



شرکت دانش بنیان توسعه اندیشان اطلس (تهانا)

ساخت مخازن کامپوزیتی نوع ۴
بخش ۱: بهینه‌سازی و بررسی کیفی اتصال جوش
پلی اتیلن در مخازن LPG

تهیه کننده:

محمد صیادیان

تاریخ:

۱۴۰۲/۰۱/۱۹

فهرست مطلب

بخش اول: مقدمه ۱

۱-۱ - مقدمه..... ۱

۱-۲ - اصطلاحات و تعاریف..... ۲

۱-۳ - اهداف..... ۳

بخش دوم: روش تحقیق ۴

۲-۱ - مواد و تجهیزات..... ۴

۲-۲ - خلاصه فرآیند..... ۵

بخش سوم: تحلیل نتایج ۶

۳-۱ - تعیین دمای ذوب پلیمر..... ۶

۳-۲ - تعیین کیفیت جوش..... ۷

بخش چهارم: جمع بندی و پیشنهادات ۹

۴-۱ - نتیجه گیری..... ۹

۴-۲ - پیشنهادات..... ۱۰

منابع ۱۱

بخش اول: مقدمه

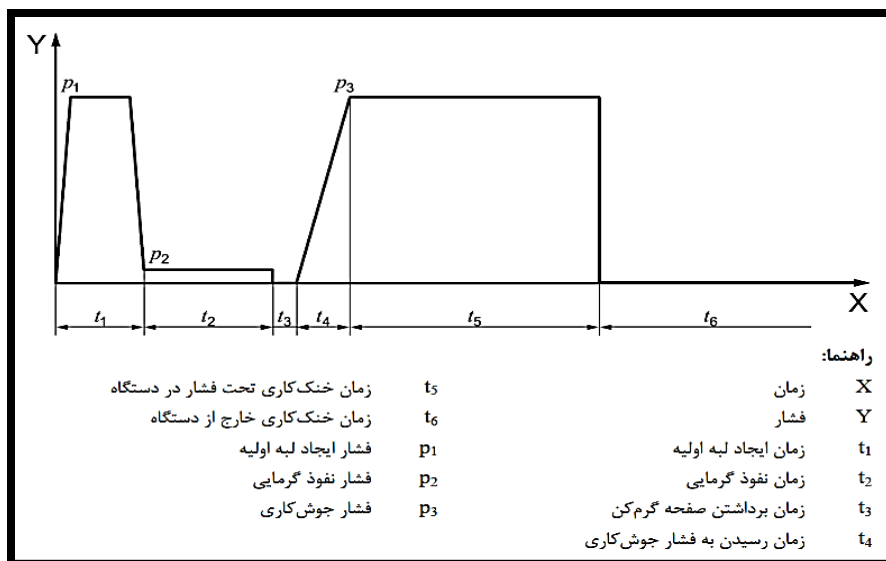
۱-۱- مقدمه

بمنظور اتصال پلیمرهای ترموپلاستیک به یکدیگر می‌توان از روش‌های گوناگونی مانند انواع چسب‌ها یا اتصالات مکانیکی استفاده نمود اما در صورت استفاده از مواد پلیمری در کاربردهای خاص مانند مخازن تحت فشار، بایستی جهت اطمینان از استحکام و آب‌بندی آن‌ها از اتصالات دائمی جوش کاری شده استفاده شود. به هر فرآیندی که برای اتصال دو ماده غیر فلزی با سطوح پرداخت شده به کار رود، جوش پلاستیک گفته می‌شود. از نظر میکروسکوپی جهت اتصال دو قطعه پلیمری باید پیوند مولکولی بین آن‌ها ایجاد شود [۱]. روش‌ها متنوعی برای جوش کاری ترموپلاستیک‌ها وجود داشته که عمده‌ی تفاوت این روش‌های مربوط به مرحله‌ی ایجاد گرما و نرم کردن پلیمر می‌باشد، همچنین انتخاب روش جوش کاری نیز به جنس قطعات و هندسه محل جوش بستگی دارد. در جوش ترموپلاستیک، قابلیت قطعات از نظر جنس برای جوش کاری مهم تر از تکنیک و دستگاه جوش می‌باشد (توانایی نفوذ و درهم فرورفتگی زنجیره‌های پلیمر). یکی از روش‌های رایج جوش کاری پلی‌الفین‌های^۱ مانند پلی-اتیلن، روش اتصال یا جوش لب به لب^۲ با استفاده از قالب یا صفحه گرم‌کن^۳ می‌باشد. اصول اتصال‌دهی جوش لب به لب شامل گرم کردن اتصال به وسیله قالب گرم‌کن تا دمای مشخص و سپس جوش دادن آن‌ها از طریق اعمال فشار و در پایان خنک کردن آن‌ها تحت فشار به مدت معین است. چرخه اتصال‌دهی جوش به روش لب به لب همراه با توضیح عوامل اصلی چرخه در شکل (۱-۱) ارائه شده است [۲].

