فهرست مندرجات

مقدمه ۱

۱ پیشینه تحقیق ۲

۱-۱ ویژگی های پلی اتیلن ۲

۱-۲ تقسیم بندی فرآیندهای اتصال صفحات پلیمری ۴

۱-۲-۱ اتصالات مکانیکی ۴

۱-۲-۲ چسباننده ها ۵

۱-۲-۳ جوشکاری ۵

۱-۲-۳-۱ جوشکاری اولتراسونیک ۷

۱-۲-۳-۲ جوشکاری ارتعاشی ۹

۱-۲-۳-۳ جوشکاری گردشی ۱۱

۱-۲-۳-۳-۲ جوشکاری گردشی با محرکه قابل کنترل ۱۳

۱-۲-۳-۳-۳ جوشکاری گردشی نوسانی ۱۳

۱-۲-۳-۴ جوشکاری مادون قرمز و لیزر ۱۴

۱-۲-۳-۴-۱ جوشکاری مادون قرمز عبوری ۱۴

۱-۲-۳-۴-۲ جوشکاری کامل همزمان ۱۴

۱-۲-۳-۴-۳ گرم کردن سطحی ۱۵

۱-۲-۳-۴-۴ جوشکاری فرم ۱۵

۱-۲-۳-۴-۵ جوشکاری از طریق یک ماسک نقش دار ۱۵

۱-۲-۳-۵ جوشکاری با صفحات داغ ۱۶

۱-۲-۳-۶ جوشکاری با گاز داغ ۱۸

۱-۲-۴ جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ۱۹

۱-۲-۴-۱ ابزار جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ۲۱

۱-۲-۴-۲ مزایای و محدودیت های جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ۲۴

۱-۲-۴-۳ عیوب موجود در قطعه هنگام استفاده از جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی.. ۲۵

۱-۲-۴-۳-۱ مک ها. ..... ۲۶.

۱-۲-۴-۳- ۲ باقی مانده خط جوش ..... ۲۷.

۱-۲-۴-۳-۳ عیب ریشه ۲۸

۱-۲-۴-۴ مناطق ریز ساختاری ایجاد شده حین جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی..... ۲۹

۱-۲-۴-۵ اتصال پلاستیک ها بوسیله جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ۳۱

۱-۳ نتیجه گیری ۳۷

۲ مواد و روشها ۳۸

۲-۱ مواد اولیه ۳۸

۲-۱-۱ آماده سازی نمونه ها برای جوشکاری ۴۰

۲-۲ ابزار جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی حرارتی ۴۰

۲-۲-۱ پین ابزار ..... ۴۱.

۲-۲-۲ شولدر ابزار ۴۲

۲-۲-۳ سیستم حرارتی ابزار ۴۴
۲-۳ فیکسچر طراحی شده برای جوشکاری ۴۶
۲-۴ روش به کارگیری ابزار جوشکاری ۴۸
۲-۵ پارمترهای جوشکاری ۴۹
۲-۶ بررسی خواص مکانیکی جوش ۵۱
۲-۶-۱ بررسی استحکام جوش توسط آزمون کشش ۵۱
۲-۶-۱-۱ معرفی آزمون استاندارد کشش ۵۱
۲-۶-۱-۲ دستگاه آزمون کشش ۵۲
۲-۶-۱-۳ اندازه گیری مدول الاستیک ۵۲
۲-۶-۲ بررسی استحکام خمشی نمونه های جوش داده شده از طریق آزمون خمش ۵۳
۲-۶-۲-۱ معرفی تست های استاندارد خمش ۵۳
۲-۶-۲-۲ دستگاه آزمون استاندارد خمش ۵۳
۲-۷ بررسی کیفیت سطحی قطعات جوشکاری شده ۵۴
۲-۸ بررسی ریز ساختار منطقه جوش ۵۴
۲-۸-۱ آماده سازی و تهیه مقاطع میکروسکوپی ۵۴
۲-۸-۲ نوع میکروسکوپ مورد استفاده در این مطالعه ۵۵
۳ بحث و نتایج ۵۷
۳-۱ تاثیر پارامترهای جوشکاری بر خواص مکانیکی ۵۷
۳-۱-۱ تاثیر سرعت دورانی ابزار بر استحکام کششی و خمشی ۵۸

