقاومت الکتریکی است برای ایجاد گرمای ذوب سطوح جوش استفاده می شود[۳-۵].

در روش الکترو فیوژن از ذوب موضعی در محل عبور سیم پیچ ها استفاده می شود. در اثر عبور جریان الکتریکی از داخل سیم های مقاوم، دما افزایش یافته و ذوب صورت می گیرد. در این حالت سطوح همچنان بی حرکت باقی می مانند تا جوش سرد شود. لوله ها قبل از جوش حتما باید در مکان خود ثابت شوند و مانند جوش قبلی هر نوع آلودگی باعث خرابی جوش می گردد[۳, ۶-۷]. مراحل جوش Elctro-fusion به شکل زیر است:

الف- تمیز کردن سطح برای پاک کردن آلودگی ها.

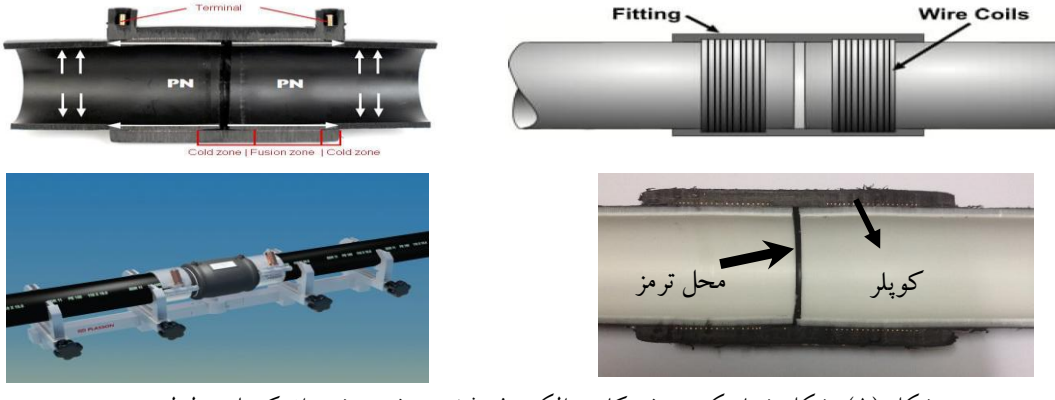
ب- تراشیدن سطح رویی نمونه به ضخامت ۰/۳ میلیمتر برای از بین بردن اکسید های سطحی. اطمینان از مسطح بودن و گرد بودن سطح لوله ها در این مرحله ضروری است.

پ- لوله ها تا طول مناسب درون لوله کوتاه سیم پیچ دار قرار داده می شوند.

ت- جریان الکتریکی از طریق ژنراتور برقرار می شود تا ذوب صورت گیرد. پس از گذشت زمان لازم برای ایجاد ذوب، دستگاه به شکل خودکار خاموش می شود.

ث- لوله ها تا پایان سردشدن بدون حرکت سر جای خود ثابت نگهداری می شوند. آمپراژ، ولتاژ و زمان نگهداری جریان، از متغیر های این روش جوشکاری می باشند. شکل شماتیک سیم پیچ ها در شکل ۱ آورده شده است[۱, ۸-۱۰].

علیرغم بررسی های انجام شده در زمینه فاکتور های موثر بر جوشکاری الکتروفیوژن، تحقیق جامع و کاملی به منظور مقایسه فاکتور های موثر بر استحکام جوش انجام نگرفته است. به همین دلیل در این تحقیق اثر فاکتور های مختلف حین جوشکاری مانند کاهش و افزایش دمای صفحه گرم کننده (hot plate)، افزایش سرعت سرد کردن، تاثیر رطوبت در حین جوشکاری، ایجاد ضربه به گرده جوش قبل از اتمام سرد شدن، جوشکاری در دماهای کم و زیاد مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور از آزمون کشش، آزمون لایه کنی[۲]، بررسی سطح با کمک میکروسکوپ نوری میدان دید نزدیک (NFSPM) و بررسی جوش با کمک رادیوگرافی (RT) استفاده شده است.



شکل (۱): شکل شماتیک جوش کاری الکتروفیوژن و برش عرضی از کوپلر و لوله

www.SID.ir

Archive of SID

۲- مواد و روش انجام آزمایش

به منظور بررسی تاثیر پارامتر های مختلف حین جوشکاری به روش الکتروفیوژن بر روی کیفیت و استحکام جوش، ۹ نمونه با شرایط مختلف تهیه گردید. شرایط عملیات جوشکاری برای نمونه های مختلف به اختصار در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول (۱): شرایط عملیات جوشکاری به روش الکتروفیوژن برای نمونه های مختلف

شماره نمونه	نوع کوپلر	مشخصه نمونه	ولتاژ(V)	زمان اعمال ولتاژ(s)	زمان سرد شدن(min)
۱	جورج فیشر سویس	استاندارد	۴۰	۱۲۰	۱۰
۲	جورج فیشر سویس	آلوده شده با خاک و گریس	۴۰	۱۲۰	۱۰
۳	جورج فیشر سویس	در حضور رطوبت	۴۰	۱۲۰	۱۰
۴	جورج فیشر سویس	ضربه شدید قبل از سرد شدن	۴۰	۱۲۰	۱۰
۵	جورج فیشر سویس	خنک کردن با آب	۴۰	۱۲۰	-
۶	جورج فیشر سویس	نرساندن لوله به ترمز انتها	۴۰	۱۲۰	۱۰
۷	جورج فیشر سویس	زمان کم ولتاژ دهی	۴۰	۵۶	۱۰
۸	جورج فیشر سویس	گرم کردن قبل از جوشکاری	۴۰	۱۲۰	۱۰
۹	جورج فیشر سویس	سرد کردن لوله قبل از جوشکاری	۴۰	۱۲۰	۱۰