^۱ . Polyolefins

^۲ . Butt fusion joining

^۳ . Hot plate



شکل (۱-۱) چرخه اتصال دهی جوشی به شیوه لب به لب [۲].

۲-۱ - اصطلاحات و تعاریف

لبه مذاب: بیرون زدگی پلیمر مذاب از اطراف قالب گرم کن به اندازه مشخص (۱ تا ۲ میلی متر).

دمای ذوب: دمای لازم جهت ذوب پلیمر در ناحیه اتصال به قالب گرم کن و تشکیل لبه مذاب.

زمان ذوب: زمان اتصال قطعه پلیمری به قالب گرم کن و تشکیل لبه مذاب.

فشار ذوب: فشار لازم از طرف قطعه پلیمری به قالب گرم کن جهت تشکیل لبه مذاب مناسب.

فشار جوش: فشار لازم جهت اتصال دو ناحیه مذاب به یکدیگر و برگرداندن لبه‌ها مذاب و تشکیل لبه دوتایی یکنواخت.

زمان جوش: زمان لازم جهت اتصال نواحی مذاب به یکدیگر با اعمال فشار جوش تا رسیدن دمای ناحیه اتصال به زیر دمای ذوب پلیمر.

زمان خنک کاری: زمان لازم جهت سرد سازی محل جوش و رسیدن دمای ناحیه اتصال به زیر دمای نرم‌شوندگی^۱ پلیمر.

۳-۱ - اهداف

هدف از این گزارش، تعیین اصول کلی روش اتصال‌دهی اجزای آستر^۲ پلی اتیلنی مخازن LPG نوع ۴ به شیوه جوش لب به لب و ارزیابی کیفی محل جوش در اتصالات پلیمری می‌باشد. همچنین در این گزارش مقایسه‌ای بین کیفیت جوش در دما و زمان ذوب پیشنهاد شده از سوی نمایندگان شرکت سازنده دستگاه جوش (دمای ذوب ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد با زمان ذوب ۱۱ ثانیه) با دما و زمان تعیین شده از طریق روش آزمایشگاهی (دمای ذوب ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با زمان ذوب ۳۰ ثانیه) انجام شده است.

^۱ . Softening temperature

^۲ . liner

بخش دوم: روش تحقیق

در این گزارش، ابتدا مواد و تجهیزات مورد استفاده در پژوهش که شامل تجهیزات فرآیند و آنالیزی است معرفی شده و سپس خلاصه‌ای از فرآیند جوش لب به لب ارائه گردیده است.