۳-۱-۲ تاثیر سرعت جوشکاری بر خواص مکانیکی ۶۱

۳-۱-۳ تاثیر دمای شولدر ابزار بر خواص مکانیکی جوش ۶۴

۳-۲ تاثیر پارامترهای جوشکاری بر ریز ساختار جوش ۶۷

۳-۳ نتیجه گیری ها ۷۱

۳-۴ پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۷۲

منابع ۷۳

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱ تصویر شماتیک از جوشکاری اولتراسونیک ۸

شکل ۱-۲ سطح مقطع جوش در جوشکاری اولتراسونیک ۹

شکل ۱-۳ تصویر شماتیک جوشکاری ارتعاشی ۱۰

شکل ۱-۴ قسمت های مختلف یک ماشین جوشکاری ارتعاشی ۱۱

شکل ۱-۵ تصویر شماتیک فرآیند جوشکاری گردشی ۱۲

شکل ۱-۶ دستگاه جوشکاری لیزر برای مخازن پلی اتیلنی ۱۶

شکل ۱-۷ تصویر شماتیک مراحل جوشکاری با صفحات داغ ۱۷

شکل ۱-۸ فرآیند جوشکاری سر به سر با گاز داغ ۱۸

شکل ۱-۹ تصویر شماتیک فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ۲۰

شکل ۱-۱۰ تصویر مراحل فرآیندی جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ۲۲

شکل ۱-۱۱ تصویر شماتیک مراحل جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ۲۳

شکل ۱-۱۲ تصویری از بوجود آمدن مک در قطعه جوش شده به روش اصطکاکی اغتشاشی . ۲۷

شکل ۱-۱۳ عیب باقی مانده خط جوش به صورت a) ماکروسکوپیک و b) بزرگنمایی شده ... ۲۸

شکل ۱-۱۴ a)عیب نفوذ ناکامل در ریشه b) شکست بوجود آمده در حین تست کشش ۲۹

شکل ۱-۱۵ مناطق ریز ساختاری ایجاد شده حین جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی فلزات ۳۰

شکل ۱-۱۶ تصویری از مقطع جوش و نواحی مختلف ریز ساختاری ۳۱

شکل ۱-۱۷ a) تصویر شماتیک قطعه جوش داده شده b) عکس گرفته شده از مقطع جوش . ۳۳

شکل ۱-۱۸ نمونه ای از صفحات پلی اتیلنی جوش داده شده ۳۴

شکل ۱-۱۹ نمونه ای از صفحات پلی اتیلنی جوش داده شده به روش اصطکاکی اغتشاشی ... ۳۶

شکل ۲-۱ نمودار تنش - کرنش بدست آمده از آزمون کشش برای پلی اتیلن با دانسیته بالا . ۳۹