براین اساس لوله پلی اتیلن PE100 با قطر خارجی mm ۹۰، تحت شرایط مختلف به روش الکتروفیوژن جوشکاری گردید. اولین نمونه تهیه شده که نمونه استاندارد نامیده می شود، طبق شرایط مندرج بر روی بارکد کوپلر(کوپلر جورج فیشر) جوشکاری شد. جهت تهیه‌ی این نمونه، پس از عملیات تمیزکاری، به مدت زمان ۱۲۰ ثانیه ولتاژ ۴۰ ولت به کوپلر اعمال شد و سپس نمونه ها در هوا به مدت ۱۰ دقیقه خنک گردید. برای مقایسه استحکام و کیفیت جوش با شرایط استاندارد، ۸ نمونه دیگر تحت شرایط متفاوت، جوشکاری و تهیه گردید. به همین منظور، جهت تغییر شرایط نمونه‌ی جوشکاری شده نسبت به حالت استاندارد پارامترهای مختلفی تعریف و در حین عملیات جوشکاری اعمال گردید. پارامترهای وارد شده به عنوان متغیر در نمونه‌ها عبارتند از:

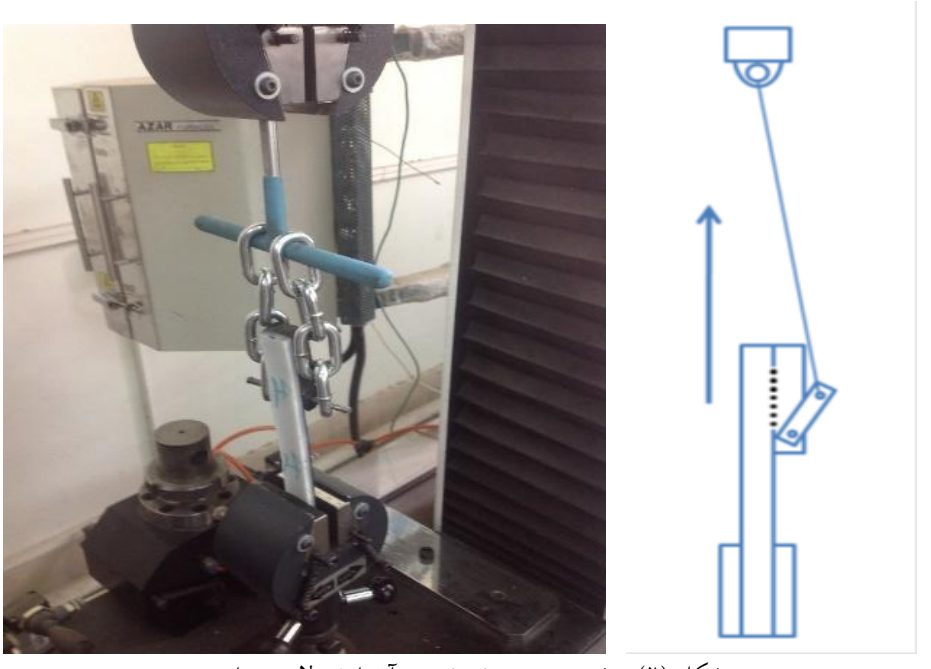
- آلودگی سطح لوله با روغن و خاک
- اعمال رطوبت بر روی سطح لوله ها
- اعمال ضربه به نمونه جوشکاری شده قبل از تکمیل عملیات خنک سازی
- خنک سازی لوله با آب پس از اعمال جوش
- عدم تطبیق لوله ها تا انتها و رساندن آن تا ترمز[3] در کوپلر
- کاهش مدت زمان اعمال ولتاژ به ۵۶ ثانیه
- افزایش دمای لوله حین فرآیند جوشکاری به منظور شبیه سازی جوشکاری در مناطق گرمسیر
- کاهش دمای لوله حین فرآیند جوشکاری به منظور شبیه سازی جوشکاری در مناطق سردسیر

پس از اعمال جوش به روش الکتروفیوژن و تهیه نمونه ها، استحکام جوش توسط آزمون لایه برداری[4] تعیین گردید. آزمون لایه برداری طبق استاندارد ISO 13954 بر روی نمونه ها انجام گردید [۱۱]. مطابق شکل ۲، نمونه روی دستگاه کشش بسته می‌شود و لایه برداری از ناحیه ی جوش با سرعت mm/min ۲۵ انجام و در حین آزمایش نیرو بر حسب جابجایی اندازه گیری می‌شود همچنین سطح شکست جوش پس آزمون لایه برداری، شکل ظاهری و برش عرضی جوش به کمک میکروسکوپ نوری میدان دید نزدیک (NFSOM) بررسی شد. در ادامه به منظور بررسی عیوب جوش، آزمون رادیوگرافی (RT) نیز بر روی نمونه ها انجام گردید. در این آزمون نمونه ها در محل خط جوش تحت تابش اشعه X، با انرژی kV ۵۰ به

www.SID.ir

Archive of SID

مدت ۳ ثانیه قرار گرفتند و تصویر رادیوگرافی از خط جوش نمونه ها تهیه گردید. همچنین سطح شکست نمونه ها، برش عرضی و شکل ظاهری جوش توسط عکسبرداری با میکروسکوپ دیجیتال(USB Digital Microscope) بررسی گردید.



شکل (۲): وضعیت بستن نمونه در آزمایش لایه برداری

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نمونه استاندارد

شکل ۳ الف و ب سطح شکست نمونه‌ی استاندارد را نشان می دهد، همانگونه که مشاهده می گردد، سطح شکست در محل عبور سیمها متفاوت با مکانهای بین سیمها می باشد. در محل عبور سیمها چسبندگی بیشتر بوده و سطح شکست حالت کنده شده دارد، در حالیکه در محل بین سیم ها سطح شکست صاف و هموار تر است. از طرف دیگر نمای دور سطح شکست نشان می دهد که سطوح از هم جدا شده، در محل اتصال سفید رنگ هستند. این مطلب معرف وسعت ناحیه چسبنده برای جوش می باشد، که نشاندهنده استحکام مناسب برای جوش است. به طور کلی سطوح جدایش جوش به سه دسته تقسیم می گردد:

۱- سطح جدایش ترد[5] در این نوع جدایش، جوش به راحتی از روی لوله کنده می شود. سطح جدایش، صاف و عاری از هر گونه ناهمواری می باشد. چنین سطحی عدم چسبندگی و در هم آمیختگی در منطقه ی فصل مشترک را نشان می دهد. در این مورد تمام یا قسمت اعظمی از جوش با اعمال نیرو و از روی سطح به صورت ترد جدا می شود. در این حالت وقوع شکست ترد و مردودی جوش کاملا مشهود است(شکل ۴ الف)[۳, ۶].