۱-۲- مواد و تجهیزات

جهت جلوگیری از ایجاد لبه‌های جوش غیریکنواخت که بدلیل رفتار متفاوت جریان مذاب دو سطح متصل شده رخ می‌دهد، جنس آستر پلیمری و قطعه رزوه (رزوه برنجی به همراه پلیمر) یکسان در نظر گرفته شده و در ساخت هر دو قطعه از پلی اتیلن با دانسیته بالا^۱ شرکت پتروشیمی کرمانشاه^۲ استفاده گردید. مشخصات ماده سازنده آستر پلیمری مخازن و قطعه رزوه در جدول (۱-۲) ارائه شده است.

جدول (۱-۲) مشخصات جنس آستر پلیمری مخازن و قطعه رزوه.

جنس	گرید	چگالی (g/cm ³)	شاخص جریان مذاب ^۳ در دمای °C ۱۹۰ (g/10min)	استحکام ضربه‌ای در دما ۲۳ °C (mJ/mm ²)
HDPE	BL3/HF4760	۰/۹۵۴	۱/۲	۹

اتصال قطعه رزوه مخازن به آستر پلیمری توسط دستگاه جوش پلی اتیلن مدل سروموتوری^۴ شرکت بهساز آروین ابزار انجام گردید. بمنظور مطالعه رفتار حرارتی پلیمر مصرفی در تولید مخازن و همچنین تعیین دمای ذوب آن از دستگاه گرماسنجی دقیق جزئی^۵ مدل S800 SPICE آزمایشگاه بنیاد علوم کاربردی رازی و براساس استاندارد

^۱ . High density polyethylene (HDPE)

^۲ . Kermanshah Petrochemical Industries Company (KPIC)

^۳ . Melt Flow Index (MFI)

^۴ . Servo motor

^۵ . Differential scanning calorimetry (DSC)

ASTM D3418 استفاده شد [۳]. آزمون DSC از دمای محیط تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد با نرخ حرارت‌دهی $(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}})$ ۲۰ و در اتمسفر نیتروژن انجام گرفت. جهت بررسی مقاومت برشی ناحیه جوش از آچار گشتاور تقه‌ای^۱ مدل EVT 3000A شرکت بریتول^۲ و براساس استاندارد ISO 6789 استفاده شد [۴].

۲-۲- خلاصه فرآیند

فرآیند جوش لب به لب به ترتیب شامل مراحل زیر می‌باشد:

- تمیزکاری سطوح قطعه رزوه، آستر و صفحه گرم‌کن با حلال استون یا اتانول.
 - قراردادن بخش رزوه و آستر در دستگاه و هم‌محور کردن آنها.
 - انجام ذوب اتصالات در دما، زمان و فشار تعیین شده و تشکیل لبه مذاب با اندازه مشخص (۲ میلی‌متر) بمنظور اطمینان از اتصال کامل سطح با صفحه گرم‌کن.
 - اتصال سطوح مذاب به یکدیگر در زمان و فشار تعیین شده جهت انجام جوش.
 - تکمیل مدت زمان خنک‌کاری در داخل دستگاه جوش جهت ایجاد استحکام و دستیابی به یکپارچگی محل اتصال (دمای فصل مشترک اتصال در انتهای فرآیند خنک‌کاری باید کمتر از دمای ذوب پلیمر گردد).
- جوش لب به لب قطعه رزوه به آستر پلیمری مخازن، در دو دمای ذوب ۲۵۰ و ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب با زمان ذوب (زمان اتصال سطح با صفحه گرم‌کن) ۳۰ و ۱۱ ثانیه انجام گردید. نامگذاری نمونه‌ها و مؤلفه‌های فرآیند جوش بصورت خلاصه در جدول (۲-۲) ارائه شده است.

جدول (۲-۲) مؤلفه‌های فرآیند جوش.

کد نمونه	دمای ذوب ($^{\circ}\text{C}$)	زمان ذوب (s)	فشار جوش (MPa)	زمان جوش (s)	زمان خنک‌کاری (s)
PE-W250	۲۵۰	*۳۰	-	۲۰	۵
PE-W300	۳۰۰	۱۱	-	۲۰	۵

* در دمای ذوب $^{\circ}\text{C}$ ۲۵۰، پس از گذشت ۱۵ ثانیه از زمان اتصال قطعات به صفحه گرم‌کن مقدار لبه مذاب مناسب تشکیل گردید.

