فصل اول

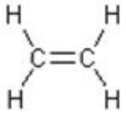
اتصالات پلی اتیلن

۱-۱ مقدمه:

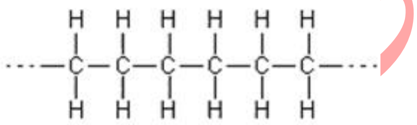
امروزه لوله های پلی اتیلن به مهمترین نوع از لوله های مورد استفاده در شبکه های انتقال و توزیع گاز و آب شهری تبدیل شده است. مهمترین عواملی که باعث این انتخاب شده است عبارتند از: هزینه های پایین نصب و نگهداری نسبت به لوله های فلزی، مقاومت بالا در برابر خوردگی، مقاومت شیمیایی بالا ، حد دوام و عمر بالاتر(حداقل ۵۰ سال) و مقاومت بالا در برابر بارها و ضربه های ناگهانی مانند زلزله. لوله های پلی اتیلن برای اولین بار در دهه ۵۰ میلادی در پروژهای آب رسانی و گازرسانی آمریکا استفاده شد و این موضوع در اروپا از دهه ۷۰ میلادی، درکشور های انگلیس و فرانسه آغاز گردید . میزان مصرف این لوله ها از ۱۵۱ کیلومتر در سال ۱۹۵۵ به ۱۶۰۰۰۰ کیلومتردر سال ۱۹۷۰ رسید و امروزه ۹۰ درصد از شبکه توزیع آب و گاز در آمریکا با استفاده از لوله پلی اتیلن صورت می پذیرد. تجارب، مشخصات، استانداردها و دانش فنی تولید لوله های پلی اتیلن در اروپا از طریق ارتباط و هم کاری فنی با معتبرترین تولیدکننده لوله های پلی اتیلن گاز رسانی در اروپا، به ایران منتقل شد. تولید لوله پلی اتیلن در یکی از شرکت های داخلی از سال ۱۳۷۸ با متراژ ۵ کیلومتر به ۱۸۰۰ کیلومتر در سال ۱۳۸۲ رشد یافت. برای اتصال لوله ها در شبکه های پلی اتیلن انتقال آب و گاز از چندین روش استفاده می شود که مهمترین و شناخته شده ترین این روشها جوش سر به سر و جوش الکتروفیوژن می باشد. در این بخش از تحقیق حاضر، ابتدا به طور مختصر به معرفی پلی اتیلن و انواع آن پرداخته سپس هر کدام از روشهای جوشکاری سر به سر و الکتروفیوژن به اختصار توضیح داده شده است و در نهایت انواع روشهای مخرب و غیر مخرب بازرسی بر خط جوش و اتصالات لوله های پلی اتیلن آورده شده است.

۱-۲ لوله های پلی اتیلن:

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. شکل ۱-۱ و ۲-۱ به ترتیب شماتیک ساختاری تک مولکول اتیلن و پلی اتیلن را نشان میدهد.



شکل ۱-۱: مولکول اتیلن



شکل ۲-۱: مولکول پلی اتیلن

آغاز استفاده از لوله های پلاستیکی تحت فشار، از حدود سال ۱۹۵۰ میلادی بود. از جمله کاربری های این لوله ها، انتقال آب، مواد شیمیائی، سیالات خنک کننده و گرم کننده، مواد غذائی، دوغابها، گازها، هوای فشرده و سیستمهای خلأ، چه در روی زمین و چه در زیر زمین است. لوله های پلی اتیلنی تک جداره، از جملهٔ این لوله ها هستند که می توان از آنها در فشارهای بین ۲ تا ۴۰ بار، با قطرهای مختلف استفاده نمود . ویژگیهای منحصر بفرد لوله های پلی اتیلنی نسبت به انواع دیگر لوله ها منجر به سرعت رشد استفاده از این محصول در شبکه های انتقال و توزیع آب شده است.

مزایای کاربرد پلی اتیلن نسبت به سایر مواد به صورت خلاصه عبارتست از:

۱. مقاومت مکانیکی مناسب در عین داشتن دانسیته پایین

۲. مقاومت شیمیایی بالا

۳. مقاومت سایشی بسیار عالی

۴.طول عمر مطلوب

۵. بهداشتی و غیر سمی بودن

۶. فساد ناپذیری

۷.قابلیت حمل ونقل و جابجائی آسان

۸. تنوع در سایز

۹. مقاومت بسیار عالی درمقابل زلزله

۱۰.انعطاف پذیری بسیار عالی

۱۱.مقاومت در برابر اشعه ماوراء بنفش و مادون قرمز

۱۲.مصون از زنگ زدگی

۱۳.زبری بسیار کم

۱۴.قابلیت جوش پلاستیک

۱۵.عایق صوتی

۱۶.عایق حرارتی

۱۷.عایق الکتریکی

۱-۳ تقسیم بندی لوله های پلی اتیلن بر اساس دانسیته:

تقسیم بندی پلی اتیلن ها معمولا بر اساس دانسیته صورت می گیرد. در زیر این نوع تقسیم بندی ارائه شده است.

UHMPE[1] : (پلی اتیلن با مولکول فوق سنگین) این نوع پلیمر جز پلیمرهای ترموپلاستیک بوده و گاهی با نام پلی اتیلن با مدول بالا (HMPE[2]) یا پلی اتیلن با کارایی بالا[3](HPPE) شناخته می شوند. این نوع پلی اتیلن دارای زنجیره های بلند با جرم مولکولی در محدوده ی ۲ تا ۶ میلیون واحد جرم اتمی[4](U) هستند. استحکام و بر همکنش بین مولکولی بالای زنجیره های بلند در انتقال نیرو به چارچوب اصلی پلیمر موثر بوده و منجر به ایجاد یک پلیمر منعطف با چقرمگی و استحکام ضربه ی بالا می شود.

این نوع پلیمر از زنجیره های بلند پلی اتیلن که در یک جهت تراز شده اند، تشکیل شده است. با وجود پیوند ضعیف واندروالس بین زنجیره های مولکولی، وجود زنجیره های بلند پلی اتیلن و همپوشانی بین زنجیره ها، انتقال نیروهای برشی بین زنجیره ها فراهم میکند. بنابراین هر زنجیره با تعداد زیادی پیوند واندر والس به زنجیره ی دیگر متصل میشود و سبب افزایش استحکام زنجیره ها می شود. نقطه ی ذوب این نوع پلیمر در محدوده ی ۱۳۶-۱۳۰ درجه ی سانتیگراد بوده و بر اساس استاندارد، استفاده از این پلیمر در دمایی بالاتر از محدوده ی ۱۰۰-۸۰ درجه سانتیگراد توصیه نمی شود. این در حالیست که این ماده در دماهای زیر ۱۵۰-درجه سانتیگراد ترد می شود.

HDPE[5]: (پلی اتیلن با دانسیته بالا) ویژگی بارز این نوع از پلی اتیلن ها نسبت بالای استحکام به دانسیته می باشد. معمولا دانسیته ی این نوع پلی اتیلن در محدوده ی g/cm^3 ۰/۰-۹۳/۹۷ است. این نوع پلی اتیلن نسبت به حالت دانسیته پایین، دارای نیروی بین مولکولی قویتر و استحکام کششی بالاتر است. از دیگر ویژگی های این نوع

---

[1] ultra high molecular weight PE
[2] high-modulus polyethylene
[3] high-performance polyethyle
[4] Atomic mass unit
[5] high density PE

پلی اتیلن: سختی بالا، کدر بودن و توان مقاومت حرارتی در دماهای ۱۲۰ درجه سانتیگراد در مدت زمان محدود و دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد به صورت پیوسته می باشد.

PEX[6] : (پلی اتیلن با اتصالات عرضی) تقریبا این نوع پلی اتیلن از HDPE ساخته می شود و PEX با ایجاد اتصالات عرضی درون ساختار، پلیمر ترموپلاستیک را به ترموست تبدیل میکند. این اتصالات عرضی در طول فرآیند اکستروژن یا بعد از آن ایجاد می گردد. درجه ی اتصالات عرضی مورد نیاز بر اساس استاندارد ASTM ، F 876-93 در محدوده ی ٪۸۹-۶۵ می باشد. این درحالیست که افزایش بیشتر درجه اتصالات عرضی موجب بروز تردی و ایجاد ترک ناشی از تنش می شود. در این نوع پلی اتیلن خواص دمای بالای پلیمر بهبود داده شده تا جایی که استحکام مناسب تا دمای ۱۲۰-۱۵۰ درجه سانتیگراد به علت وجود اتصالات عرضی قابل دستیابی است. همچنین مقاومت شیمیایی در این نوع پلیمر بهبود می‌یابد. از دیگر خواص این نوع پلیمر، بهبود خواص دما پایین، استحکام کششی و ضربه ای، مقاومت در برابر خراش و مقاومت به شکست ترد را می توان نام برد. از جمله کاربردهای این نوع پلیمر در صنایع لوله کشی، لوله کشی آب خانگی، لوله های حمل گاز طبیعی، مواد شیمیایی و فاضلاب می باشد.

MDPE[7] : (پلی اتیلن با دانسیته ی متوسط) دانسیته ی این نوع پلی اتیلن در محدوده g/cm^3 ۰/۰-۹۲۶/۹۴۰ می باشد. این نوع پلی اتیلن مقاومت خوبی در برابر شوک پذیری داشته، همچنین حساسیت نسبت به شکاف کمتر و مقاومت به ایجاد ترک تنشی بیشتر نسبت به پلی اتیلن با دانسیته بالا از خود نشان می دهد. از جمله کاربردهای این نوع پلی اتیلن، لوله ها و اتصالات گازی می باشد.

LDPE[8] : (پلی اتیلن با دانسیته ی پایین) دانسیته ی این نوع پلی اتیلن در محدوده ی g/cm^3 ۰/۰-۹۱۰/۹۴۰ می باشد. این ماده در دمای محیط جز با عوامل اکسید کننده و حلال هایی که می تواند منجر به تورم ساختار شود، واکنش پذیر نیست. همچنین تحمل دمایی این ماده تا دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به صورت پیوسته و تا

---

[6] cross-linked PE
[7] medium density PE
[8] low density PE

دمای ۹۵ درجه سانتیگراد در مدت زمان محدود می باشد. در این نوع پلی اتیلن نسبت به نوع دانسیته بالا نیروهای بین مولکولی ضعیفتر و استحکام کششی پایینتر و خاصیت ارتجاعی بالاتر است.

از دیگر خواص این نوع پلیمر میتوان به مقاومت عالی در برابر اسید، الکل، باز ، استرها ، مقاومت خوب در برابر آلدهید و کتونها و مقاومت محدود در برابر هیدروکربنات های آروماتیک و عوامل اکسید کننده و مقاومت ضعیف در برابر هیدروکربنهای هالوژنی اشاره کرد.

LLDPE[۹] : (پلی اتیلن با دانسیته ی خطی پایین) روش تولید این نوع پلی اتیلن نسبت به نوع LDPE متفاوت بوده و به علت عدم حضور زنجیره های شاخه ای بلند ساختار متفاوتی نسبت به آن خواهد داشت. این نوع از پلی اتیلن استحکام کششی، انعطاف و افزایش طول حین تنش و همچنین مقاومت ضربه بالاتری نسبت به نوع LDPE دارد که این خواص منجر به امکان تولید لایه های نازک با مقاومت مناسب در برابر ایجاد ترک و مقاومت مناسب شیمیایی خواهد شد.

۱-۴ تقسیم بندی لوله های پلی اتیلن بر اساس MSR:

موادی که در لوله، اجزا و اتصالات پلی اتیلن بکار برده می شوند بر اساس پارامتری که کمترین استحکام لازم[۱۰] را اندازه گیری میکند، تقسیم بندی می شوند. این معیار در واقع میزان مقاومت ماده در برابر فشار داخلی در دمای ۲۰°C به مدت ۵۰ سال می باشد. جدول ۱-۱ این تقسیم بندی را نشان می دهد.

جدول ۱-۱: تقسیم بندی ماده اولیه بر اساس MRS.

ماده اولیه	MRS (MPa)
PE32	3.2
PE40	4.0
PE63	6.3
PE80	8.0

---

[9] linear low density PE

[10] Minimum Required Strength (MRS)

PE100	10.0

PE 63

این مواد در حال حاضر از رده خارج هستند و مورد استفاده قرار نمی گیرند. این مواد دارای دانسیته ی کمتری نسبت به مواد جدیدتر بوده و بنابراین دارای وزن و ضخامت بیشتری هستند که هزینه تولید آن را بسیار بیشتر از مواد جدید می‌نماید که عملا استفاده از آن توجیه اقتصادی ندارد.