شکل ۲-۲ نمودار بدست آمده از آزمون گرماسنجی پویشی تفاضلی برای پلی اتیلن ۳۹

شکل ۲-۳ تصویر ماشینکاری قطعات قبل از جوشکاری بوسیله دستگاه فرز ۴۰
شکل ۲-۴ تصویر پین ابزار ۴۲
شکل ۲-۵ نقشه پین ابزار ۴۲
شکل ۲-۶ تصویر شولدر طراحی شده برای ابزار جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ۴۳
شکل ۲-۷ نقشه شولدر ابزار ۴۴
شکل ۲-۸ بلبرینگ کف گرد برای جداسازی شولدر از پین ۴۴
شکل ۲-۹ ابزار طراحی شده در این مطالعه a) تصویر شماتیک b) عکس گرفته شده از ابزار.. ۴۵
شکل ۲-۱۰ تصویر فیکسچر طراحی شده برای جوشکاری اصطکاکی حرارتی ۴۸
شکل ۲-۱۱ تصویری از جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی حرارتی ۴۹
شکل ۲-۱۲ نمونه تست کشش که ابعاد آن طبق استاندارد تعیین شده اند ۵۱
شکل ۲-۱۳ دستگاه آزمون کشش ۵۲
شکل ۲-۱۴ دستگاه میکروتوم ۵۵
شکل ۲-۱۵ میکروسکوپ نوری پلاریزه ۵۶
شکل ۳-۱ تاثیر سرعت دورانی ابزار بر نمودار تنش-کرنش نمونه های جوش داده شده ۵۹
شکل ۳-۲ تاثیر سرعت دورانی ابزار بر مدول الاستیک نمونه ها ۶۰
شکل ۳-۳ تاثیر سرعت دورانی ابزار بر استحکام خمشی نمونه ها ۶۰
شکل ۳-۴ تاثیر سرعت جوشکاری بر نمودار تنش-کرنش قطعات جوش داده شده ۶۱
شکل ۳-۵ تاثیر سرعت پیشروی ابزار بر مدول الاستیک نمونه ها ۶۳
شکل ۳-۶ تاثیر سرعت پیشروی ابزار بر استحکام خمشی نمونه ها ۶۳
شکل ۳-۷ تاثیر درجه حرارت شولدر ابزار بر استحکام جوش ۶۴
شکل ۳-۸ تاثیر درجه حرارت شولدر ابزار بر مدول الاستیک نمونه ها ۶۵
شکل ۳-۹ تاثیر درجه حرارت شولدر ابزار بر استحکام خمشی ۶۵

شکل ۳-۱۰ تصویر تخریب مولکول های پلی اتیلن در دماهای مختلف ۶۶
شکل ۳-۱۱ تصویر نمونه های دچار شکست شده در آزمون کشش ۶۷
شکل ۳-۱۲ ریز ساختار جوش در دماهای مختلف شولدر ابزار ۶۸
شکل ۳-۱۳ ریز ساختار جوش در نمونه های مختلف ۶۹
شکل ۳-۱۴ تصویر عیب ریشه در نمونه های مختلف جوشکاری شده ۷۰

فهرست جدول ها

جدول ۲-۱ مشخصات فیزیکی و مکانیکی پلی اتیلن با دانسیته بالا.....۳۶

جدول ۲-۲ شرایط مختلف جوشکاری.....۴۸

جدول ۳-۱ نتایج بدست آمده از آزمون کشش و خمش نمونه های پلی اتیلنی جوش شده.....۵۵

مقدمه

امروزه صفحات پلی اتیلنی کاربرد گسترده ای در صنایع نفت و گاز، خودروسازی و هوا فضا پیدا کرده اند. سابقا در صنایع نفت و گاز به خصوص در بخش انتقال این مواد، از مواد فلزی استفاده می گردید. خوردگی مواد فلزی، عدم دسترسی به برخی از آلیاژها و قیمت بالای آنها از جمله دلایلی بود که این صنعت را به سوی استفاده از مواد جایگزین سوق داد. مواد پلیمری بهترین جایگزین بودند، چون علاوه بر مقاومت به خوردگی و در دسترس بودن، از نظر هزینه نیز بسیار مقرون به صرفه به حساب می آمدند. در صنایع خودرو سازی نیز هنگام استفاده از این مواد وزن وسیله نقلیه به طور قابل توجهی کاهش می یابد. کاهش وزن به تبع کاهش مصرف سوخت را در بر خواهد داشت در نتیجه باعث کاهش هزینه ها می شود. علاوه بر موارد ذکر شده ، انعطاف پذیری بالا، عمر مفید بالا و سازگاری با محیط زیست نیز از جمله دلایلی است که باعث شده این مواد به طور وسیعی در صنایع مورد استفاده قرار گیرند. با وجود مزایای که در مورد استفاده از مواد پلیمری بیان گردید، برخی محدودیت ها نیز وجود دارد که هنگام به کارگیری این مواد باعث ایجاد مشکلات اساسی می گردد. محدودیت اصلی در به کارگیری این مواد هنگام جوشکاری به وجود می آید. در جوشکاری مواد پلیمری مثل صفحات پلی اتیلنی به طور قابل توجهی از استحکام و مقاومت به کشش و مقاومت به ضربه و شکل پذیری این مواد کاسته می شود. روش های متفاوتی برای جوشکاری پلاستیک ها ارائه گردیده است ولی در تمام این روش ها برخی مشکلات وجود دارد که در این پژوهش اجمالا بحث خواهد گردید. بخش اول این پایان نامه به بررسی مشکلات و معایب روشهای موجود در جوشکاری صفحات پلاستیکی پرداخته است و کلیاتی از پیشینه تحقیق در اتصال صفحات پلی اتیلنی در این فصل ارائه گردیده است. فصل دوم به نام مواد و روش ها، کارهای عملی انجام شده در این مطالعه را شرح داده است، قسمت نتایج و بحث در فصل بعدی بیان شده و در قسمت آخر فصل سوم نیز نتیجه گیری از این پژوهش تجربی و پیشنهادات برای تحقیقات آتی ارائه شده است.