^۱ . Click torque wrench

^۲ . Britool

بخش سوم: تحلیل نتایج

جهت بررسی خواص حرارتی پلی اتیلن مورد استفاده در تولید آستر مخازن نوع ۴ و همچنین بررسی کیفیت اتصال جوش در دماهای متفاوت ذوب، به ترتیب آزمون‌های تعیین دمای ذوب پلیمر و گشتاور انتخاب شده و نمونه‌سازی و انجام آزمون‌ها بر اساس استانداردهای مربوطه انجام گردید.

۳-۱- تعیین دمای ذوب پلیمر

دمای ذوب یک جسم دمای می‌باشد که ساختارهای بلوری^۱ از هم پاشیده شده و جسم از حالت جامد به مایع تبدیل می‌گردد. دمای ذوب صرفاً در پلیمرهای نیمه بلوری^۲ رخ داده و پلیمرهای صددرصد آمورف^۳ فاقد این دما می‌باشند. در پلیمرهای نیمه بلوری، ذوب در بخش‌های بلوری پلیمر رخ داده و نواحی آمورف آن بعد از عبور از دمای انتقال شیشه‌ای^۴ دچار حرکت سگمندی (حرکت همزمان ۵۰ واحد تکراری در زنجیره) شده و نرم می‌گردد [۵]. رفتار ترموپلاستیک‌ها در برابر گرما بسیار متفاوت بوده و معمولاً نقطه ذوب مشخصی ندارند و فرآیند ذوب آن‌ها در یک بازه دمایی متغیر صورت می‌گیرد. پلی اتیلن، پلیمری نیمه بلوری بوده و درصد بلورینگی آن به ساختار شیمیایی، متوسط جرم مولکولی، عملیات حرارتی و ... وابسته می‌باشد. در انواع مختلف پلی اتیلن درصد بلورینگی بین ۳۰ تا ۹۰ درصد متغیر بوده که نوع HDPE بدلیل ساختار خطی دارای بیشترین و نوع LDPE^۵ بدلیل شاخه‌های جانبی بر روی زنجیره اصلی دارای کمترین میزان بلورینگی می‌باشد. دمای ذوب یک پلیمر به درصد بلورینگی، جرم مولکولی و مورفولوژی بلورها وابسته است [۶]. جهت تعیین رفتار حرارتی و نقطه ذوب پلی اتیلن مورد استفاده در ساخت آستر پلیمری مخازن LPG آزمایش گرماسنجی دقیق جزئی بر روی نمونه پلیمری

¹ . Crystal structure

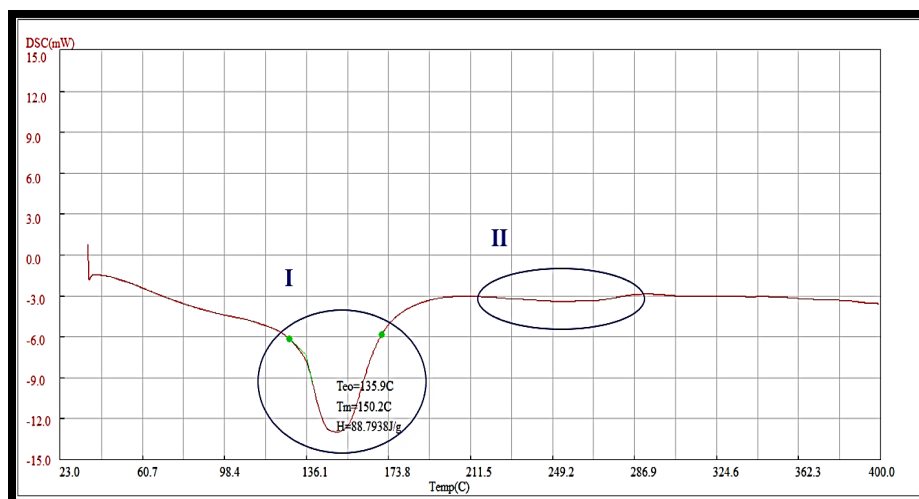
² . Semi-crystalline polymers

³ . Amorphous polymers

⁴ . Glass transition temperatures (T_g)