PE 80

استفاده از مواد جدیدتر با نام تجاری PE 80 پس از آن مطرح شد که تولید کنندگان مواد اولیه دریافتند که با افزایش دانسیته مواد میتوان در ضخامت و وزن کمتر به مواد اولیه با تحمل فشار بیشتر و قیمت ارزانتر دست یافت. ضمن آنکه با توجه به کاهش ضخامت عملا دبی عبوری به ازای واحد قطر بیشتر از حالت قبل می شد و لذا بسیار به صرفه تر می‌نمود.

PE 100

مواد PE 100 جزو جدیدترین نوع مواد اولیه می باشد که از نظر مشخصات فیزیکی و عملکردی دارای ویژگیهای منحصر بفردی می باشد که با دانسیته بیشتر و وزن و ضخامت کمتر میتواند فشار بیشتری را نیز تحمل نماید. مواد جدید با توجه به خاصیت ضد اشعه ماورا بنفش عملا مشکل لوله و اتصالات پلی اتیلن را بر طرف نمود.

مزایای استفاده از PE 100:

۱. فرآیندپذیری بهتر و میزان خروجی بالاتر و کاهش هزینه های تولید

۲. انعطاف پذیری بهتر برای کلاف پیچی، نگهداری و نصب لوله ISO 13469,Version 1997

۳. مقاومت بالاتر در برابر رشد ترک آرام و ضریب ایمنی بالای محصول (آزمون SCG)

۴.مقاومت بالاتر در برابر رشد ترک سریع آزمون (RCP) ISO13469, Version 1996

۵.مقاومت هیدروستاتیکی بالای PE 100 در مقایسه با PE 80 (آزمون بر اساس استاندارد ISO 1167)

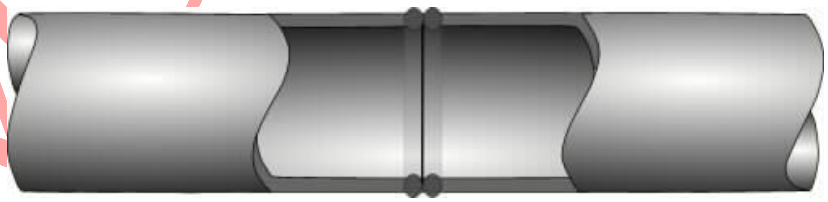
۱-۵ جوشکاری لوله های پلی اتیلن:

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 راحتر 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.

در ادامه دو مورد از روشهای جوشکاری گرم مورد استفاده در اتصال لوله های پلی اتیلن به اختصار توضیح داده می شود.

۱-۶ روش جوشکاری سر به سر[۱۱]

یکی از روشهایی که به طور گسترده در اتصال طولی لوله های پلی اتیلن با قطر زیاد مورد استفاده قرار میگیرد، روش جوشکاری سر به سر می باشد. شکل ۳-۱ شماتیک اتصال سر به سر را نشان می دهد.



شکل ۳-۱: اتصال استاندارد جوش سر به سر

---

[1] Butt fusion 1

این روش به آماده سازی و اصلاحات خاصی در محل اتصال دو لوله نیاز ندارد بطوریکه آماده سازی ناحیه ی جوش می تواند توسط اپراتور آموزش دیده انجام شود.

در این روش جوشکاری توجه به نکات زیر ضروری است:

به هیچ وجه جوشکاری سر به سر نباید در هوای بارانی، برفی، بادهای تند طوفان و سرما و گرمای شدید صورت پذیرد . اگر قرار است در چنین شرایطی اقدام به جوشکاری گردد، لازم است از چادر مخصوص این کار استفاده شود.

توصیه می شود فضایی که در آن جوشکاری صورت می گیرد، دارای دمای بالاتر از صفر درجه سانتی گراد باشد و لذا در صورتی که دمای محیط زیر حد مذکور باشد، استفاده از چادر و ایجاد دمای مناسب لازم است.

در صورتی که نیروی محرکه دستگاه از طریق ژنراتور تامین می شود، قبل از شروع جوشکاری لازم است مقدار سوخت ژنراتور کنترل شود تا از خاموش شدن ژنراتور در خلال عملیات جوشکاری پیشگیری شود و نیز چند دقیقه قبل از شروع جوشکاری، ژنراتور را روشن تا ولتاژ و آمپراژ مناسب از خروجی ژنراتور وجود داشته باشد.

۶ مرحله ی اتصال جوش لب به لب:

اتصال محکم اجزا به یکدیگر: هر کدام از اجزا که می خواهد ذوب شود باید در موقعیت مشخص خود قرار گرفته و محکم شود.

روبروی هم قرار دادن دو انتهای لوله: انتهای دو لوله که مقابل هم قرار دارند باید تمیز شده و دو سطح به صورت موازی روبروی یکدیگر قرار گیرند. عملیات تمیز کردن به منظور برطرف کردن لایه اکسید روی لبه های هر دو لوله و یا اتصال و ایجاد تطابق بین دو لوله ضروری است دو لبه ی مورد جوشکاری توسط رنده ی مخصوص رنده و تراشیده می شود. دو انتهای لوله تا حداقل فاصله بین فک ثابت و متحرک دستگاه روبروی هم قرار گرفته و دو انتها تحت همین شرایط بین دو فک دستگاه ثابت می شوند.

هم تراز کردن پروفیل لوله ها: پروفیل لوله ها باید دایره شکل بوده و برای به حداقل رساندن نا هماهنگی[1][2] نسبت بهم، تراز شوند. این کار توسط تنظیم گیره ی فک دستگاه تا جایی که قطر خارجی لوله ها باهم تطابق داشته باشند، صورت می گیرد. این درحالیست که فک دستگاه باید در حین فرایند نیز لوله را ثابت نگه دارد زیرا در حین مرحله ی ذوب احتمال لغزش لوله ها وجود دارد. لازم به ذکر است که به حداقل رساندن فاصله بین دو فک متحرک و ثابت دستگاه سبب می شود ناحیه ی اتصال بین دو لوله تا حد امکان بهم نزدیک شود. هرچه ناحیه ی اتصال بهم نزدیکتر شوند تراز کردن لوله ها توسط اپراتور راحتتر صورت می گیرد.

ذوب کردن فصل مشترک لوله ها: با حرارت دادن به دو انتهای لوله در ناحیه ی اتصال، دمای مورد نیاز فراهم می شود و حرارت به انتهای لوله منتقل شده و ناحیه ی مذاب در انتهای لوله ایجاد می گردد. حرارت توسط ابزار حرارتی که به سیستم ترمومتر برای اندازه گیری دمای داخلی مجهز شده است، فراهم می شود و اپراتور بر روی دمای قبل از اتصال نظارت دارد. این در حالیست که به علت اتلاف حرارت از داخل به سطح خارجی (میزان اتلاف حرارت به شرایط آب و هوایی بستگی دارد)، در عمل ترمومتر یک شاخص عمومی حرارتی محسوب می شود. اندازه گیری دمای سطح جهت اطمینان از دمای فراهم شده در فواصل معین زمانی صورت می گیرد.

اتصال دو پروفیل به یکدیگر: بعد از حرارت دهی به ناحیه ی اتصال دو لوله در دما و مدت زمان مشخص، ناحیه ی ذوب شده تحت فشار اعمالی مشخص برای مخلوط شدن و تشکیل یک اتصال همگن روبروی یکدیگر قرار می گیرند. میزان فشار موجود در فصل مشترک و مقدار ناحیه ی مذاب می تواند معیاری برای اتصال مناسب باشد. دستگاه هیدرولیک اعمال فشار می تواند فشار مناسب را برای لوله هایی با قطر ۵/۸ اینچ تا ۷۲ اینچ فراهم کند. در ادامه سیستم های کنترل متفاوت این دستگاهها ذکر شده است.

- سیستم دستی با پمپ هیدرولیک

---

[1] mismatch

[2]

- سیستم نیمه اتوماتیک با هیدرولیک موتوری شامل کاهنده ی فشار، انتخاب کننده و شیرهای مستقیم کننده

- سیستم تمام اتوماتیک با کامپیوتر یا کنترل پردازشگر برای سیکل حرارت و ذوب و فشارهای اعمالی

این در حالیستکه برای لوله های با قطر ۴ اینچ و کمتر از آن، دستگاه های اعمال فشار به صورت اهرمی مناسب می باشد.

نگه داشتن اتصال تحت فشار: ناحیه ی اتصال تا زمانیکه هنوز به طور کامل خنک نشده و به استحکام کافی نرسیده است، باید بدون حرکت باقی بماند. دستگاه به صورت اهرمی، نگهدارنده دستی و اتوماتیک می تواند طراحی شود. مدت زمان خنک شدن اتصال، به نوع ماده، قطر لوله و ضخامت لوله بستگی دارد.

۱-۷ آزمایشات جوش سر به سر پلی اتیلن:

۱-۷-۱ آزمونهای مخرب جهت کنترل کیفیت جوش سر به سر:

آزمایش هایی که بر روی جوشهای پلی اتیلن انجام می گیرد تماماً براساس استانداردهای بین المللی به شرح ذیل می باشد:

۱-۷-۱-۱ آزمایشات هیدروا ستاتیک کوتاه مدت :

در این روش دو طرف لوله پلی اتیلن جوشکاری شده توسط دو عدد کپ[۳]بسته شده و درون آن با آب گرم پر می شود . سپس در داخل مخزن دستگاه هیدرواستاتیک که دمای آن ۲۳ سانتی گراد می باشد، قرار می گیرد.

---

[1] End Closure

[3]

فشار توسط دستگاه آنقدر بالا برده می شود تا لوله بترکد در صورتیکه ترکیدگی از محل جوش باشد (تا قبل از حداقل فشار تعیین شده در استاندارد) سرجوش مردود می باشد. این آزمایش را آزمایش ترکیدگی سریع[۱۴]نیز می گویند .

۲-۱-۷-۱ آزمایش هیدرواستاتیک بلند مدت یا ۱۶۵ ساعته[۱۵]

در این آزمایش نیز دو طرف لوله به وسیله ی کپ بسته شده، سپس داخل نمونه را با آب پر نموده و نمونه که محل جوش در وسط آن قرار دارد تحت فشار هیدرواستاتیک ۴/۶-۴ مگا پاسکال به مدت ۱۶۵ ساعت قرار می گیرد، به طوری که در این مدت هیچگونه نشتی در جوش نباید مشاهده گردد. در صورت مشاهده شدن عیب و اشکال در جوش قبل از مدت آزمایش، جوش مردود خواهد بود.

۳-۱-۷-۱ آزمایش کشش:

- براساس استاندارد برای لوله هایی که ضخامت آنها کمتر از ۲۵ میلی متر باشد، مطابق استاندارد نمونه تهیه و تحت آزمایش کشش قرار می گیرد.
- سرعت کشش مطابق با استاندارد برای ضخامتهای مختلف تغییر می کند.
- تعداد نمونه های آزمایشی برای انجام آزمایش کششی مطابق جدول ۲-۱ براساس قطر لوله ها نمونه انتخاب و آزمایش می گردد.

جدول ۲-۱: تعداد نمونه مورد نیاز برای تست کشش.

تعداد نمونه مورد نیاز	قطر لوله (میلی متر)
۲	۹۰<D<۱۱۰
۴	۱۱۰<D<۱۸۰

---

[1] quic burst test 4
[1] short term test 5

۶	۱۱۰<D<۱۳۵
۷	۱۳۵<D

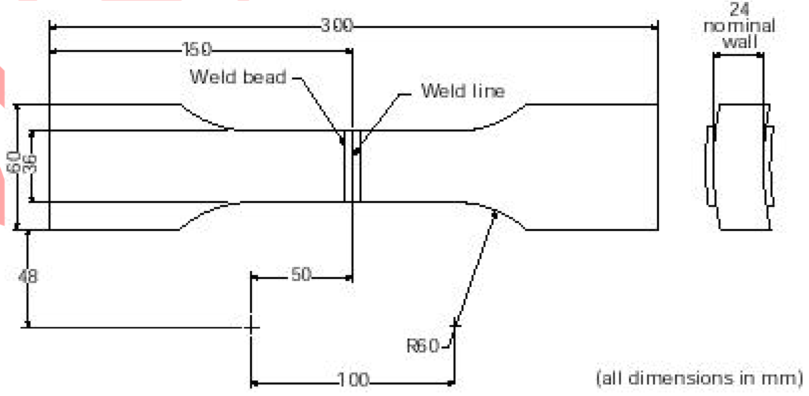
باید سعی شود نمونه اول از بحرانی ترین نقطه جوش انتخاب گردد و نمونه های دیگر نیز از قسمتهایی که دفورمه و یا نافرم می باشد انتخاب کنیم.