فصل اول

۱ پیشینه تحقیق

۱-۱ ویژگی های پلی اتیلن

پلی اتیلن یک پلیمر گرما نرم بوده و امروزه در سراسر جهان بیشترین تولید سالانه را دارد. برخی از دلایل مصرف زیاد پلی اتیلن قیمت کم (مخصوصا به دلیل دانسیته پایین)، و خواص فیزیکی منحصر به فرد آن می باشد. دمای شیشه ای پلی اتیلن زیر صفر بوده و حتی از دمای شیشه ای شدن رایج ترین لاستیکهای مصرفی هم کمتر است. ضمنا این ماده در دمای معمولی لاستیک نیست، دلیل این پدیده میزان تبلور بسیار بالای آن است که به طور طبیعی در پلی اتیلن های تجارتی نیز حفظ می شود. نواحی بلوری در این پلیمر ایجاد استحکام و سفتی می کند که یک پلیمر لاستیک مانند فاقد آن است. ویژگی بلوری این ماده مانع از این است که یک لاستیک باشد ولی این خاصیت نمی تواند آنقدر وسیع باشد که به این پلاستیک سفتی زیاد ببخشد. بدین خاطر پلی اتیلن یک پلاستیک مهندسی محسوب نمی گردد، با این وجود خواص با ارزش دیگری دارد که کاربرد وسیع آن را توجیه می کنند. اولا پلی اتیلن انعطاف پذیری بی نظیری داشته و نیازی به افزایش نرم کننده ندارد. این امر موجب کاربرد آن در ساخت بطریهای فشرده، فیلم ها، و ورق ها می گردد. ثانیا مقاومت خوبی در مقابل بازها، اسیدها، و نمکها (به استثنای مواد اکسید کننده قوی) نشان می دهد. علت نگه داری پاک کننده ها در ظروف پلی اتیلنی در مصارف خانگی نیز همین امر است. مزیت دیگر پلی اتیلن مقاومت خوب آن در مقابل آب و بخار آب می باشد که این امر می تواند توجیه مناسبی برای خواص الکتریکی این ماده و علت استفاده از آن در کابل های الکتریکی بیان نماید. نهایتا این که پلی اتیلن به راحتی فرآیند می شود و با اکثر روش های فرآیندی گرما نرم ها سازگاری دارد (آلفردو، ۲۰۰۷)[1]