⁵ . Low density polyethylene (LDPE)

از این مخازن انجام گرفت که نتیجه آن در شکل (۱-۳) ارائه شده است. با بررسی منحنی DSC می‌توان دو پیک اصلی را مشاهده نمود. پیک اول گرماگیر بوده و در بازه دمایی ۱۳۵ تا ۱۷۲ درجه سانتی‌گراد (ناحیه I) قرار دارد و بیشترین شار حرارتی در این ناحیه تقریباً در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌گردد. پیک دوم منحنی گرماگیر بوده و در بازه دمایی ۲۲۰ تا ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد (ناحیه II) قرار دارد و بیشترین شار حرارتی در پیک دوم تقریباً در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد رخ داده است. تخریب حرارتی پلیمر نیز تقریباً از دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد شروع می‌گردد.

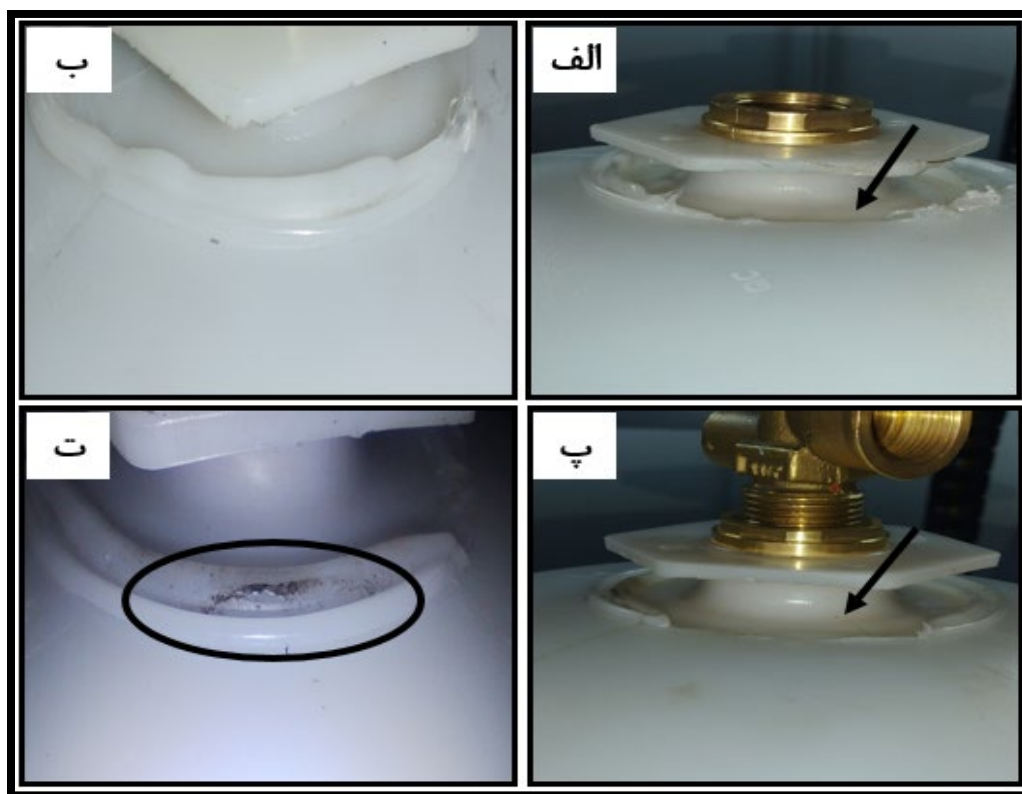


شکل (۱-۳) منحنی شار حرارتی HDPE با گرید BL3/HF4760.