شرایط تهیه نمونه:

شرایط تهیه نمونه مورد آزمایش پس از جوشکاری، حداقل ۲ ساعت بعد و متوسط در ۲۰ درجه سانت ی گراد تعیین گردیده است و ۶ ساعت بعد از جوشکاری عملیات ماشین کاری نمونه انجام و حداقل ۲۴ ساعت بعد از جوشکاری می باید آزمون کشش صورت پذیرد.

۱-۷-۱-۴ آزمایش کشش با نمونه ی دمبلی شکل:[16]

این آزمایش مطابق با استاندارد اروپایی EN 12814-2 و با استفاده از نمونه دمبلی شکل انجام می شود. شکل ۱-۴ نمونه استاندارد این روش را نشان می دهد.



شکل ۴-۱: هندسه و ابعاد نمونه دمبلی شکل آزمایش کشش

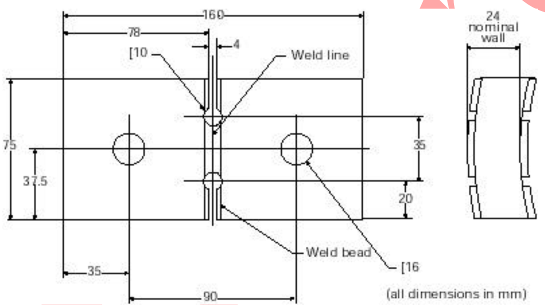
---

[16] Tensile test using dumb-bell specimens

معمولا ۵ نمونه از برش عمودی نسبت به ناحیه ی جوش تهیه می شود، بطوریکه ناحیه ی جوش سالم و دست نخورده باقی بماند. این آزمایش در دمای اتاق انجام می شود و سرعت حرکت فک دستگاه ۵۰ mm/min می باشد. کرنش کششی شکست مطابق استاندارد EN ISO 527-1 و میزان انرژی شکست از مساحت ایجاد شده زیر نمودار نیرو بر حسب جابجایی بدست می‌آید.

۱-۷-۱-۵ آزمایش کشش با نمونه ی میانی :[17]

این آزمایش مطابق با استاندارد اروپایی EN 12814-2 انجام می شود. هندسه ی نمونه مطابق با Annex B این استاندارد در شکل ۵-۱ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱: هندسه و ابعاد استاندارد نمونه

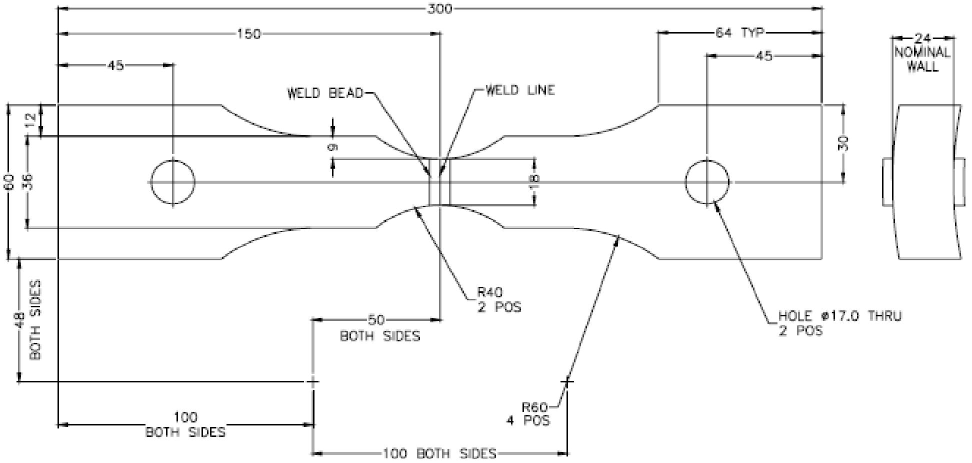
استفاده از این نمونه استاندارد نسبت به نمونه های دمبلی شکل، شکست نمونه را از ناحیه ی جوش تضمین می کند. ۵ نمونه از برش عمود بر ناحیه ی جوش مطابق استاندارد تهیه می شود. آزمایش در دمای اتاق انجام شده و فک دستگاه با سرعت ۵ mm/min حرکت میکند. کرنش شکست مطابق استاندارد EN ISO 527-1 تعیین می شود و انرژی شکست نیز از مساحت زیر نمودار نیرو بر حسب جابجایی تعیین می گردد.

---

[17] Tensile test using waisted specimens

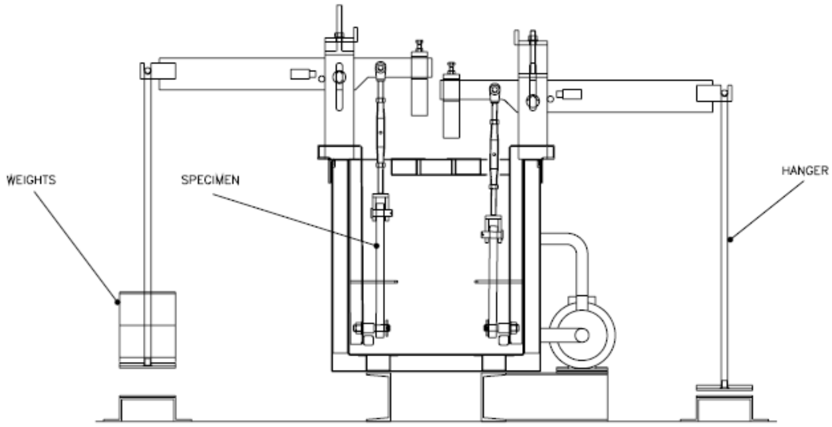
۱-۷-۱-۶ آزمایش نمونه ای کشش خزشی؛[18]

در این روش نمونه استاندارد مطابق شکل ۶-۱ بر اساس استاندارد EN 12814-3 تهیه می شود. هندسه ی نمونه ی استاندارد به گونه ای است که شکست از ناحیه ی جوش را تضمین می کند.


300
150
45
64 TYP
45
24
NOMINAL
WALL
WELD BEAD
WELD LINE
12
6
60
36
18
30
48
BOTH SIDES
R40
2 POS
50
BOTH SIDES
HOLE ø17.0 THRU
2 POS
R60
4 POS
100
BOTH SIDES
100 BOTH SIDES

شکل ۶-۱: هندسه و ابعاد نمونه ی استاندارد آزمایش نمونه ای کشش خزشی

این آزمایش در دمای ۸۰°C درون آب انجام می شود. شکل ۷-۱ تجهیزات این آزمایش را نشان می دهد.


WEIGHTS
SPECIMEN
HANGER

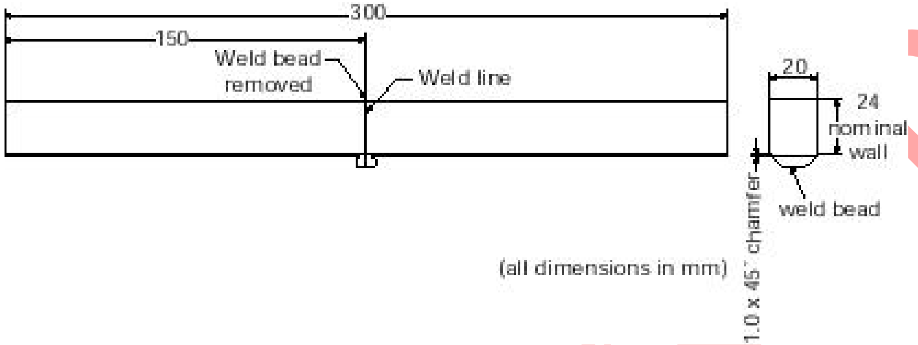
شکل ۷-۱: شماتیک تجهیزات آزمایش نمونه ای کشش خزشی

---

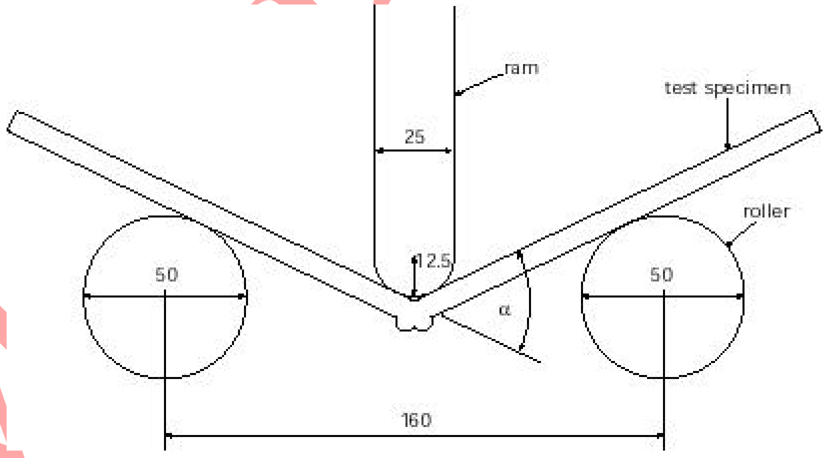
[18] Specimen tensile creep rupture test

۱-۷-۱-۷ آزمایش خمش سه نقطه[۱۹]

این آزمایش بر اساس استاندارد اروپایی EN 12814-1 انجام می شود. ابعاد نمونه مطابق شکل ۸-۱ و شماتیک روش انجام آزمایش در شکل ۹-۱ آورده شده است.


300
150
Weld bead removed
Weld line
20
24 nominal wall
weld bead
1.0 x 45° chamfer
(all dimensions in mm)

شکل ۸-۱: ابعاد نمونه آزمایش خمش سه نقطه.


ram
test specimen
25
roller
50
12.5
50
α
160

شکل ۹-۱: شماتیک روش خمش سه نقطه

---

[1] Three-point bend test 9

در این آزمون ۵ نمونه از برش عمودی نسبت به ناحیه ی جوش تهیه می شود و هر کدام از نمونه ها مطابق شکل ۱-۱۰ در تماس با سمبه[۲۰] قرار می گیرد. آزمایش در دمای اتاق انجام می شود، سرعت حرکت سمبه mm/min ۵۰ می باشد و با حرکت سمبه وقوع شکست یا ایجاد ترک در نمونه ی مورد آزمایش تعیین می شود. پایان آزمایش زمانی است که زاویه ی α نشان داده شده در شکل ۱۰-۱، ۱۶۰° شود.

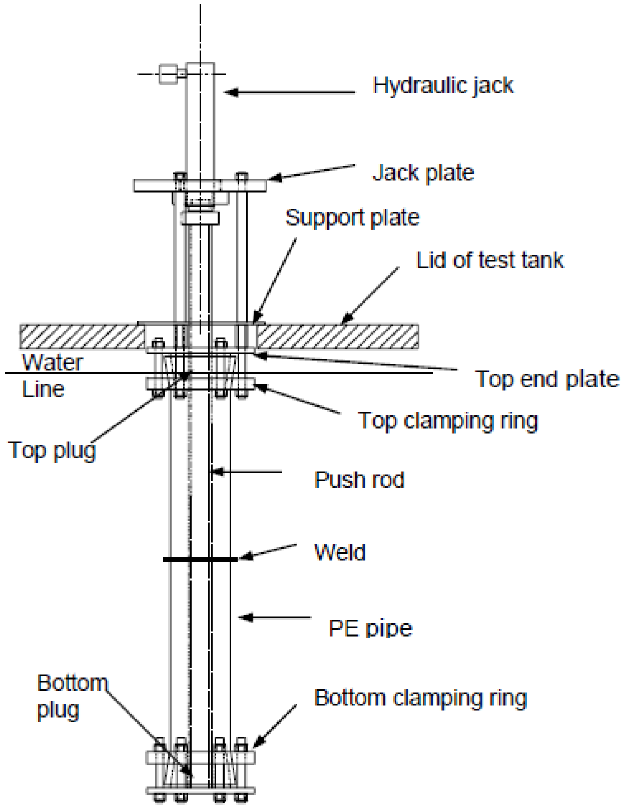
۱-۷-۱-۸ آزمایش کشش خزشی کل لوله.[۲۱]

در گذشته هیچگونه آزمایشی برای تهیه ی داده های بلند مدت روی بازرسی جوشکاری سر به سر بر روی کل لوله مطابق استاندارد وجود نداشته است. برای همین منظور TWI آزمایش کششی خزشی بر روی کل لوله طراحی کرده است بطوریکه کل لوله تحت کشش محوری در دمای مورد نظر قرار می گیرد. به علت وجود تنشهای باقیمانده درون لوله و ناحیه ی جوش نتایج این آزمایش نسبت به آزمایش نمونه ای به واقعیت نزدیکتر است و داده های بلند مدت قابل قبولی از این روش استنتاج می شود. شکل ۱۰-۱ شماتیک بار گذاری لوله برای انجام ازمایش کشش خزشی را نشان می دهد.