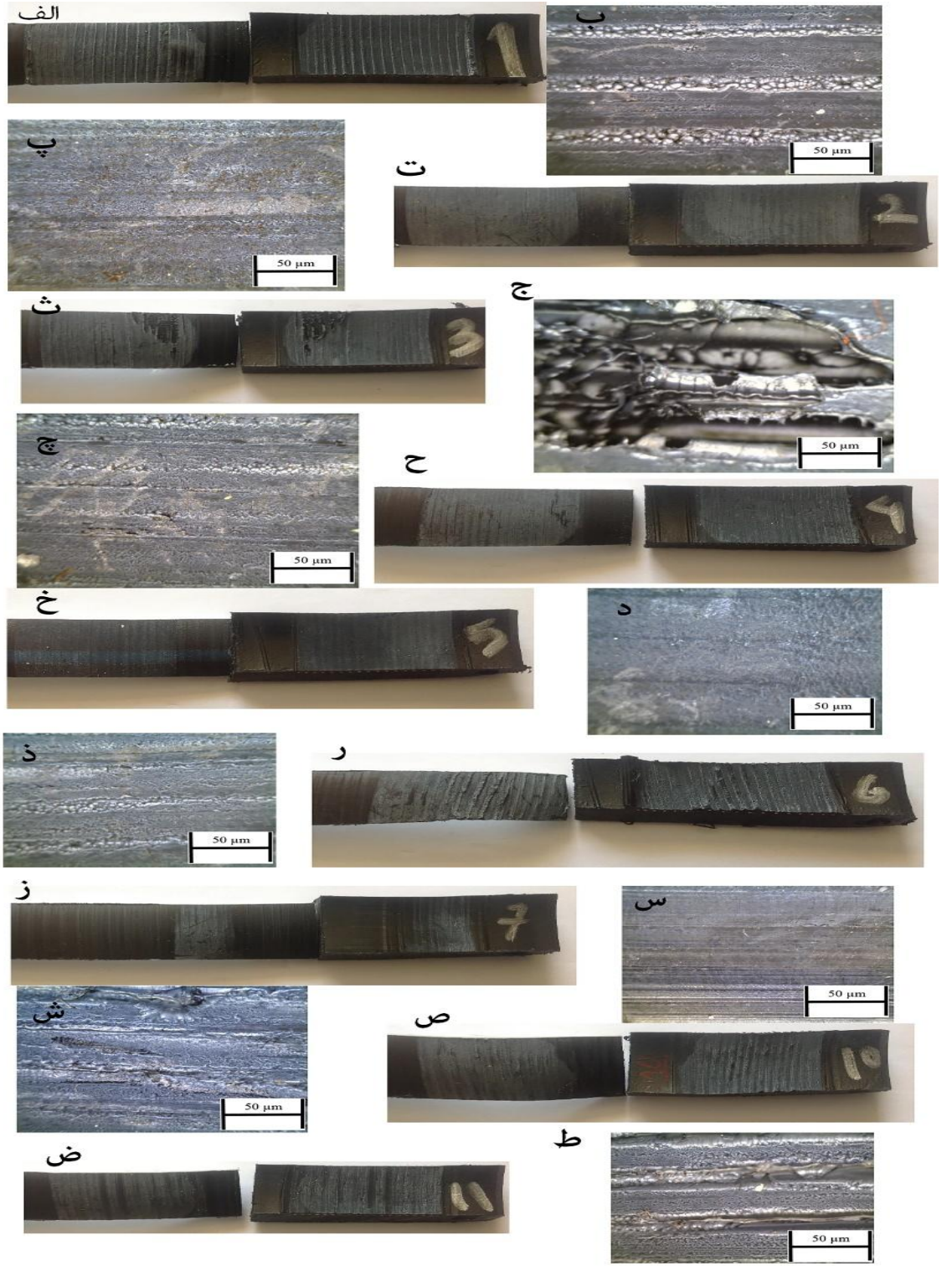
۲- سطح جدایش نیمه ترد: در نوع دیگری از جدایش باز شدن جوش کمی نرمتر صورت می گیرد. بنابراین سطح جدایش کاملا صاف نبوده و اثرات محل سیمهای حرارتی بر روی سطوح جوش وجود دارد(شکل ۴ ب).

۳- سطح جدایش نرم[6]: در این نوع جدایش، اتصال به سختی از روی لوله کنده شده و بررسی سطح جوش نشان دهنده ی در هم آمیختگی مواد در لایه داخلی اتصال و سطح خارجی لوله

www.SID.ir

Archive of SID

می باشد. در این نوع اتصال، سطح جدایش صاف نبوده و سطح آن به صورت کنده شده در می‌آید[۳, ۶](شکل ۴ ج).