[1] Alferdo, 2007

در انتخاب یک رزین پلی اتیلن، سه خاصیت مهم باید مد نظر باشد. اولین خاصیت مهم جرم مولکولی متوسط می باشد، هر چه جرم مولکولی متوسط بالاتر باشد مقاومت در برابر تنش بیشتر شده و استحکام ضربه ای افزایش می یابد. از طرف دیگر بالا بودن آن فرآیندپذیری را مشکل می کند. دومین خاصیت مهم توزیع جرم مولکولی است. برای داشتن خواص خوب در دماهای پایین و استحکام ضربه ای بالا، باید منحنی توزیع جرم مولکولی نسبتا باریک شده باشد. با این وجود برای سهولت در اکستروژن و قالب گیری، توزیع جرم مولکولی پهن مطلوب است. سومین خاصیت مهم، دانسیته پلیمر است، زیرا این خاصیت به درصد بلوری و درجه تراکمی مولکولها مربوط می شود. در صورت انجام فرآیندهای پلیمریزاسیون مناسب، بالاتر بودن دانسیته دلالت بر شاخه ای شدن کمتر زنجیرهای مولکولی دارد (زنجیرها بیشتر خطی هستند). لذا پلی اتیلنهای سنگین تر، سفتی و سختی بیشتری دارند. دانسیته پلی اتیلن بر حسب شرایط پلیمریزاسیون در ساخت رزین تعیین می گردد. فرآیند فشار بالا، پلی اتیلن با دانسیته کم[1] تولید می کند ، در حالی که فرایند فشار کم، باعث تولید پلی اتیلن با دانسیته بالا[2] می گردد. پلی اتیلن با دانسیته بالا به خاطر داشتن زنجیرهای مولکولی خیلی نزدیک و فشرده و در نتیجه درصد تبلور بالاتر (معمولا۷۰ تا ۹۵ درصد) و دانسیته بالاتر (معمولا بین ۰,۹۴۱ تا ۰,۹۶۵) با پلی اتیلن با دانسیته پایین تفاوت دارد. این ماده انعطاف پذیری کمتر و نقطه ذوب بالاتری نسبت به پلی اتیلن با دانسیته پایین دارد. با این وجود انعطاف پذیری و مقاومت به ضربه پلی اتیلن با دانسیته بالا، کمتر از پلی اتیلن با دانسیته پایین است، ولی مقاومت آن در مقابل مواد اکسید کننده و مواد شیمیایی، همانند مقاومت آن در مقابل تنش های شکننده محیطی بهتر از پلی اتیلن با دانسیته پایین است. لذا این ماده در انواع محصولات تجارتی مثل ظروف نگهدارنده سوخت، صندلی های مورد استفاده در فضای باز، اسباب بازی ها، لوله ها، مخازن و مجراها به کار می رود (پیکوک، ۲۰۰۰)[3]

[1] Low Density Polyethylene (LDPE)
[2] High Density Polyethylene (HDPE)
[3] Peacock, 2000

۱-۲ تقسیم بندی فرآیندهای اتصال صفحات پلیمری

اتصال دادن یا مونتاژ قطعات پلاستیکی یا کامپوزیت های پلیمری، یک روش پر مصرف در تولید محصولات پلاستیکی است. روش های اتصال دادن پلاستیک ها را می توان در سه گروه اصلی دسته بندی نمود: اتصالات مکانیکی[۱]، چسباندن[۲] و جوشکاری[۳]. روش جوشکاری در اتصال دادن قطعات پلاستیکی بزرگ (نظیر مخازن و لوله های پلاستیکی) یا قطعات پلاستیکی کوچک (نظیر قطعات به کار رفته در فندک ها، سوییچ های الکتریکی و دوربین ها) به کار می رود. از این روش برای اتصال قطعات ساده و پیچیده در صنایع مختلف از جمله خودروسازی، هوافضا، اسباب بازی سازی، پزشکی، الکترونیک و صنایع زیر بنایی استفاده می شود (گراول و همکاران، ۲۰۰۳)[۴].

در یک تقسیم بندی دیگر می توان روش های اتصال پلیمر ها را به دو گروه اصلی تقسیم بندی نمود که عبارت اند از: اتصالات مکانیکی مثل پرچ، پیچ، قلاب و ... و اتصالات شیمیایی که به دو گروه اصلی چسباندن و جوشکاری تقسیم می شوند. البته این ها نیز به نوبه خود به زیر مجموعه های مختلفی دسته بندی می گردند که از جمله می توان به چسب ها، حلال ها، روش جوشکاری اصطکاکی، حرارتی، ارتعاشی و اولتراسونیک اشاره نمود. در ادامه فصل به توضیح اجمالی از روش ها و بیان محدودیت ها و مزایای آنها پرداخته می شود (استراند، ۲۰۰۳)[۵].