---

[20] ram

[21] Whole pipe tensile creep rupture tes


Hydraulic jack
Jack plate
Support plate
Lid of test tank
Water Line
Top end plate
Top clamping ring
Top plug
Push rod
Weld
PE pipe
Bottom plug
Bottom clamping ring

شکل ۱-۱۰: شماتیک بارگذاری لوله در آزمایش کششی خزش کل لوله.

لازم به ذکر است که نمونه ای با طول ۱۰۶۵ mm در آب گرم با دمای ۸۰ °C تحت نیروی کششی ۱۲۰ kN قرار می گیرد و موجب ایجاد تنش در دیواره ی لوله می شود.

۱-۷-۲ آزمایشات غیر مخرب به منظور بازرسی و کنترل کیفیت جوش سر به سر:

در این بخش، آزمایشات غیر مخرب برای لوله های پلی اتیلن ارائه شده است.

۱-۲-۷-۱ بازرسی چشمی:

این روش که به صورت گسترده مورد استفاده قرار می گیرد، بازرسی چشمی از ناحیه ی بیرونی جوش می باشد. این روش تنها معایب فاحشی مثل عدم تطابق دو لوله نسبت بهم یا عیوبی که منجر به ایجاد ناحیه ی جوش غیر طبیعی می شوند را تشخیص می دهد.

یک نمونه از محدودیتهای این روش آن است که گرده ی جوش[22] ضعیف اغلب نماینده ی جوش غیر قابل قبول می باشد. این درحالیستکه گرده ی جوش مناسب، وجود جوش قابل قبول بدون نقوص داخلی را تضمین نمی کند.

۱-۲-۱-۷-۱ کنترل چشمی

هیچگونه آثاری از آسیب، مثل خراشیدگی، اثرات عمیق که ممکن است از طریق بستن گیره ها و غیره بوجود آید، نباید در خط جوش مشاهده شود.

۱-۷-۲-۱-۲ کنترل کیفیت لبه و یا گرده جوش[23]

با ابزار اندازه گیری مخصوص می توان لبه و یا گرده جوش را مشخص نمود ، بطوریکه شکل ظاهری آن می باید به صورت یکنواخت ایجاد شده باشد، بید[24] و یا گرده جوش باید سخت و دارای شکل محدب و با ریشه پهن باشد و نباید حالت مقعر با ریشه باریک و یا شکلهای دیگر داشته باشد که ناشی از فشار زیاد و یا فشار کم در بین جوشکاری باشد.

---

[22] Bead weld
[23] Quality contaral of Removed
[24] bead

* در بعضی از خطوط اتصال لوله ها ناحیه ذوب شده ی باقی مانده از جوشکاری سر به سر مطلوب نیست زیرا درون این ناحیه ممکن است جریانات جزئی متلاطم[۲۵]مذاب سبب ایجاد انحراف جامدات شوند. در صورت نیاز تجهیزاتی برای برطرف کردن سطح نا صاف ناحیه ی ذوب فراهم می باشد.

شکل ظاهری و بازرسی کیفیت جوشکاری انجام شده:

شکاف جوش: شکاف جوش (the gap) بین دو گرده برآمده جوش در انتهای لوله نباید از سطح لوله پایینتر باشد.

جابجایی (ناهم ترازی) (displacement): میزان ناهمترازی بین دو سر لوله های جوش داده شده نباید بیشتر از ۱۰ درصد ضخامت لوله باشد.

عرض لبه و یا گرده جوش Bead: عرض گرده جوش توصیه شده براساس سایزهای مختلف لوله مطابق جدول ۳-۱ می باشد.

جدول ۳-۱: عرض گرده جوش (میلی متر)

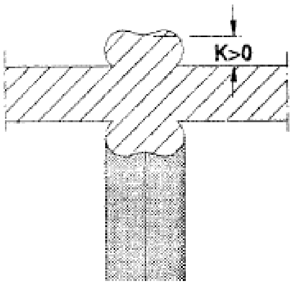
عرض گرده جوش	حداقل ضخامت لوله	عرض لبه و یا دو گرده جوش	حداقل ضخامت دیواره لوله
13-18	22	4-6	4
14-19	24	4-7	6
15-20	27	5-8	8

---

[2] turbulance 5

16-21	30	6-9	9
17-22	34	7-10	11
18-23	40	9-12	13
20-25	45	10-14	16
22-27	50	12-16	18
24-30	55	12-18	19
26-32	60		
28-36	65		

شکل ۱۱-۱ نمونه ای از یک گرده ی جوش یکنواخت ،کاملا گرد و بدون شکاف را نشان می دهد.

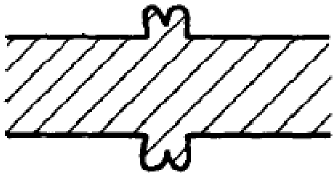


شکل ۱۱-۱: گرده ی جوش یکنواخت

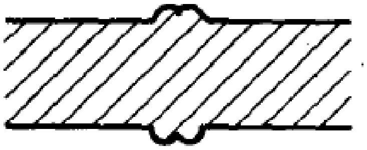
MSR group

نمونه هایی از گرده های جوش معیوب در زیر نشان داده شده است.

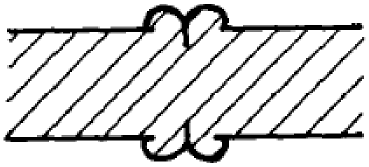
۱- ناحیه ی برآمده بسیار نازک و بلند است.



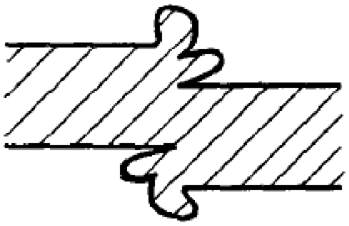
۲- ناحیه ی برآمده بسیار پهن است.



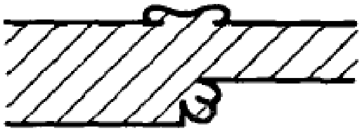
۳- وجود گره نامطلوب و شکاف عمیق در ناحیه ی برآمده ی گرده ی جوش.



۴- وجود گره نامطلوب با ناهماهنگی و عدم تطابق بالا.

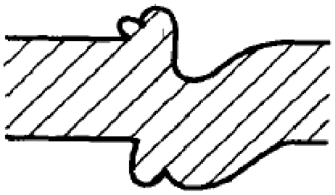


۵- وجود گره نامطلوب در گرده ی جوش با ضخامت های متفاوت اجزای جوش.

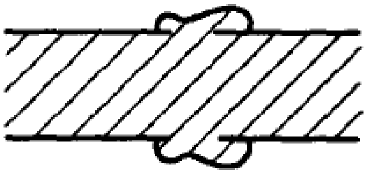


۶- وجود گره نامطلوب در گرده ی جوش و ایجاد تغییر شکل در نواحی مجاور گرده ی جوش.

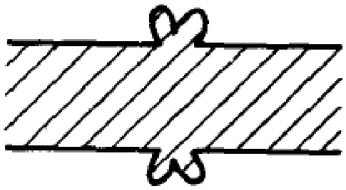
MSRPCO Group



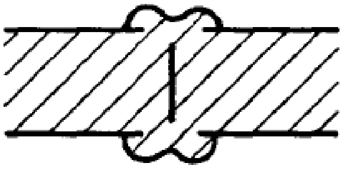
۷- جوشکاری دو ماده به یکدیگر با نقطه ی ذوب یا دمای حرارت دهی همگن متفاوت.



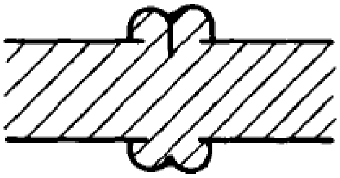
۸- جوشکاری در دمای بسیار پایین.



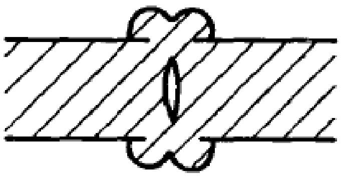
۹- درز جوش سرد.



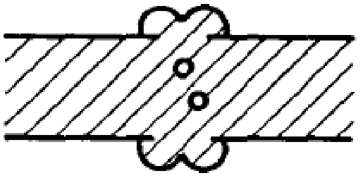
۱۰- پارگی درز جوش.



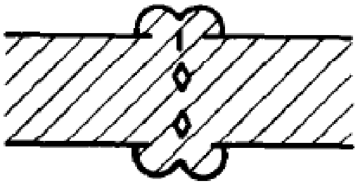
۱۱- وجود حفره در درز جوش.



۱۲- وجود خلل و فرج در درز جوش.



۱۳- وجود ناخالصی در درز جوش.



در موارد ۹ تا ۱۳ تشخیص عیوب جز با روشهای آلتراسونیک و اشعه ی ایکس یا روشهای مخرب برش مقطع ناحیه ی جوش،[۲۶]امکانپذیر نمی باشد.

۱-۷-۲-۲ بازرسی به روش آلتراسونیک:

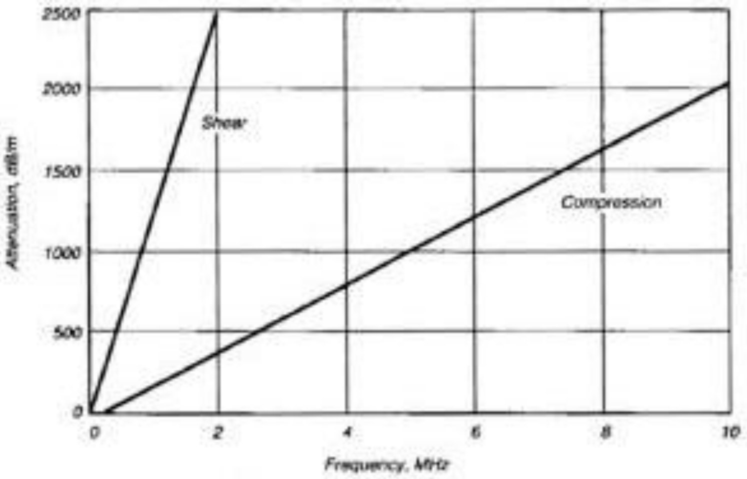
در این روش امواج فراصوت با فرکانس (MHz ۲-۵) برای قطعات پلیمری به درون قطعه فرستاده می شود. روش کار معمولاً به این صورت است که با قراردادن پروب بر روی قطعه کار امواج صوتی به درون آن فرستاده می شود که در صورت وجود عیب و نقص در داخل قطعه، بخشی از امواج منعکس می گردد. پالس فرستاده شده و انعکاسات بر روی صفحه نمایش داده می شود و با کالیبره نمودن صفحه بر حسب یک پالس مرجع که معمولا انعکاس از دیواره پشت قطعه و یا سطح منعکس کننده می باشد می توان فاصله عیب از سطح قطعه را مشخص نمود. در این

---

[2] Visual exam 6

روش که به روش روبش[2] موسوم است، اطلاعات دریافتی به صورت پالس بوده و از روی محل پالس روی صفحه نمایشگر و ارتفاع پالس می توان به موقعیت ، اندازه و ماهیت عیب پی برد.

شکل ۱۲-۱ نشان می دهد که میزان تضعیف امواج فراصوت در پلی اتیلن مستقیما با فرکانس ارتعاشات امواج فراصوت متناسب است. همچنین نشان می دهد که تضعیف امواج برشی فراصوت به نسبت امواج فشاری با سرعت بیشتری رخ می دهد. به همین خاطر آزمایشات آلتراسونیک به استفاده از امواج فشاری فرکانس پایین (ie < 4MHz) با عمق نفوذ مناسب (25mm) برای لوله های HDPE محدود می شود. شکل ۱۳-۱ نمونه ای از انعکاس پالس فرستاده شده به داخل نمونه را روی صفحه ی نمایش و شکل ۱۴-۱ مسیر انعکاس امواج هنگام برخورد به عیب درون نمونه را نشان می دهد. همانطور که در این شکل دیده می شود امواج مافوق صوت از پروب فرستنده با زاویه ی مشخص به سمت نمونه خارج شده و مطابق شکل در صورتیکه امواج به دیواره ی لوله برخورد کند (زمانیکه عیب بر سر راه عبور امواج نباشد) امواج با همان زاویه ی ورودی به سمت راست منعکس شده و پروب گیرنده قادر به تشخیص امواج نبوده و پالس دریافتی نخواهیم داشت. در حالیکه در اثر حضور عیب بخشی از امواج به سمت پروب گیرنده منعکس شده و در نمودار پیک عیب نمایان می شود.