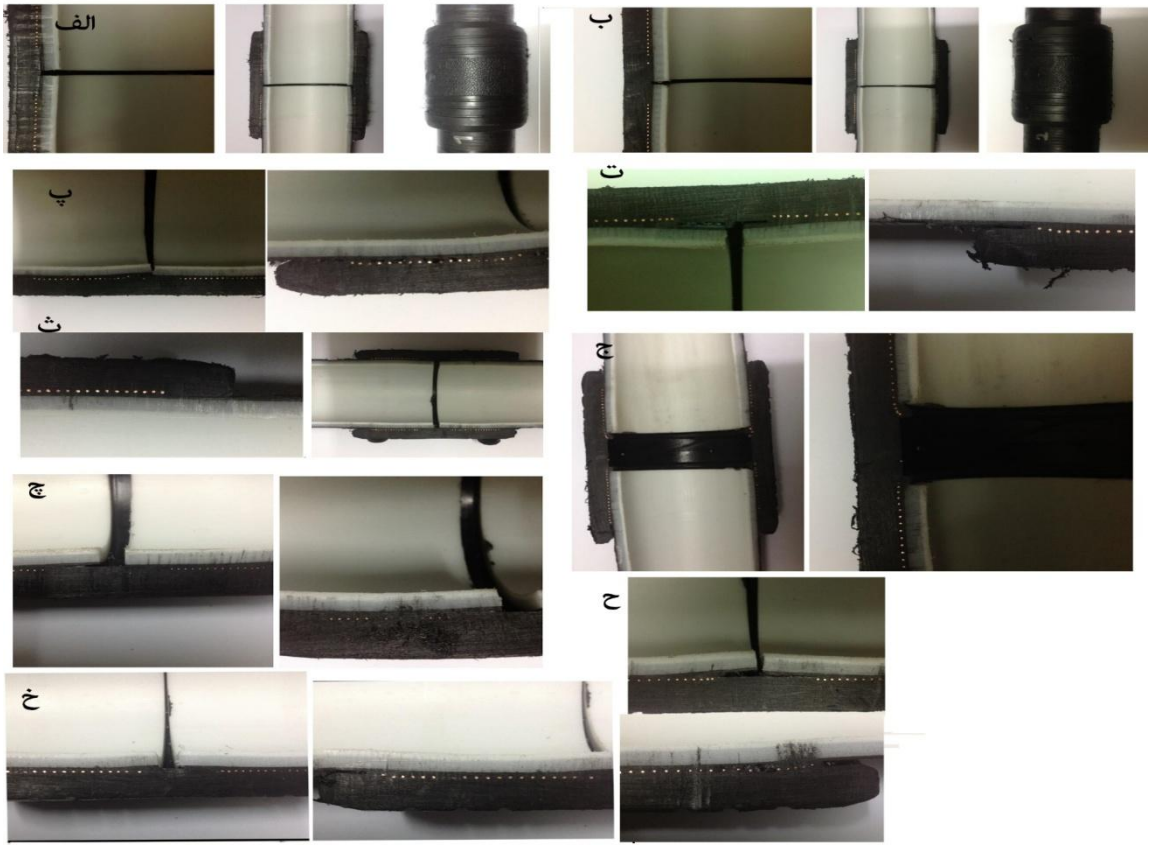
شکل (۳): سطح شکست نمونه‌ی:(الف، ب): استاندارد در دو نمای دور و نزدیک، (پ، ت): آلوده به روغن و خاک، (ث، ج): جوشکاری شده در حضور رطوبت، (چ، ح): ضربه خورده، (خ، د): آب سرد، (ذ، ر): غیر فیت، (ز، س): زمان کم ولتاژ دهی، (ش، ص): جوشکاری لوله سرد و (ض، ط): جوشکاری لوله داغ

www.SID.ir

Archive of SID

شکل (۴): سطح شکست: (الف): نرم،(ب): نیمه نرم و (ج) ترد

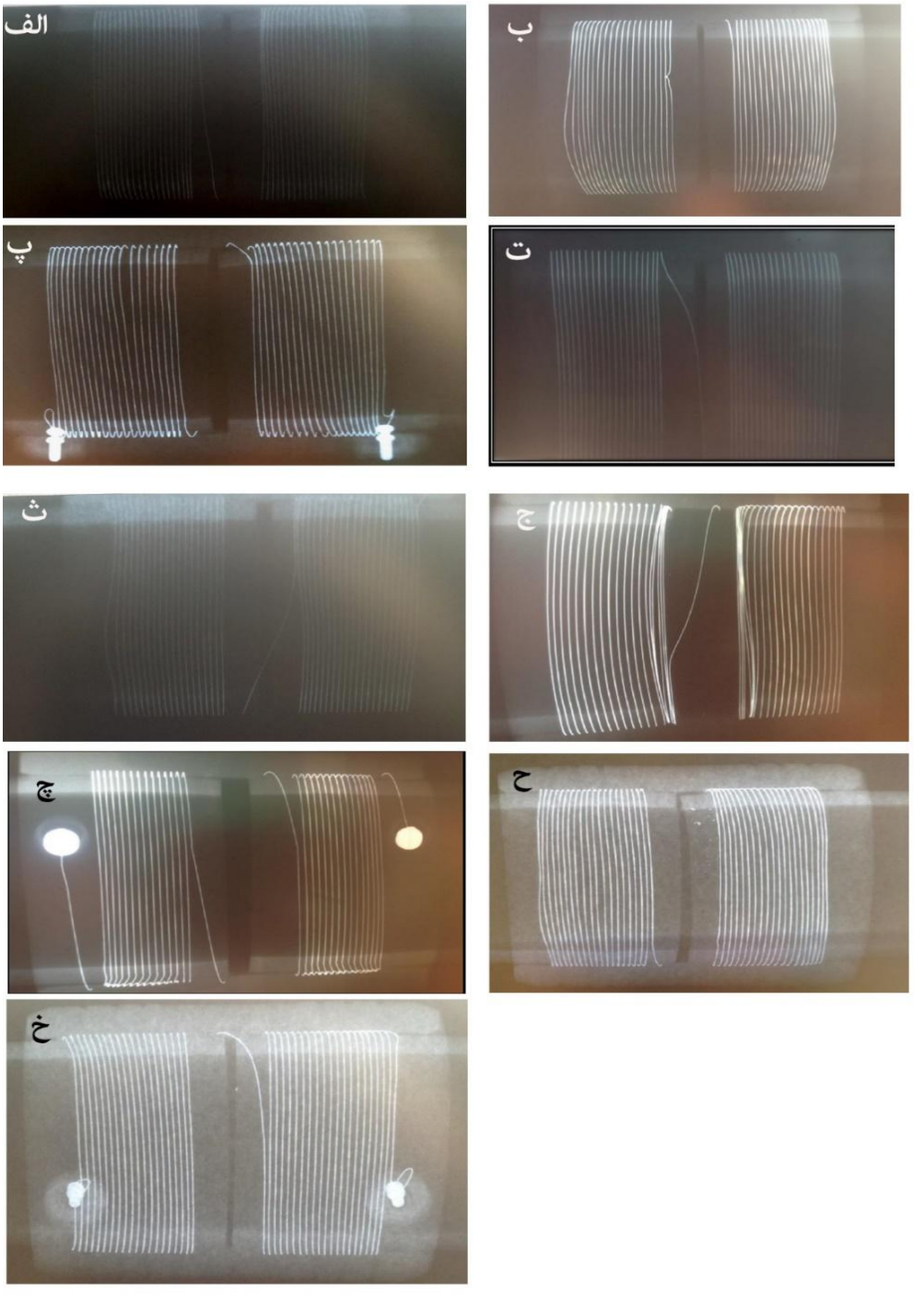
شکل ۵ الف مربوط به برش عرضی از نمونه‌ی استاندارد می-باشد. شکل ۶ تصویر رادیوگرافی سیم های لوله را نشان می دهد. مطابق شکل ۶ الف سیم‌های کوپلر به صورت کاملا متقارن مشاهده می‌شوند و هیچگونه عیبی از حیث مکان سیم-های کوپلر مشاهده نمی‌شود. به عبارت دیگر تصاویر رادیوگرافی نشان می دهد که سیم‌ها کاملا همگن درون ساختار پخش شده اند و هیچگونه ناهمگنی درون ساختار مشاهده نمی‌شود.