۱-۲-۱ اتصالات مکانیکی

در این روش برای اتصال دو قطعه پلاستیکی به یکدیگر از اجزای مکانیکی که شامل جفت کن ها، اتصالات فلنجی، بست ها، پیچ و پرچ می باشند، استفاده می شود. انتخاب مناسب اتصال، نقش به سزایی در عملکرد بهینه ی سیستم کاری دارد. البته داده های مفیدی در خصوص انواع اتصالات، در استانداردها و مشخصات فنی ذکر شده است. محدودیت اتصالات مکانیکی این است که نیازمند قطعات

[1] Mechanical Joining
[2] Adhesive Bonding
[3] Welding
[4] Grewell, et al., 2003
[5] Strand, 2003

خارجی و اغلب زحمت زیاد هستند. به علاوه در محل اتصال این قطعات خارجی همواره تمرکز تنش خواهیم داشت. به دلیل این که عملکرد اتصالات مکانیکی خیلی پایین است امروزه از این روش ها خیلی کم استفاده می شود(استراند، ۲۰۰۳)[1].

۱-۲-۲ چسباننده ها

چسباننده ها از واکنش های شیمیایی برای ایجاد یک اتصال دائمی استفاده می کنند. محلول ها و چسب ها نمونه هایی از این مواد هستند. با وجود این که می توان تقریبا تمام پلاستیک ها را با این روش ها جوش داد، ولی خیلی از محلول ها، ذرات سمی آزاد می کنند و بعد از چسباندن قطعه، باعث ایجاد اختلاف زیادی بین خواص قطعه جوشی و ماده پایه می گردند. این اختلاف در خواص فیزیکی بین منطقه جوش و قسمت جوش نخورده قطعه، باعث کاهش قابل توجه راندمان اتصال می شود. بنابراین این روش ها نیز به غیر از موارد خاص کاربرد صنعتی ندارند(استراند، ۲۰۰۳).

۱-۲-۳ جوشکاری

در جوشکاری پلاستیک ها پنج مرحله مشخص وجود دارد. در بعضی عملیات جوشکاری باید این مراحل را پشت سر هم طی نمود و در بعضی عملیات جوشکاری دیگر ممکن است برخی از این مراحل به طور همزمان طی شوند. این مراحل عبارتند از (گراول و همکاران، ۲۰۰۳)[2]:

آماده سازی سطح[3]: که اولین مرحله در آماده سازی مواد پلیمری برای جوشکاری است. آماده سازی سطح، مخصوصا در عملیات جوشکاری دستی و نیمه اتوماتیک مهم است، زیرا در این عملیات امکان آلوده شدن سطح قطعه کار بیشتر است. تمیز کاری و براده برداری، دو روش عمده آماده سازی سطح هستند.

[1] Strand, 2003
[2] Grewell, et al., 2003
[3] Surface Preparation

گرم کردن[1]: روشهای متعددی برای گرم کردن مواد ترموست و ترموپلاستیک قبل از جوشکاری وجود دارد. در تمام روشهای جوشکاری پلاستیک ها باید منطقه جوشکاری را تا ذوب شدن و یا نرم شدن آن تا نزدیکی ذوب، حرارت داد.

فشردن[2]: وقتی منطقه جوشکاری قطعات به اندازه کافی گرم شدند، باید با اعمال فشار، یک تماس کامل بین دو قطعه ایجاد نمود. با این فشار دو قطعه در ناحیه جوشکاری تغییر شکل داده و در یکدیگر نفوذ می کنند و به طور همزمان، هوا از این منطقه خارج می شود.

آمیزش بین مولکولی[3]: وقتی تماس کاملی بین دو قطعه در جوشکاری بوجود آمد، باید یک آمیزش و در هم پیچیدگی مولکولی برقرار شود تا فرآیند کامل شده و یک اتصال خوب بین دو قطعه ایجاد گردد. بدین ترتیب مولکولهای طویل پلیمری دو قطعه کار، در محل جوشکاری در هم می آمیزند و به هم گره می خورند و پیوندهای ثانویه نیز بین آنها تشکیل می شوند و اتصال جوشکاری شده محکمی بین دو قطعه به وجود می آید.