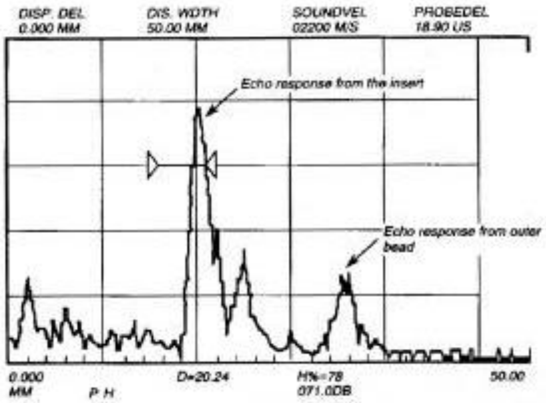


---

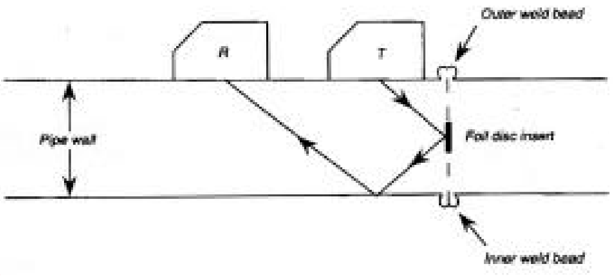
[2] A-Scan

7

شکل ۱۲-۱: تضعیف امواج فراصوت در HDPE در فرکانسهای متفاوت.



شکل ۱۳-۱: انعکاس پالس فرستاده شده به داخل نمونه روی صفحه ی نمایش.



شکل ۱۴-۱: مسیر انعکاس امواج هنگام برخورد به عیب درون نمونه.

۳-۲-۷-۱ بازرسی به روش رادیوگرافی اشعه ایکس:

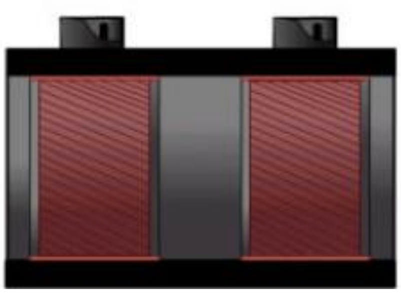
پرتو های الکترومغناطیس با طول موج بسیار کوتاه یعنی پرتو X یا پرتوγ به درون محیط‌های جامد نفوذ می کنند. اما جزیی از آنها بوسیله محیط جذب می شود. مقدار جذبی که صورت می گیرد به چگالی و ضخامت ماده ای که پرتو از میان آن می گذرد و همچنین به مشخصه های پرتو بستگی دارد. پرتو عبوری از میان ماده را می توان به

روی فیلم یا کاغذ حساس آشکار و ثبت نمود. در بازرسی پرتونگاری ، جسم مورد بررسی در مسیر تابش پرتو X یا چشمه نور γ قرار می گیرد. مقداری پرتو توسط جسم جذب می شود اما مقداری از آن از جسم عبور کرده و به فیلم برخورد می کند و تصویر نهان به وجود می آورد، اگر جسم حاوی نقصی باشد که توان جذب متفاوتی نسبت به ماده جسم داشته باشد، آنگاه مقدار پرتو گسیل شده از جسم درست از زیر نقص ، نسبت به پرتو گسیل شده از ناحیه های مجاور بدون نقص، متفاوت خواهد بود و هنگامی که فیلم ظاهر می شود وجود نقص در ماده را نشان می دهد. به این ترتیب نقص به صورت سایه ای در فیلم نمایان می شود. این سایه بسته به ماهیت نقص و مشخصه های جذب نسبی آن ممکن است چگالی کمتر یا بیشتری نسبت به تصویر اطراف خود داشته باشد. در این روش فیلم ظاهر شده نمایشی دو بعدی از جسمی سه بعدی است.

روش پرتونگاری قادر است هر گونه ویژگی را در قطعه یا ساختار به شرط وجود تفاوتهای کافی در ضخامت یا چگالی قطعه آزمون آشکار کند، تفاوتهای کلی آسان تر از تفاوتهای جزیی آشکار می شود. انواع نقص ها در صورتی که چگالی عیب متفاوت با چگالی ماده اصلی باشد مانند تخلخل ، حفره ها و ناخالصی ها، قابل تشخیص می باشد. در این روش بهترین نتیجه وقتی بدست می آید که نقص، ضخامت محسوسی در امتداد موازی با باریکه پرتو دارد. نقص های صفحه ای مثل ترکها را همواره نمی توان آشکار نمود و توانایی تغییر محل ترک به موقعیت آن نسبت به پرتو بستگی دارد. معمولا روش های بازرسی پرتو نگاری برای بررسی جوش ها و قطعات ریخته گری شده به کار می رود و در بسیاری موارد بطور اخص از پرتو نگاری برای بازرسی قطعات استفاده می شود. از پرتو نگاری می توان در بازرسی مجموعه ها برای بررسی وضعیت و قرار گیری درست قطعات نیز استفاده کرد. یکی از مواردی که به پرتونگاری بسیار خوب جواب می دهد، بازرسی مجموعه قطعات الکتریکی و الکترونیکی برای آشکار سازی ترکها ، سیم های شکسته ، قطعات نابجا یا حذف شده و اتصالات لحیم نشده است. مواد غیر فلزی و فلزی آهنی و غیر آهنی با محدوده ضخامتی نسبتاً گسترده را می توان پرتونگاری نمود. برای هر نوع پلی اتیلن دانسیته بالا شدت پرتو مورد نیاز در محدوده ی kV ۱۰-۱۶ متفاوت است.

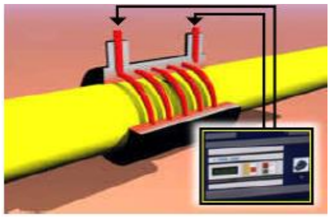
۱-۸ جوشکاری پلی اتیلن به روش الکتروفیوژن:

جوش الکتروفیوژن نوعی روش جوشکاری لوله و اتصالات پلی اتیلن است که در آن از اتصالات خاصی به نام کوپلر که دارای سیم مقاومت الکتریکی است برای ایجاد گرمای ذوب سطوح جوش استفاده می شود(شکل ۱-۱۵).



شکل ۱-۱۵: شماتیک سطح داخلی لوله که با سیمهای مقاومتی پوشانده شده است.

فرآیند الکتروفیوژن اندکی با روش جوشکاری ذوبی حرارتی، متفاوت است.تفاوت اصلی در شیوه گرم کردن محل اتصال است. در روش جوشکاری ذوبی حرارتی، از ابزارهای حرارتی برای گرم کردن سطح لوله و اتصالات استفاده می شود ولی در جوش الکتروفیوژن حرارت به شکل داخلی و از طریق جریان الکتریکی ایجاد می گردد. استحکام جوش ایجاد شده به روش الکتروفیوژن، بیشتر از جوش ذوبی سر به سر است. کوپلینگ الکتروفیوژن، از اتصالات رایج برای متصل نمودن دو لوله پلی اتیلن به یکدیگر به شمار می رود. شکل ۱-۱۶ نحوه ی حرارت دهی از طریق کویل های حرارتی به محل اتصال لوله ها را نشان می دهد.



شکل ۱-۱۶: کویل های حرارتی و تامین حرارت برای ذوب لوله ی پلی اتیلن.

جریان الکتریکی از طریق دستگاه جوشکاری الکتروفیوژن(شکل ۱۷-۱) و به کمک جعبه کنترل آن به دو انتهای اتصال منتقل می شود.

GEORG FISCHER

شکل ۱۷-۱: دستگاه جوشکاری الکتروفیوژن.

جهت دستیابی به یک جوش خوب توجه به نکات زیر الزامیست:

- سطوح جوشکاری باید کاملا تمیز باشد.
- وسایل و ابزار مورد استفاده برای عملیات جوشکاری بایستی آزمایش شده و آماده ی کار باشد.
- روش و مراحل انجام جوشکاری شبکه و انشعابات پلی اتیلن به روش الکتروفیوژن به ترتیب زیر اجرا شود:
  - کنترل ماشین جوش (از جهت آماده به کار بودن و کالیبراسیون سالیانه)، تجهیزات، ابزار، لوله و اتصالات از نظر تطابق با مشخصات فنی و آماده بودن.
  - کنترل عمود بودن سر لوله و اصلاح در صورت لزوم
  - حذف کامل لایه اکسید از سطوح جوشکاری بوسیله ی تراشنده استاندارد.

نکته۱: تراشیدن ناقص و یا بکار بردن هرگونه تراشنده غیر استاندارد از قبیل تیغ موکت بری، شیشه، سمباده کاغذی، برس برقی، سوهان، کاردک و ... ممنوع است.

نکته۲: کاربرد تراشنده ی چرخشی موکدا نسبت به تراشنده ی دستی حتی در جوشکاری سه راهی انشعاب برتری دارد.

- پاک کردن هر گونه چربی و آلودگی از سطوح جوشکاری (سطح خارجی لوله و سطح داخلی اتصال و سطح خارجی اتصال فاقد سیم) بوسیله ی پارچه نخی سفید رنگ بدون پرز و آغشته به مایع تمیز کننده مجاز.
- علامت گذاری میزان فرو رفتن اجزاء جوش
- قرار دادن اجزاء جوش در یکدیگر و در گیره
- کنترل عدم جابجایی اجزاء جوش
- انجام عملیات جوشکاری بر اساس دستور العمل سازنده ی دستگاه و اتصال الکتروفیوژن
- مشاهده ی بالا زدن نشانگر جوش
- زمان سرد شدن[۲۸] جوش به شرح زیر رعایت شود:

۱. رعایت زمان سرد شدن اول بر اساس زمان درج شده روی اتصال که در این مدت به هیچ عنوان نباید گیره ها باز شود.

۲. رعایت زمان سرد شدن دوم به میزان بیست دقیقه بعد از زمان سرد شدن اول خواهد بود که بعد از انقضای این مدت میتوان لوله را جابجا و دفن کرد.

۳. رعایت زمان سرد شدن سوم به میزان دو ساعت در صورتیکه قرار باشد محل جوش تحت آزمون مقاومت و نشتی با فشار ۱۰۰ پوند بر اینچ مربع قرار گیرد.

---

[28] Cooling time

۱-۸-۱ انواع فرایندهای ابداع شده برای ایجاد اتصالات الکتروفیوژنی لوله های پلی اتیلن:

۱. کوپلر[29] الکتروفیوژنی از یک ماده ی هادی الکتریسیته و رزین PE قابل احیاء با حرارت[30] بوده و ذرات هادی در رزین باعث برقراری جریان از بدنه کوپلر می شود و در نتیجه دمای آن افزایش یافته و رزین پلاستیکی قابل احیا با حرارت جریان یافته و اتصال را می سازد. اینگونه کوپلرها اوایل دهه ی ۱۹۸۰ استفاده می شد و امروز در بازار جایی ندارد.

۲. طراحی دوم به صورت سیستمهای فلزی محصور شده در اتصالات میباشد. با تغییر میدان مغناطیسی عمل کننده، جریان القایی بوجود می‌آید. جریان تولید شده موجب ایجاد گرما شده و بر اتصال تأثیر می گذارد. این فرآیند مربوط به اواخر سالهای دهه ۱۹۷۰ و اوایل ۱۹۸۰ بوده اما جنبه تجاری پیدا نکرد. در اوایل سالهای ۱۹۹۰ تولید محدودی از آنها انجام شد ولی با این تفاوت که سیم ها از فلزات خاصی بودند و امکان کنترل دمای مذاب را فراهم می کرد.

۳. طراحی سوم (قدیمی ترین طراحی) ، قراردادن سیم های مقاومت به عنوان منبع ایجاد حرارت بوده و این فرآیند در ۹۹/۹۹٪ تمام اتصالات الکتروفیوژنی بکار می رود.