شکل (۵): برش عرضی ناحیه جوش در نمونه های: (الف): استاندارد، (ب): آلوده به روغن، (پ): جوشکاری شده در حضور رطوبت، (ت): ضربه خورده، (ث): آب سرد، (ج): غیر فیت، (چ): زمان کم ولتاژ دهی، (ح): جوشکاری لوله سرد و (خ): جوشکاری لوله داغ

www.SID.ir

Archive of SID



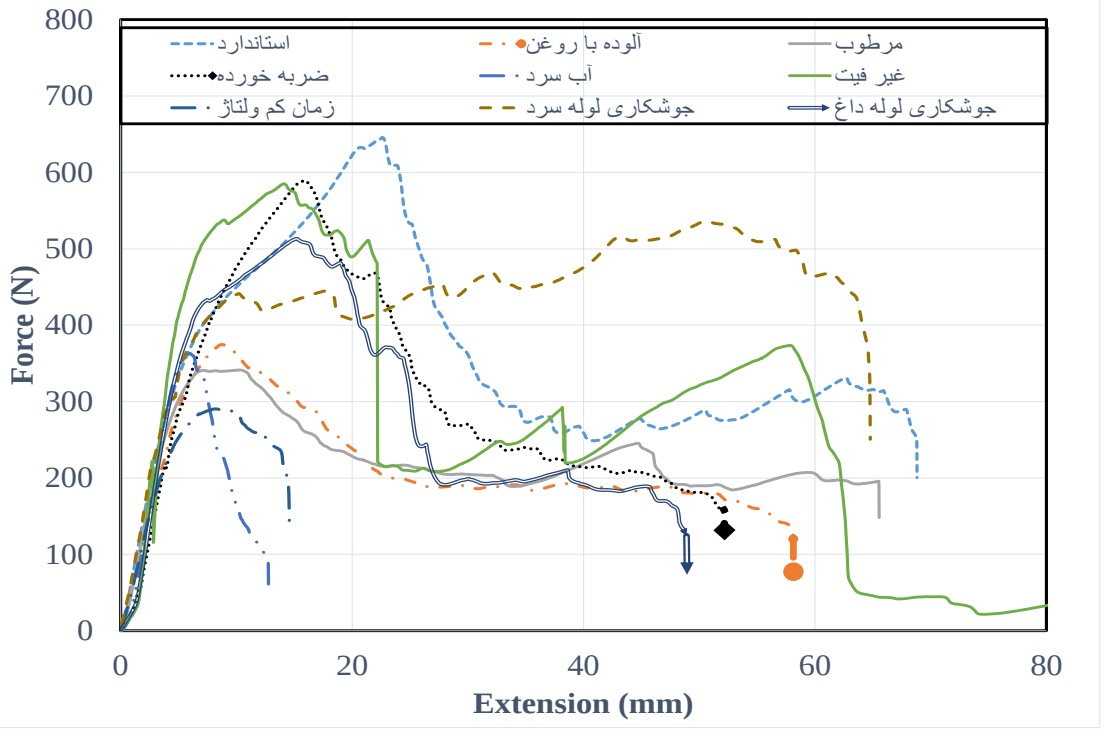
شکل (۶): تصویر RT از نمونه های: (الف): استاندارد، (ب): آلوده به روغن، (پ):جوشکاری شده در حضور رطوبت، (ت): ضربه خورده، (ث): آب سرد، (ج): غیر فیت، (چ): زمان کم ولتاژ دهی، (ح): جوشکاری لوله سرد و (خ): جوشکاری لوله داغ

مطابق شکل ۷ نتایج حاصل از آزمون لایه برداری از نمونه‌ی استاندارد را نشان می‌دهد. منحنی نیرو بر حسب جابجایی آن دارای دو قله می‌باشد بطوریکه بین دو قله حالت لبه لبه‌ای به علت ماهیت نوع شکست بوجود می‌آید. وجود حالت دندانه ای شکل در نمودار به علت کنده شدن سطح در محل عبور سیمها است که با جدا شدن سطح از محل سیم اول تا محل سیم دوم

www.SID.ir

Archive of SID

یک دندانه در نمودار ایجاد می شود و این روند تا انتها ی جدایش کامل جوش در آزمون لایه برداری ادامه می یابد.