۳-۲- تعیین کیفیت جوش

با بررسی ظاهری نواحی جوش کاری شده می‌توان دریافت که در هر دو نمونه میزان فرورفتگی قطعه رزوه در داخل آستر مخزن زیاد بوده که بدلیل فشار بیش از حد جوش رخ داده است (شکل ۳-۲- الف و پ). این فشار زیاد در هنگام اتصال دو قطعه احتمالاً موجب بیرون زدگی مذاب و ایجاد اتصال سرد در بین دو قطعه شده است. در هر دو نمونه برگردان دوتایی مناسب لبه‌ها بصورت یکنواخت رخ داده و عمق شیار بین دو لبه در بیشترین حالت خود، کمتر از ناحیه همسطحی قطعی رزوه با پوسته بیرونی آستر مخازن می‌باشد (شکل ۳-۲- ب و ت). از طرفی میزان

بیرون زدگی مذاب در هر دو نمونه اندکی غیر یکنواخت بوده که احتمالاً به دلیل ناهم محوری جزئی و رویاروی ناقص اتصالات می باشد. در این حالت می توان نتیجه گرفت که فشار بصورت یکنواخت در سرتاسر سطح اتصال توزیع نشده است اما این عدم توزیع فشار ناچیز بوده و اثرچندانی بر استحکام جوش نخواهد داشت. در نمونه PE-W300 اندکی تغییر رنگ و سوختگی در لبه ها و همچنین عمق شیار بین آن ها مشاهده گردید که احتمالاً بدلیل تخریب پلیمر در نواحی متصل به قالب گرم کن در هنگام فرآیند ذوب می باشد (شکل ۳-۲-ت).



شکل (۳-۲) وضعیت ظاهری اتصالات و لبه های جوش:

الف و ب) PE-W250؛ پ و ت) PE-W300

جهت بررسی استحکام بررشی ناحیه جوش، آزمون گشتاور بر روی نمونه ها انجام گرفت. ناحیه اتصال هر دو نمونه، گشتاور ۱۵۰ نیوتن در متر را بدون شکست و تغییر شکل تحمل نمودند. لازم بذکر می باشد که در نمونه های تجاری مخازن کامپوزیتی LPG حد مجاز گشتاور اعمالی به قطعه رزوه مخازن بین ۹۰ تا ۱۲۰ نیوتن در متر در نظر گرفته شده است [۷].

بخش چهارم: جمع‌بندی و پیشنهادات

۴-۱- نتیجه‌گیری

نتیجه‌گیری حاصل از آزمون DSC بر روی نمونه پلی‌اتیلن به شرح زیر می‌باشد:

- دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد بدلیل آنتالپی ذوب بالاتر به‌عنوان دمای ذوب توده پلیمر تعیین شد. این آنتالپی مربوط به ذوب نواحی بلورین پلیمر با مورفولوژی تقریباً یکسان می‌باشد.
- دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان دمای ذوب بخشی از توده پلیمر که جرم مولکولی بالاتر یا مورفولوژی بلورین متفاوت دارند، تعیین شد.
- بمنظور ذوب تمام ساختارها بلورین پلی‌اتیلن و همچنین جلوگیری از افت دما قالب گرم‌کن به زیر دمای ذوب پلیمر در هنگام اتصال، توصیه می‌گردد دمای صفحه گرم‌کن ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری حاصل از بررسی ظاهری و آزمون گشتاور بر روی ناحیه جوش به شرح زیر می‌باشد:

- پس از اتصال دهی باید لبه یکنواخت دوتایی با عمق شیار مجاز ایجاد شود. ابعاد هندسی لبه، نظم عملیات جوش را نشان می‌دهد.
- افزایش بیش از حد فشار جوش سبب می‌گردد در نواحی داخلی اتصالات، میزان ضخامت مذاب کاهش یافته و در نتیجه نفوذ و درهم‌فرورفتگی زنجیره‌های پلیمری (ممدوج شدن) در فصل مشترک رخ ندهد که در نهایت این پدیده موجب افت خواص مکانیکی جوش خواهد شد.

- دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد بدلیل نزدیکی به دمای شروع تخریب حرارتی (دمای °C ۳۵۰ بر اساس نتایج DSC) موجب تخریب و سوختگی پلیمر شده و برای قالب گرم‌کن توصیه نمی‌گردد.
- میزان اعمال گشتاور بر قطعه رزوه برای هر دو دمای ذوب ۲۵۰ و ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد برابر با ۱۵۰ نیوتن در متر بوده که از حد بهینه گشتاور اعمالی به نمونه‌های تجاری موجود در بازار بیشتر می‌باشد.

مؤلفه‌های ظاهری محل اتصال جوش جهت کنترل کیفیت جوش کاری عبارتند از:

- برگردان دوتایی مناسب (تقریباً یک اندازه) لبه‌ها بصورت یکنواخت
- اطمینان از اتصالات هم‌محور در ناحیه جوش و عدم رویارویی ناقص اتصالات.
- عدم وجود آلودگی، پلیسه و همچنین سوختگی در ناحیه اتصال.
- عدم عمق زیاد شیار بین دو لبه (عمق مجاز باید کمتر ناحیه همسطحی دو قطعه باشد)

۴-۲- پیشنهادات

جهت بهبود عملیات جوش و همچنین کنترل کیفیت اتصالات پلیمری می‌توان پیشنهادات زیر را اجرا نمود:

- کاهش زمان ذوب در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد از ۳۰ ثانیه به ۱۵ ثانیه.
- بهینه سازی فشار جوش بصورت تجربی یا استفاده از معادلات تعیین فشار جوش لوله‌ها پلی‌اتیلن و توسعه این معادلات بر اساس ابعاد هندسی سطوح ذوب شونده مورد نظر.
- ارتقا دستگاه جوش با اضافه نمودن تجهیزات کنترلی همانند فشار سنج و ...
- بررسی ظاهری ناحیه داخلی جوش کاری شده با انجام برش مقطعی ناحیه اتصال.
- انجام آزمون ترکیدن تحت فشار هیدرو استاتیک برروی آستر پلیمری (قبل از الیاف پیچی) بمنظور تعیین بیشینه فشار تحمل شده و همچنین بررسی نحوی شکست و ترکیدن مخزن.

- انجام آزمون فشار هیدرواستاتیک بر روی مخازن الیاف پیچی شده جهت بررسی نشتی سیال از ناحیه جوش.
- انجام آزمون چرخه‌ای بر روی مخازن الیاف پیچی شده در فشار کاری (آزمون خستگی).
- استفاده از روش‌های غیر مخرب جهت بررسی نواقص ساختاری در نواحی متصل شده به وسیله جوش کاری مانند روش فراصوت^۱.

مراجع

[1]- ISO 472, *Plastics - Vocabulary*, 2013.

[۲]- استاندارد ملی ایران ۱۸۶۴۸، پلاستیک‌ها - روش‌های اتصال‌دهی به شیوه جوش لب به لب برای استفاده در ساخت سامانه‌های آبرسانی و گازرسانی. سال ۱۳۹۳.

[3]- ASTM D3418, *Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry*, 2012.

[4]- ISO 6789, *Assembly tools for screws and nuts - Hand torque tools - Requirements and test methods for design conformance testing, quality conformance testing and recalibration procedure*, 2003.

[۵]- ناصر محمدی. (۱۳۹۸) شیمی فیزیک پلیمرها. مرکز انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[6]- A. v. Tobolsky, *properties and structure of polymers*, Wiley, New York, 1960.

[7]- www.bexpetro.com

^۱ . Ultrasonic method