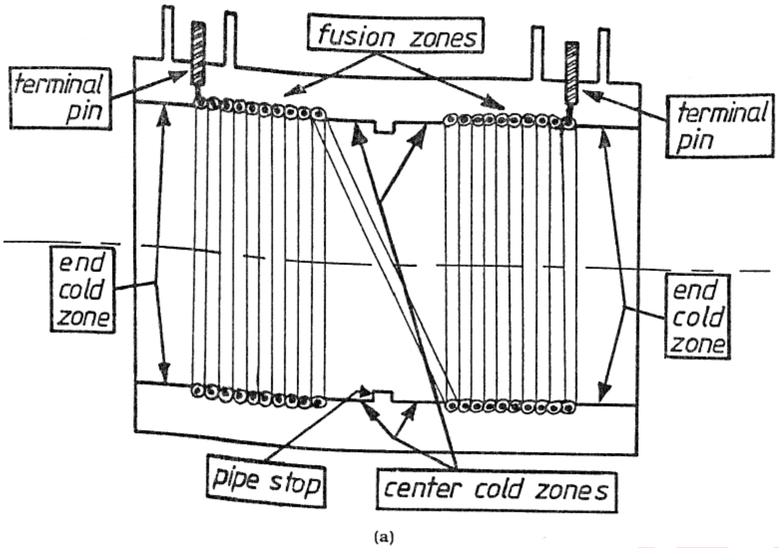
۲-۸-۱ طراحی اتصالات الکتروفیوژن:

شکل ۱۸-۱ یک کوپلر الکتروفیوژنی با دو ناحیه ذوب با سیم های الکتریکی متصل بهم را نشان می دهد. زانوهای الکتروفیوژنی، اتصالات T و مبدل ها نیز دارای طراحی مشابه می باشند.

---

[29] coupler

[30] Heat recoverable PE resin



شکل ۱۸-۱: نمایی از کوپلر الکتروفیوژن با دو منطقه ذوب که با سیمهای الکتریکی بهم متصل هستند.

در هر دو طرف نواحی ذوب، مناطق سرد قرار دارد که از جریان یافتن مذاب از منطقه ذوب به خارج ممانعت نموده و بنابراین در تنظیم فشار مذاب پلیمر موثر هستند. کنترل پارامتر فشار لازمه ی بدست آوردن یک اتصال خوب و محکم است.

در اتصالات الکتروفیوژنی سوکتی، لوله ها بایستی به درستی قرار داده شوند تا مناطق سرد را بپوشانند در غیر اینصورت مواد مذاب از منطقه ذوب خارج شده و به طرف مرکز اتصال اکسترود می شود.

۱-۸-۳ منبع تغذیه در اتصالات الکتروفیوژنی:

در فرآیند جوش الکتروفیوژن ، گرمای لازم برای اتصال توسط عبور جریان سینوسی از یک سیم پیچ مقاوم در برابر جریان تامین می شود. به منظور کنترل کل انرژی ورودی به اتصال، مرسوم است که جریان در یک زمان ثابت اعمال می شود اما طرق دیگری نیز برای کنترل و تنظیم کل انرژی ورودی وجود دارد. ایجاد یک اتصال خوب و با کیفیت الکتروفیوژن مستلزم اعمال یک توان ثابت ورودی است که غالبا بوسیله جعبه های کنترل گر محقق می شود.

جعبه های کنترل الکتروفیوژن خود منشأ تولید جریان نیستند ولی توان را از یک منبع گرفته و آنرا برای اتصالات الکتروفیوژن تنظیم می کنند. منبع تغذیه برای یک جعبه کنترلی الکتروفیوژن معمولاً یک ژنراتور است. ژنراتور باید دارای کیفیت بالا با خروجی پایدار باشد.

تغییرات در خروجی ژنراتور می تواند باعث ایجاد اشکالاتی در منبع تغذیه جعبه های کنترلی شود و لذا داشتن یک ژنراتور با کیفیت خوب لازمه داشتن جوش الکتروفیوژن با کیفیت مناسب است.

۱-۸-۴ آزمونهای مخرب جهت کنترل کیفیت جوش الکتروفیوژن:

۱-۸-۴-۱ آزمون فشار:[31]

این آزمون باید حداقل یک ساعت بعد از جوشکاری یعنی زمانیکه لوله ها کاملا خنک شده باشند، اجرا شود. این آزمون مطابق استاندارد DIN 4279/1 انجام می شود. با اعمال فشار داخلی بر لوله جوش خورده، مطابق با استاندارد یاد شده در صورتیکه بعد از گذشت ۱۰ دقیقه کاهش در مقدار فشار مشاهده نشود آزمون با موفقیت انجام شده است.

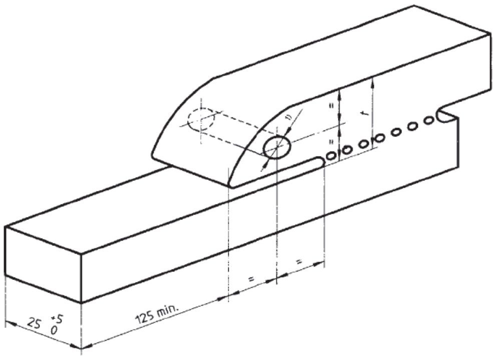
۱-۸-۴-۲ آزمایش لایه برداری:[32]

این آزمایش مطابق با استاندارد بین المللی ISO 13954 جهت ارزیابی ناحیه ی جوش مورد استفاده قرار می گیرد. شکل ۱۹-۱ ابعاد و هندسه ی نمونه های مورد آزمایش مطابق با استاندارد را نشان می دهد. نمونه های انتخاب شده باید طوری باشد که در آنها بیشترین و کمترین فاصله بین کوپلر و لوله مشخص باشد.

---

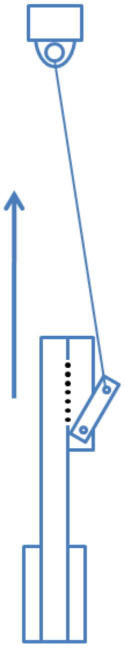
[31] Pressure Test

[32] Peel decohesion test



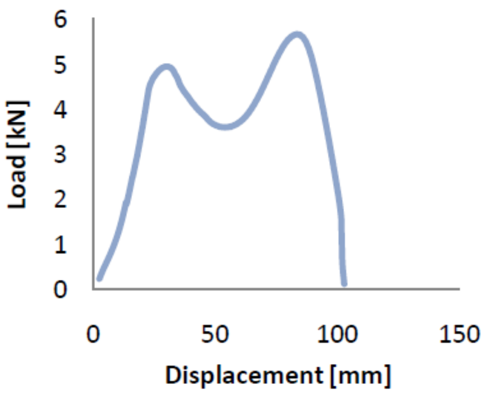
شکل ۱۹-۱: هندسه و ابعاد نمونه ی آزمایش لایه برداری.

مطابق شکل ۲۰-۱ نمونه روی دستگاه بسته می شود و لایه برداری از ناحیه ی جوش با سرعت ۲۵ mm/min انجام می شود. در حین آزمایش نیرو بر حسب جابجایی اندازه گیری می گردد (شکل ۲۱-۱).



شکل ۲۰-۱: وضعیت بستن نمونه آزمایش.

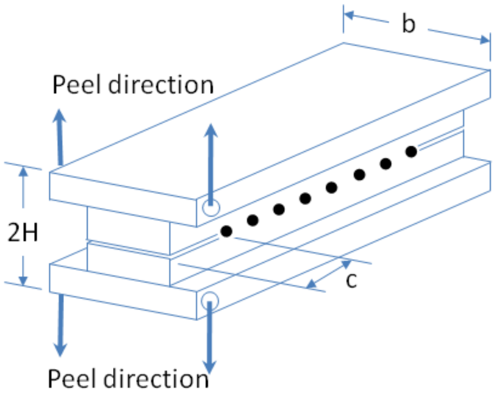
MSRPCO group



شکل ۲۱-۱: منحنی نیرو بر حسب جابجایی.

۱-۸-۴-۳ آزمایش لایه برداری دوگانه:[۳۳]

به علت وقوع شکست نرم در بسیاری از آزمایشات لایه برداری بین کوپلر و لوله، آزمایش مشابهی بصورت زیر تعریف شده است. این آزمایش مطابق استاندارد بین المللی EN 12814-4 انجام می شود. در این روش نمونه ی استاندارد مشابه روش لایه برداری مطابق با استاندارد ISO 13954 و با ابعاد متفاوت (شکل ۲۲-۱) آماده می شود.



شکل ۲۲-۱: نمونه ی استاندارد آزمایش لایه برداری دوگانه.

---

[3] Double peel decohesion test [3]

سپس نمونه در دستگاه آزمایش کشش نصب میشود. پس از اتمام آزمایش و وقوع شکست نمونه، میزان تافنس محل جوش مطابق معادله ی زیر ارزیابی میشود:

$$K = \frac{Fw.c}{0.5\,b\,\sqrt[2]{H^3}}\left(3.4 + 2.38\,\frac{H}{c}\right)$$

که در آن F_w بیشترین نیروی وارد شده در حین آزمایش و c فاصله از مرکز بارگذاری تا ناحیه ی جوش و b و H در شکل ۲۲-۱ نشان داده شده است.

۱-۸-۴-۴ کنترل کیفیت جوشکاری الکتروفیوژن با روش آزمون خمکاری نوار جوش:[34]

هدف از انجام این تست، ارزیابی میزان امتزاج قطعات جوش داده شده (الکتروفیوژن) می باشد. این هدف از طریق آزمایش و بررسی فصل مشترک جوش (در قطعه نواری شکل) صورت می پذیرد. بدین ترتیب که با وسیله مناسب دستی، دوبخش جوش داده شده در قطعه نواری شکل تحت خمکاری قرار می گیرد. آزمایش در دمای ۲۳ درجه سانتی گراد انجام می شود . میزان امتزاج در جوش بسته به نوع جدایش[35] و با در نظر گرفتن درصد محلی که دچار عدم امتزاج بوده، مشخص می گردد.

تجهیزات مورد نیاز:

- گیره رومیزی با فک های آج دار (عرض فک ها در حد طول منطقه جوش).
- اره با دندانه های ظریف و تیغه پهن یا اره نجاری.
- انبردست کوچک (آچار لوله گیر قابل جایگزینی نیست).
- ذره بینی که ۳ تا ۴ برابر بزرگنمایی داشته باشد.

---

[34] Strip Bend Test

[35] Failure mode

مزایای آزمایش خمکاری نوار جوش:

- مستقل از سایز و شکل اتصال بوده و در واقع قابلیت استفاده عمومی دارد.

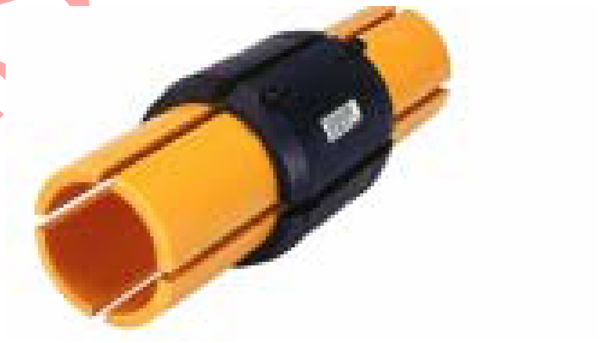
- قابل اجرا در آزمایشگاه می باشد.

- سطح بالایی از اهمیت و هدف یابی را در کنار سهولت نسبی ارائه می دهد.

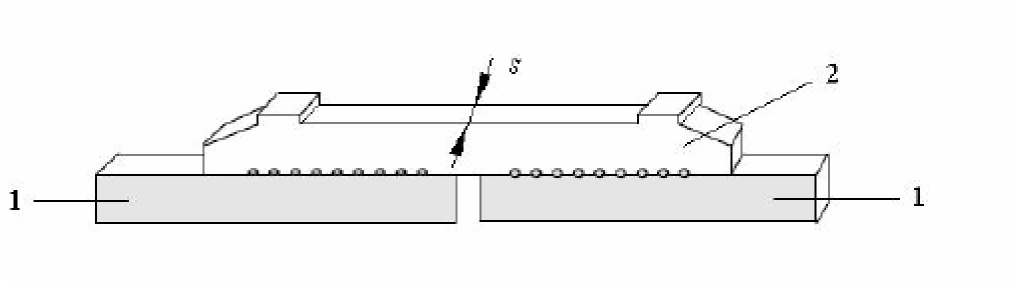
- بدلیل ارائه عینی مشکلات و معایب جوش می تواند در اقدامات پیشگیرانه مؤثر باشد.

آماده سازی نمونه ها از نظر شرایط هم دمایی، ابعاد و ... بایستی مطابق استاندارد مربوطه (ISO TC 138/SC) باشد.

در این روش بایستی حداقل ۴ نوار از نمونه آماده شده در جهت محور طولی و در موقعیتهای متقارن حول محیط لوله بریده شود(شکل ۲۳-۱). از هر قسمت بریده شده یک نوار به صورت شکلهای ۲۴-۱ و ۲۵-۱ تهیه می شود. عرض نوارها(s) برای لوله های با قطر اسمی کوچکتر و یا مساوی75mm بایستی در حد 2.5±0.5mm باشد . همچنین برای لوله های با سایز بزرگتر عرض نوارها (s) بایستی در حد 4±1mm باشد. طول نوارها بایستی برابر با طو ل کامل نمونه باشد.



شکل ۲۳-۱: چهار قسمت نمونه آزمایش خمکاری نوار جوش.