شکل (۷): منحنی نیرو بر حسب جابجایی مربوط به نمونه‌ها

۳-۲- نمونه آلوده به خاک

حضور آلودگی در محل جوش نه تنها موجب ایجاد ذوب ناهمگن بلکه باعث کاهش در چسبندگی سطحی و تغییر رفتار شکست نمونه می شود. بطوریکه رفتار تنش کرنش نمونه‌ی آلوده شده از نمونه‌ی استاندارد فاصله گرفته است (شکل ۷). شکل ۵ ب تصویر مقطع عرضی از مکان جوش نمونه‌ی آلوده را نشان می‌دهد، هر چند در این تصویر هیچگونه تغییر خاصی در مکان الکترودهای سیمی مشاهده نشده است اما تصویر رادیوگرافی از این نمونه (شکل ۶ ب) ناهمگنی الکترودها که ناشی از ذوب ناهمگن است را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۳ پ وت سطح شکست در نمونه‌ی آلوده حالت لبه لبه‌ای خود را از دست داده و همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، نمودار نیرو بر حسب جابجایی نمونه‌ی حاوی آلودگی، به علت عدم چسبندگی سطحی، استحکام و جابجایی کمتری نسبت به نمونه‌ی استاندارد از خود نشان داده است. مشاهده شده است که در اثر حضور آلودگی حداکثر استحکام به میزان ۴۲٪ کاهش می یابد. بنابراین توصیه می‌شود ضمن جلوگیری از ورود آلودگی به محل جوش به عنوان یک پارامتر تاثیرپذیر در کنترل کیفیت جوش و همچنین رفتار تنش کرنش نمونه، اقدام به نزدیک‌تر کردن شرایط جوشکاری به حالت استاندارد شود.

۳-۳- جوشکاری در حضور رطوبت

تبخیر رطوبت در مکان‌های ذوب در نمونه سرد شده با آب، موجب ایجاد حفره می شود، ضمن اینکه مقدار قابل توجهی جابجایی[۷] در محل سیم‌ها دیده می شود (شکل ۵ پ). مطابق شکل ۶پ تصویر رادیوگرافی مقدار ناچیز جابجا شدن الکترودها را نشان می‌دهد، بطوریکه باز شدن فضای وسط در سمت چپ شکل ناشی از ذوب ناهمگن می‌باشد. شکل۳ ث و ج با نشان دادن سطح شکست نمونه‌ی در معرض رطوبت، شکست کاملا ناهمگن را در این نمونه توجیه می نماید.

www.SID.ir

Archive of SID

بطوریکه در یک ناحیه شکست کاملا نرم بوده و در سایر نقاط کاملا ترد می باشد و تایید کننده ذوب ناهمگن در این نمونه است. ضمن اینکه وجود حفره و نابجایی در محل جوش بر خواص مکانیکی نمونه اثر گذار بوده بطوریکه در مقایسه‌ی نمودار حاصل از آزمایش لایه برداری نمونه‌ی در معرض رطوبت نسبت به نمونه‌ی استاندارد، که در شکل ۷ نشان داده شده است، رفتار نیرو بر حسب جابجایی ضعیف‌تری دیده شده است. کاهش در میزان نیرو در نمونه جوش داده شده در معرض رطوبت نسبت به نمونه استاندارد ۴۷٪ می باشد. بنابراین کنترل میزان رطوبت در حین جوشکاری نه تنها بر خواص ظاهری سطح جوش اثر گذار بوده بلکه می‌تواند مانع از افت خواص مکانیکی از جمله رفتار تنش-کرنش نمونه شود.

۳-٤- نمونه ضربه خورده

همانطور که در شکل ۵ ت دیده می‌شود، اعمال ضربه به نمونه قبل از عملیات خنک سازی در جوشکاری الکتروفیوژن نه تنها موجب ایجاد نابجایی در سیم‌ها شده بلکه سطح داخلی کوپلر در محل ترمز به علت ضربه دچار عیب و ترک شده است. تصویر رادیوگرافی در شکل ۶ ت مقدار جابجایی سیم‌ها را به ویژه در سمت چپ نشان می‌دهد. علاوه بر آن به علت ضربه چسبندگی سطحی کاهش یافته و نمونه به صورت تعادلی سرد نشده است (شکل ۳ چ و ح). همچنین به علت ایجاد نابجایی، بروز عیوب و ترک و عدم چسبندگی سطحی نمونه، نمودار نیرو بر حسب جابجایی در نمونه‌ی ضربه خورده، کاهش استحکامی برابر ۸/۳٪ را نسبت به نمونه‌ی استاندارد نشان می-دهد(شکل ۷). با توجه به این نتایج لازم است جهت رعایت شرایط استاندارد و دسترسی به ظاهر جوش و همچنین رفتار مکانیکی مطلوب جوش، از وقوع ضربه قبل از تکمیل فرآیند خنک سازی در عملیات جوشکاری روی نمونه و مخصوصا در محل جوش خودداری شود. برای این منظور لوله جوشکاری شده نباید تا تکمیل مدت زمان خنک سازی از فک های نگهدارنده باز شود.