شکل ۲۴-۱: آماده سازی نوارها از جوش الکتروفیوژن. ۱:لوله، ۲:اتصال.

شکل ۲۵-۱: نوار بریده شده.

با کنترل چشمی هر برش[۳۶] میتوان به عیوبی از جمله موارد زیر پی برد.

- حفرات،[۳۷] شامل هوا به صورت حباب[۳۸]
- نفوذ مواد مذاب به فضای بین دو لوله
- ورود ناقص لوله در اتصال
- جابجایی در راستای لوله
- جوشکاری تحت تنش ناشی از قرار دادن نا مناسب اجزاء جوش کنار یکدیگر

---

[36] Segment

[37] Voids

[38] Air inclusion-bubbles

۱-۸-۴-۵ تجزیه و تحلیل جدایش نوارها:

در جدا کردن اجزاء نوار بایستی از انبردست استفاده شود. به جای این وسیله نمی توان از آچار لوله گیر استفاده نمود. با جابجا کردن انبردست در طول هر نیمه از منطقه ی جوش[39] خم کردن بخش مربوط به لوله، بایستی جدایش کامل شود .

جدایش بایستی به آهستگی و به نحوی صورت پذیرد که پلی اتیلن در منطقه جوش دچار حالت کش آمدن شود. چنانچه جدایش به سرعت انجام پذیرد، نتایج کاذب و غیر قابل اتکا بدست می آید.

نتایج آزمایش:

درصورتیکه جوشکاری به نحو صحیح صورت پذیرد، علائم و نشانه های زیر از تست حاصل می گردد:

- نیروی زیاد برای جدایش لازم است.
- جدایش به همراه چقرمگی و مقاومت صورت می گیرد. در سطح جدایش تغییر شکلهای برگشت ناپذیر[40] اتفاق می‌افتد و در واقع بدلیل کش آمدن قابل ملاحظه و گذر از تنش تسلیم،[41] رشته های کوتاه و بلند در بین دو سطح جدایش بوجود می‌آید.

۱-۸-۴-۶ سطوح جدایش جوش:

۱. سطح جدایش ترد:[42] در این نوع جدایش، جوش به راحتی از روی لوله کنده میشود. 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 میدهد. در این مورد تمام یا قسمت اعظمی از جوش با اعمال نیرو و با استفاده از

---

[39] Fusion zone
[40] Plastic
[41] Yield strenght
[42] Brittle Fracture

اهرم از روی سطح به صورت ترد جدا می شوند. در این حالت وقوع شکست ترد و مردودی جوش کاملا مشهود است.

۲. در نوع دیگری از جدایش ترد، باز شدن جوش کمی نرمتر صورت می گیرد. این در حالیستکه استحکام جوش به قدر کافی نبوده و اتصال به راحتی از روی لوله جدا می شود. بنابراین سطح جدایش کاملا صاف نبوده و اثرات محل سیمهای حرارتی بر روی سطوح جوش وجود دارد.

۳. سطح جدایش نرم[43]: 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 میباشد. در این نوع اتصال، سطح جدایش صاف نبوده و سطح آن به صورت قلوه[44]کنده شده در می‌آید. عموماً در اینگونه موارد اتصال از روی لوله کنده نمی شود و اگر حتی نیروی بیش از حدی توسط اهرم اعمال نماییم ممکن است جداره لوله دچار پارگی گردد ولی جوش باز نشود.

۱-۸-۵ آزمون های غیر مخرب به منظور بررسی کیفیت جوش به روش الکترو فیوژن:

آزمایشات غیر مخرب[45]به آزمونهایی اطلاق می شود که بدون آسیب رساندن به قطعه، اطلاعات مفیدی در ارتباط با ساختار و عیوب احتمالی در اختیار می‌گذارد. در آزمونهای غیر مخرب سه هدف عیب یابی، اندازه گیری بعضی خواص فیزیکی یا مکانیکی و شناسایی جنس قطعه پی گیری می شود.

در ادامه به توضیح و بررسی برخی از مهمترین این روشها در بازرسی غیر مخرب اتصالات پلی اتیلن به روش الکتروفیوژن پرداخته شده است.

---

[43] Ductile Fracture

[44] Mountain Area

[45] Non Destructive Test (NDT)

برای بازرسی غیر مخرب اتصالات پلی اتیلن باید از روش حجمی نظیر ما فوق صوت[46] یا رادیوگرافی استفاده نمود. علاوه بر آن ظرفیت آشکارسازی نقص های موجود در پلی اتیلن باید از یک محدوده دینامیکی خوب و همچنین از قدرت تفکیک مناسب برخوردار باشد.

در روش رادیوگرافی ممکن است المنت ها و حفره های بزرگ قابل تشخیص باشد اما امکان آشکارسازی سطح مشترک نیمه متصل، وجود لایه ها و نقص های کوچک وجود ندارد. روش رادیوگرافی برای بازرسی جوش پلی اتیلن اطلاعات کافی فراهم نمی کند. روش مافوق صوت در بررسی تست حجمی جوش پلی اتیلن گزینه ی مناسبی بوده و معایب و نارسایی های روش رادیوگرافی را ندارد، این درحالیست که این روش از محدوده ی دینامیکی خوبی نیز برای آشکارسازی المنت ها و وضعیت سطح مشترک جوش برخوردار است.

در آزمون مافوق صوت از سه شعاع متفاوت استفاده می شود. شعاع MHZ ۵ که قادر است قطرهای متفاوت از لوله های پلی اتیلن با دقت نفوذ قابل قبول را آزمایش کند. شعاعهای MHZ ۳/۵ و MHZ ۷/۵ به ترتیب برای نفوذ بالا و قدرت تفکیک بالا مناسبند.

شعاعهای مافوق صوت به سطح خارجی نمونه تابانده شده و تصاویر مقطع اتصال به صورت زمان حقیقی[47] گرفته می شود. در این تصاویر از اتصال الکتروفیوزن و ترتیب المنت های گرم کننده در سطح مشترک نمایان بوده و اطلاعات هندسی مانند ضخامت، محل و موقعیت المنت فضای خالی، منطقه ذوب و ناحیه سرد قابل اندازه گیری است. در تصویر همچنین نقص هایی چون حفره های خالی، ذوب ناقص و وضعیت نا منظم قرار گیری المنت ها قابل تشخیص است.

---

[46] Ultrasonic

[47] Real time

۱-۸-۵-۱ آزمایش مافوق صوت برای اتصال الکتروفیوژن:

امواج مافوق صوت در سطح مشترک ذوب به خوبی انتقال پیدا می کنند و زمانی که اتصال الکتروفیوژن خوب باشد در این صورت سطح مشترک نه انعکاس دارد و نه در تصاویر ظاهر می شود و انعکاس دیواره ی عقبی لوله[48] در تصاویر مافوق صوت دیده می شود. اگر در فرآیند جوشکاری در سطح مشترک یک پیوند ضعیف تشکیل شود قسمتی از انرژی موج مافوق صوت منعکس شده و بخشی از آن منتقل می شود و در این صورت هم سطح مشترک و هم دیواره ی پشت در تصویر مافوق صوت دیده می شود.

انواع نقصهای قابل تشخیص در آزمایش مافوق صوت برای اتصالات الکتروفیوژن:

در این روش که از امواج مافوق صوت برای بازرسی اتصالات الکتروفیوژن برای لوله های پلی اتیلن استفاده می شود، نقصهایی مانند حبابها،[49]ترکها،[50]ناپیوستگیها،[51]سطح مشترک جوش نامناسب[52]و جابجایی المنت ها و … قابل آشکار سازی است. در جدول ۴-۱ انواع نقص های قابل شناسایی و منشاء آنها مشاهده می شود. شکل ۲۶-۱ شماتیک ناحیه ی اتصال الکترو فیوژن و موقعیت عیوب در این ناحیه را نشان می دهد.

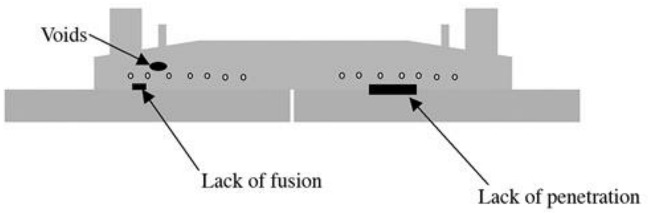
جدول ۴-۱: انواع نقصهای قابل تشخیص در آزمون مافوق صوت و منشاء آنها.

نوع نقص	توصیف نقص	علت نقص
جوش ناقص	بصورت یک خط در سطح مشترک جوش، لایه لایه در بالا و پایین خط جوش	• گرمادهی ناقص • محیط نا مناسب
حبابها	حبس شدن گاز یا هوا در داخل مواد و وجود حبابها در فرایند الکتروفیوژن ناشی از به دام افتادن هوا یا جمع شدگی در حین فرآیند سرد شدن پس از اعمال جوش است.	• پدیده ای نرمال است • خطای انسانی
ذرات خارجی	ذرات خارجی که ناخواسته وارد میشوند شامل آلودگی با گرد و غبار با ماسه، ذرات روغن و نظایر آن که در ضمن فرآیند جوش حادث می شود.	• آلوده بودن سطح داخلی کوپلر و سطح خارجی لوله

---

[48] Back Wall Echo (BWE)
[49] voids
[50] cracks
[51] discontinuities
[52] Bad fusion interface

وضعیت نا مناسب المنتها	بی‌نظمی المنت های گرم کننده	- گرمادهی بیش از حد - خطای انسانی
تعبیه نا مناسب	خطاهای ناشی از نصب و قرارگیری نا مناسب لوله نسبت به وضعیت کوپلر (عدم هم محوری)	- خطای انسانی - خطای ساخت
ترکها، لایه ها جداشدگی	این نقص ها میتواند در اثر استرس، ضربه و خستگی در حین سرویس دهی بروز کند.	- استرس ناشی از وزن - خاک، بار ترافیکی، ضربه و زمین لرزه - خستگی
نقص های هندسی	نقصهای هندسی نظیر ضخامت، طول منطقه ی ذوب، وضعیت المنتها و غیره	- خطای انسانی - فرآیند جوش نا مناسب - ضربه یا استرس - انبار داری



شکل ۲۶-۱: عیوب در منطقه ی انصال الکتروفیوژن. عیب عدم ذوب (LOF)[۵۳] ، عیب عدم نفوذ (LOP)[۵۴].

۲-۵-۸-۱ آزمایش مافوق صوت آرایه فازی:[۵۵]

تفاوت این روش با آزمایشات رایج مافوق صوت در نوع پروب آنها می باشد. در پروبهای متداول مافوق صوت از یک کریستال پیزوالکتریک به منظور ارسال و دریافت امواج استفاده می شود این درحالیستکه پروب آرایه فازی از شبکه ای از المانهای پیزوالکتریک با ساختار کامپوزیتی (پیزوکامپوزیت) که به صورت مستقل و با فازهای متفاوت رفتار می کنند، تشکیل می شوند. اگرچه در آزمونهای آرایه فازی ساختارهای متفاوت و متنوعی از این شبکه های پیزوالکتریک را می توان مورد استفاده قرار داد، با این وجود پروبهای آرایه فازی عمدتا از ساختارهای متشکل از ۸، ۱۶، ۳۲، ۶۴ و یا ۱۲۸ المان پیزوالکتریک (پیزوکامپوزیت) تشکیل می شوند. شبکه المانهای پیزوکامپوزیت بر

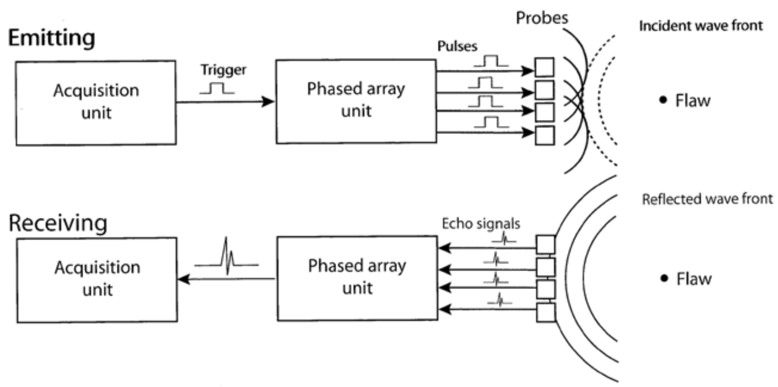
---

[53] Lack of fusion

[54] Lack of penetration

[55] Phased array ultrasonic

خلاف دستگاههای مافوق صوت که مستقیما به یک دستگاه فرستنده گیرنده[56] متصل می شود، توسط یک واسط[57] به پردازشگر اصلی دستگاه[58] متصل شده و عملکرد هر یک از المانها و فاز تحریک آن نسبت به سایر المانهای شبکه فازی توسط پردازشگر اصلی کنترل می شود(شکل ۲۷-۱).