۳-۵- جوش سرد شده با آب

در نمونه هایی که با آب سرد شده اند، سیم‌های کوپلر تقریبا همگن و شبیه به نمونه‌ی استاندارد بوده (شکل ۵ ث) در حالیکه شکل ۶ ث (تصویر رادیوگرافی) جابجایی شدید سیم ها را نشان می دهد. مطابق شکل ۳خ و د سطح شکست این نمونه، چسبندگی ضعیف‌تری بدلیل ذوب ناقص در محل جوش نسبت به نمونه‌ی استاندارد از خود نشان داده است. بنابراین بروز جابجایی شدید الکترود و همچنین چسبندگی سطحی ضعیف، ناشی از سرد شدن نمونه با آب، منجر به کاهش استحکام به میزان ۴۵٪ و همچنین افت چشمگیر رفتار تنش- کرنش نسبت به نمونه‌ی استاندارد شده است (شکل ۷). بنابراین همانطور که از نتایج برمی آید سرد کردن نمونه با آب کیفیت جوش و رفتار مکانیکی آن را تحت تاثیر قرار داده و توصیه می‌شود جهت جلوگیری از بروز چنین خواص نامطلوب از سرد کردن نمونه با آب پس از اعمال ولتاژ به شدت اجتناب شود.

۳-٦- نمونه غیر فیت

اگر نمونه تا انتها به ترمز چسبانده نشده باشد، بین دو لوله فاصله‌ای بیشتری نسبت به فاصله استاندارد ایجاد می شود. شکل ۵ ج برش عرضی از محل جوش برای این نمونه را نشان می-دهد. مشاهده می گردد که سیم‌ها دچار جابجایی شدید شده اند. همچنین مطابق شکل ۶ ج، تصویر رادیوگرافی از این نمونه نشان می‌دهد که سیم‌ها در نزدیکی خط جوش حالت همگن خود را از دست داده و سیم‌ها به شدت در این محل دچار جمع شدگی شده اند. علاوه بر آن مطابق شکل ۳ (ذ و ر) سطح شکست این نمونه به میزان قابل توجهی حالت پلکانی خود را از دست داده است و سطح مقطع شکست(ناحیه سفید رنگ)، به علت عدم تطبیق لوله‌ها تا انتها در این نمونه نسبت به نمونه‌ی استاندارد، کمتر شده است. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، نمودار نیرو بر حسب جابجایی افت استحکام قابل توجه ۹/۳٪ را نسبت به نمونه‌ی استاندارد را از خود نشان می دهد که ناشی از بروز جابجایی و ناهمگنی سیم‌ها در خط

www.SID.ir

Archive of SID

جوش و رفتار سطح شکست می باشد. بنابراین توصیه می‌شود فاصله بین دو لوله در حد استاندارد، جهت دستیابی به خواص مطلوب نمونه‌ی جوشکاری شده رعایت شود.

۳-۷- زمان کم اعمال ولتاژ

در تصاویر عرضی و رادیوگرافی بدست آمده از نمونه هایی که در آنها زمان اعمال ولتاژ از ۱۲۰ به ۵۶ ثانیه کاهش یافته عیوب خاصی در محل جوش به چشم نمی خورد. اما این مطلب قابل پیش بینی است که در اثر کاهش زمان اعمال ولتاژ، حرارت کمتری تولید می شود که منجر به کاهش حجم مذاب تولیدی و باعث تولید ذوب ناهمگن در سطح مقطع جوش خواهد شد (شکل های ۵ چ و ۶چ). این امر باعث کاهش شدید در استحکام و چسبندگی جوش می گردد که در نتایج حاصل از آزمون لایه برداری کاملا مشهود است (شکل ۷). همانطور که در شکل ۳(ز و س) نشان داده شده است، چسبندگی فوق-العاده ضعیفی در تصاویر سطح شکست محل جوش دیده می شود. ذوب ناهمگن در محل جوش، بروز ترک و همچنین عدم چسبندگی سطحی موجود در نمونه‌ی جوشکاری شده در زمان کمتر از حد استاندارد، از جمله عوامل موثر در جهت توجیه کاهش چشمگیر استحکام نمونه (به میزان ۵۵٪) نسبت به نمونه - ی استاندارد می‌باشد (شکل ۷).

۳-۸- نمونه جوشکاری شده در محیط سرد

به منظور بررسی تاثیر جوشکاری در هوای سرد برروی خواص جوش، لوله های پلی اتیلن قبل از عملیات جوشکاری به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۰- درجه سانتی گراد سرد شدند و سپس عملیات جوشکاری روی آنها انجام شد. شکل ۵ ح برش عرضی این نمونه را نشان می دهد. با توجه به این شکل عیوبی نظیر حفره و عدم اتصال مناسب در محل جوش قابل مشاهده است. همچنین تصویررادیوگرافی بدست آمده از این نمونه (شکل ۶ ح) وجود جابجایی اندک در سیمها به علت ذوب ناهمگن را نشان می‌دهد. شکل ۳(ش و ص) سطح شکست این نمونه را پس از انجام آزمون لایه برداری ارائه می دهد. این شکل رخ دادن شکست نرم به همراه ناهمگنی در مذاب برای نمونه مورد نظر را نشان می‌دهد. علاوه بر آن مطابق شکل ۷ با مقایسه‌ی نمودار نیرو بر حسب جابجایی این نمونه نسبت به نمونه‌ی استاندارد، کاهش ۱۷/۲٪ در استحکام جوش دیده می شود که ناشی از ذوب ناهمگن و حضور عیوب در جوش می باشد. بنابراین توصیه می‌شود که کنترل دمایی حین جوشکاری به عنوان یکی از پارامترهای موثر بر کیفیت و خواص مکانیکی جوش، مورد توجه قرار گیرد.

۳-۹- جوشکاری در دمای بالا

به منظور بررسی تاثیر جوشکاری در هوای گرم برروی خواص جوش، لوله ها در معرض مشعل گاز تحت حرارت دهی قرار گرفته و تا دمای $۹۰^{o}C$ داغ شدند و سپس بلافاصله تحت عملیات جوشکاری قرار گرفتند. مطابق شکل ۴، برش عرضی این نمونه حضور عیوبی مانند حفره، ناپیوستگی و عدم اتصال در محل جوش را نشان نمی دهد. این درحالیست‌که تصاویر رادیوگرافی نیز جابجایی در سیم‌های الکترودی را نشان نداده است(شکل ۶ خ). سطح شکست در این نمونه ها (شکل های ۳ ض و ط) نشان‌دهنده‌ی شکست نرم می باشد، بطوریکه با افزایش دمای لوله، شکست به سمت شکست نرم رفته است و از سفیدی سطح شکست نسبت به حالت استاندارد کاسته شده است. شکل ۷ منحنی نیرو - جابجایی حاصل از آزمون لایه برداری برای این دو نمونه را نشان می‌دهد. مشاهده می گردد که با افزایش دما، استحکام جوش به میزان ۲۰٪ کاهش یافته است.