Emitting
Acquisition unit
Trigger
Phased array unit
Pulses
Probes
Incident wave front
Flaw
Receiving
Acquisition unit
Phased array unit
Echo signals
Reflected wave front
Flaw

شکل ۲۷-۱: چگونگی تولید و دریافت پالس در یک دستگاه آرایه فازی.

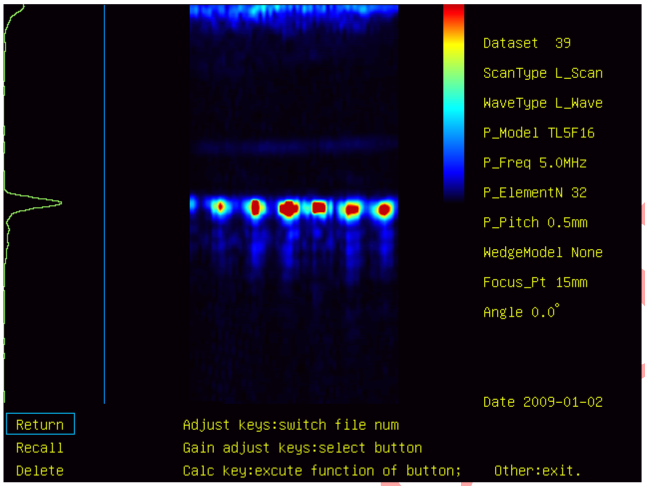
استفاده از یک پردازشگر در تولید و دریافت امواج مافوق صوت توسط یک پروب آرایه فازی امکان برنامه ریزی و کنترل شرایط تولید و دریافت موج را برای هر المان پروب بصورت جداگانه فراهم می کند، که این امر قابلیتهای ویژه و منحصر بفردی نظیر تولید امواج مافوق صوت با زوایای مختلف، روبش الکترونیکی، تمرکز عمقی و تمرکز عمقی دینامیکی را برای این پروبها بوجود می‌آورد.

لازم به ذکر است این روش در بازرسی اتصالات الکتروفیوژنی لوله های پلی اتیلن قادر به تشخیص عیوبی چون حفرات گازی؛[59] ترکها، عدم ذوب؛[60] وجود ناخالصی و ... می باشد. شکل ۲۸-۱ مربوط به یک اتصال الکتروفیوژن

---

[56] Pulser/Receiver
[57] interface
[58] processor
[59] gas hole
[60] Un-fusion

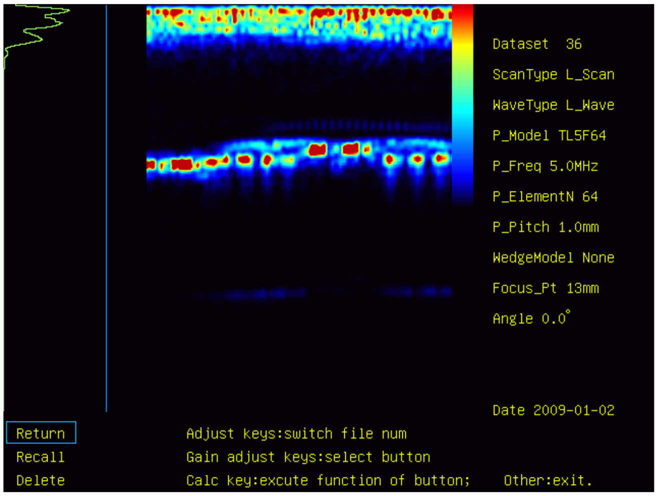
قابل قبول می باشد. همانطور که مشاهده می شود تصویر مافوق صوت به وضوح سیمهای حرارتی با نقاط رنگی که نشان دهنده ی میزان حرارت سیمها است را نشان می دهد.



```
Dataset  39
ScanType L_Scan
WaveType L_Wave
P_Model TL5F16
P_Freq 5.0MHz
P_ElementN 32
P_Pitch 0.5mm
WedgeModel None
Focus_Pt 15mm
Angle 0.0°

Date 2009-01-02

Adjust keys:switch file num
Gain adjust keys:select button
Calc key:excute function of button;    Other:exit.
```

شکل ۲۸-۱: بازرسی با روش مافوق صوت آرایه فازی از یک منطقه ی ذوب قابل قبول.

شکل ۲۹-۱ مربوط به جابجایی المان ها با اعمال حرارت بیش از حد توسط سیم های حرارتی را نشان می دهد و شکل ۳۰-۱ وجود حفرات گازی حین بازرسی مافوق صوت اتصال الکتروفیوژن را نشان می دهد. در شکل ۳۱-۱ می توان خط تبدیل فازی در اتصال الکتروفیوژن را مشاهده کرد.

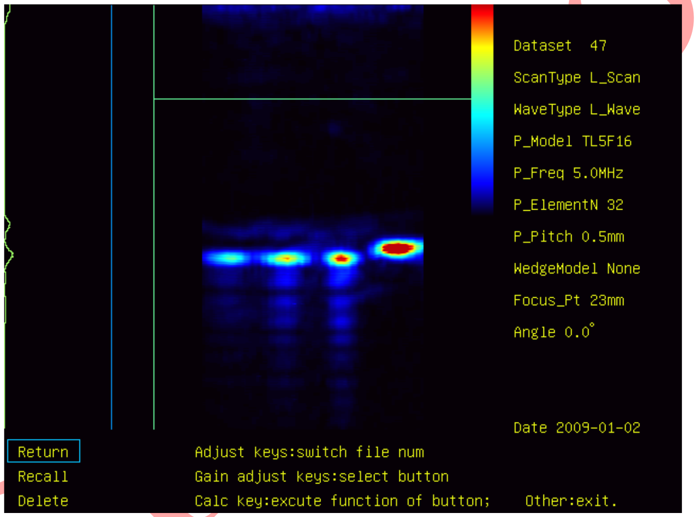


Dataset 36
ScanType L_Scan
WaveType L_Wave
P_Model TL5F64
P_Freq 5.0MHz
P_ElementN 64
P_Pitch 1.0mm
WedgeModel None
Focus_Pt 13mm
Angle 0.0°

Date 2009-01-02

Adjust keys:switch file num
Gain adjust keys:select button
Calc key:excute function of button;   Other:exit.

شکل ۲۹-۱: آزمون مافوق صوت و تشخیص جابجایی المانها در اثر اورفیوژن.

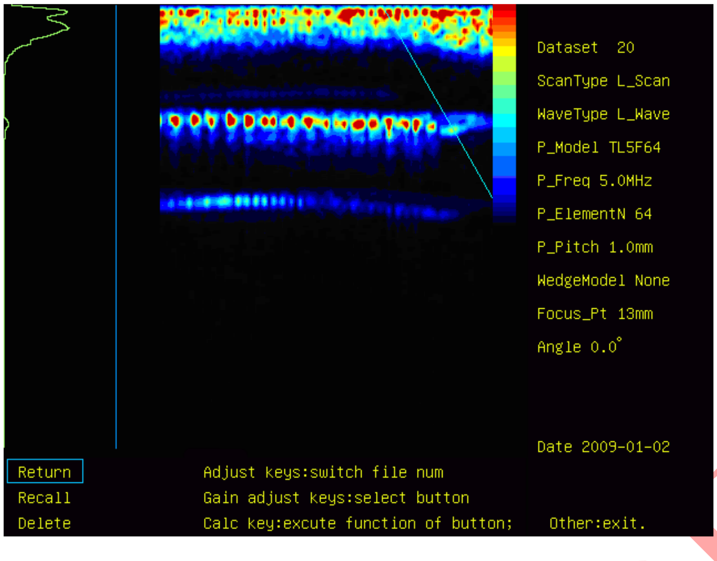


Dataset 47
ScanType L_Scan
WaveType L_Wave
P_Model TL5F16
P_Freq 5.0MHz
P_ElementN 32
P_Pitch 0.5mm
WedgeModel None
Focus_Pt 23mm
Angle 0.0°

Date 2009-01-02

Adjust keys:switch file num
Gain adjust keys:select button
Calc key:excute function of button;   Other:exit.

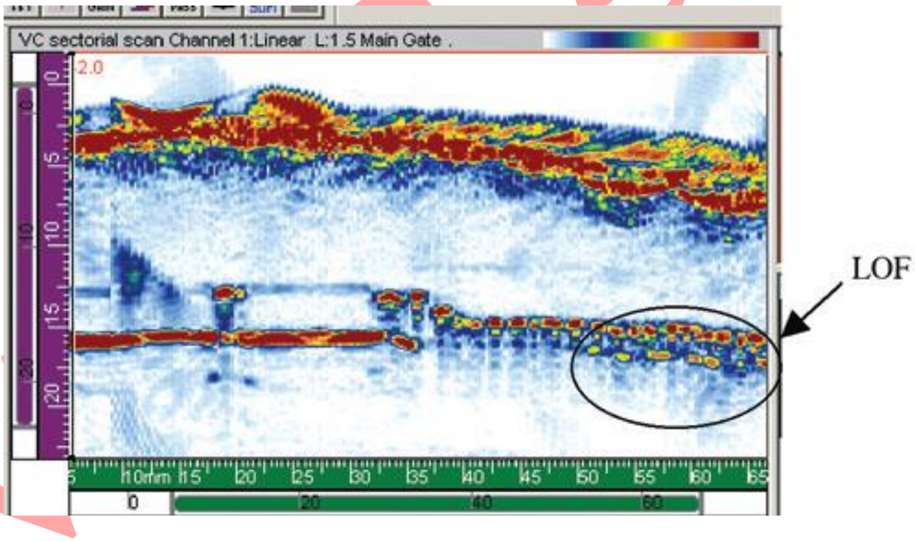
شکل ۳۰-۱: تشخیص حفرات گازی در بازرسی مافوق صوت آرایه فازی.


Return
Recall
Delete

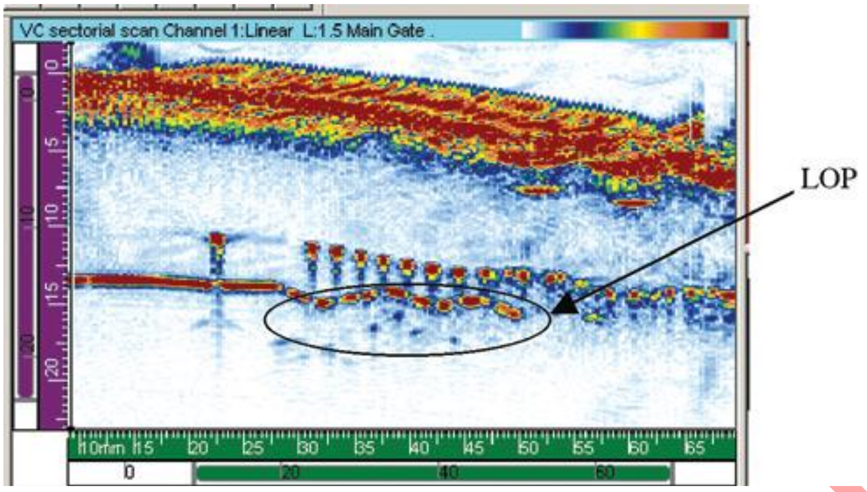
```
Dataset  20
ScanType L_Scan
WaveType L_Wave
P_Model TL5F64
P_Freq 5.0MHz
P_ElementN 64
P_Pitch 1.0mm
WedgeModel None
Focus_Pt 13mm
Angle 0.0°

Date 2009-01-02

Adjust keys:switch file num
Gain adjust keys:select button
Calc key:excute function of button;    Other:exit.
```

شکل ۳۱-۱: تشخیص خط تبدیل فاز در جش الکتروفیوژن در بازرسی مافوق صوت آرایه فازی.

شکلهای ۳۲-۱ و ۳۳-۱ به ترتیب نحوه ی تشخیص عیوب(LOF) و (LOP) با آزمون مافوق صوت آرایه فازی در منطقه ی اتصال الکتروفیوژن را نشان می دهد.


VC sectorial scan Channel 1:Linear L:1.5 Main Gate
2.0
10
15
10
15
20
10mm
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
0
20
40
60
LOF

شکل ۳۲-۱: تشخیص عیب (LOF) لوله توسط روش مافوق صوت آرایه فازی.


VC sectorial scan Channel 1:Linear L:1.5 Main Gate .
LOP
0
5
10
15
20
10mm 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65
0
20
40
60

شکل ۳۳-۱: تشخیص عیب (LOP) لوله توسط روش مافوق صوت آرایه فازی.