٤- نتیجه گیری

آزمایشات انجام شده بر روی نمونه‌ی استاندارد و نمونه های تعریف شده با اعمال پارامترهای مختلف در حین عملیات جوشکاری نشان می‌دهد که با تغییر دادن پارامترها و فاصله گرفتن از شرایط استاندارد، ضعف در کیفیت جوش و همچنین

www.SID.ir

Archive of SID

افت خواص مکانیکی نمونه ظاهر می‌شود. بنابراین جهت دستیابی به جوش مطلوب رعایت نکات زیر حین جوشکاری توصیه می‌شود.

۱- حضور آلودگی خاک و رطوبت، استحکام را به ترتیب به میزان ۴۲٪ و ۴۷٪ کاهش می دهد. علاوه بر آن جابجایی زیادی در محل الکترودها بدلیل ذوب ناهمگن بعد از جوش مشاهده می شود. بهمین دلیل باید از نفوذ خاک، روغن و رطوبت به محل جوش جلوگیری شود.

۲- کنترل دما هنگام جوشکاری باید از جمله فاکتورهای مهم حین جوشکاری محسوب شود. جوشکاری در دمای بسیار کم (۱۰°C-) و یا دمای بسیار بالا (۹۰°C) باعث کاهش شدید راندمان جوشکاری می شود. کاهش و افزایش دما به ترتیب استحکام را به میزان ٪۱۷/۲ و ۲۰٪ کاهش می دهد. سطح شکست در این نمونه ها از حالت ترد به حالت نرم تغییر می کند.

۳- کاهش زمان اعمال ولتاژ بدلیل ذوب ناهمگن در محل جوش، بروز ترک و عدم چسبندگی مناسب باعث کاهش استحکام به میزان ۵۵٪ می شود. بهمین دلیل باید حتما دقت شود که جوشکاری قبل از زمان مورد اشاره بر روی کوپلر ها به پایان نرسد.

۴- به هیچ عنوان نباید سرد شدن لوله‌ها پس از جوشکاری با آب انجام شود. سرد کاری باعث کاهش استحکام به میزان ۴۰٪ شده و جابجایی شدید را در محل سیم ها ایجاد می کند.

از باز کردن فک های نگهدارنده لوله قبل از تکمیل فرآیند خنک سازی باید پرهیز شود. ضربه دیدن لوله قبل از سرد شدن کامل باعث کاهش استحکام به میزان ٪۸/۳ شده و باعث کاهش چسبندگی سطحی می گردد.

۵- هم راستا سازی لوله ها در روش سر به سر و قرارگیری لوله ها تا انتهای ترمز کوپلر در روش الکتروفیوژن باید به دقت انجام شود. غیر فیت بودن لوله استحکام آن را به میزان ٪۹/۳ کاهش می دهد.

۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بدینوسیله از شرکت آب و فاضلاب استان فارس بابت تامین مالی و همکاری در انجام این پژوهش کمال تشکر را می نمایند.

٦- مراجع

[1] Malpass DB. Introduction to Industrial Polyethylene: Properties, Catalysts, and Processes: John Wiley & Sons; 2010.

[2] Peacock A. Handbook of Polyethylene: Structures: Properties, and Applications: CRC Press; 2000.

[3] J. Bowman, "A review of the electrofusion joining process for polyethylene pipe systems", Polymer Engineering & Science, Vol. 37, pp. 674-91, 1997.

[4] J. R. Atkinson & I. M. Ward, "The joining of biaxially oriented polyethylene pipes", Polymer Engineering & Science, Vol. 29, pp. 1638-41, 1989.

[5] D. S. Caravaca, C. Bird & D. Kleiner, "Ultrasonic phased array inspection of electrofusion joints in polyethylene pipes", Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, Vol. 49, pp. 83-6, 2007.

[6] Z. Chebbo, M. Vincent, A. Boujlal, D. Gueugnaut & Y. Tillier, "Numerical and experimental study of the electrofusion welding process of polyethylene pipes", Polymer Engineering & Science, Vol. 55, pp. 123-31, 2015.

[7] A. Guevara-Morales & P. Leevers, "Experimental and numerical investigation of barreling at the cut ends of solid and skinned PE pipes", Polymer Testing, Vol. 31, pp. 557-63, 2012.

[8] R. Kafieh, T. Lotfi & R. Amirfattahi, "Automatic detection of defects on polyethylene pipe welding using thermal infrared imaging", Infrared Physics & Technology, Vol. 54, pp. 317-25, 2011.

[9] M. Riahi, H. Arab & M. Ghanati, "Impact analysis of clearance occurring between polymeric pipe and connector in the process of electrofusion (EF) weldment of pipes", Int J Adv Manuf Technol, Vol. 63, pp. 329-35, 2012.

www.SID.ir

Archive of SID

۷- پی نوشت

[1] Peeling Test
[2] Space between pipes
[3] Peel decohesion test
[4] Brittle Fracture
[5] Ductile Fracture
[6] Vertical dislocation

[10] J. Shi, J. Zheng, W. Guo & Y. Qin, "Defects classification and failure modes of electrofusion joint for connecting polyethylene pipes", Journal of Applied Polymer Science, Vol. 124, pp. 4070-80, 2012.

[11] ISO. lastics pipes and fittings - Peel decohesion test for polyethylene (PE) electrofusion assemblies of nominal outside diameter greater than or equal to 90 mm, ISO 13954, 1997.

www.SID.ir