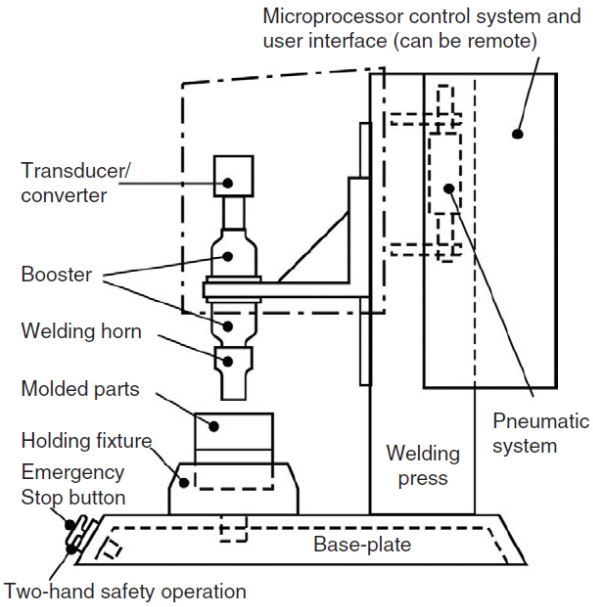
خنک کردن[4]: مرحله پایانی در عملیات جوشکاری پلاستیک ها، خنک کردن موضع جوشکاری و انجمادکامل دو پلیمر در این موضع است. در این مرحله، پلیمرهای نیمه کریستالی، ساختار کریستالی خود را و پلیمرهای آمورف نیز ساختار خاص خود در قبل از عملیات جوشکاری را به دست خواهند آورد. در این مرحله تنشهای پسماند[5] و اعوجاج[6] نیز در قطعه کار به وجود می آید و در آن باقی خواهد ماند.

[1] Heating
[2] Pressing
[3] Intermolecular Diffusion
[4] Cooling
[5] Residual Stress
[6] Distortion

۱-۲-۳-۱ جوشکاری اولتراسونیک[1]

جوشکاری اولتراسونیک (موسسه TWI، ۲۰۰۷)[2]، (موسسه EWI)[3] یک روش رایج جوشکاری ترموپلاستیک ها و کامپوزیتهای ترموپلاستیکی است. در این روش یک ارتعاش مکانیکی با دامنه نسبتا پایین و فرکانس بالا به دو قطعه اعمال می شود. در نتیجه این ارتعاش، تغییر شکل های سیکلی در سطوح قطعات و ناهمواری های آنها به وجود می آید. این انرژی های سیکلی، با توجه به وجود اصطکاک بین مولکولی، تبدیل به گرما می شود. این پدیده شبیه به گرم شدن یک سیم است که مکررا در یک نقطه به عقب و جلو خم شود. به طور کلی هر جسمی تحت بارهای مکانیکی سیکلی گرم می شود. گرمای حاصل از ارتعاش مکانیکی، با توجه به وجود ناهمواری های سطحی، در سطح قطعات بیشتر است. این گرمای برای ذوب کردن موضعی قطعات و جوش خوردن آنها به یکدیگر کافی می باشد. معمولا برای استحکام بیشتر اتصال جوش شده به روش اولتراسونیک، در قسمت هایی از قطعه کار که قرار است جوشکاری شوند، ناهمواریهایی به صورت موضعی ایجاد می کنند. به این ناهمواری های عمدی، هدایت کننده یا تمرکز دهنده انرژی گفته می شود. در اثر ارتعاش اولتراسونیک، در این نقاط بیشترین گرما ایجاد شده و جوشکاری نیز در همین نقاط انجام می گیرد. تصویر شماتیک فرآیند در شکل ۱-۱ آورده شده است (جوشی، ۲۰۰۵)[4].

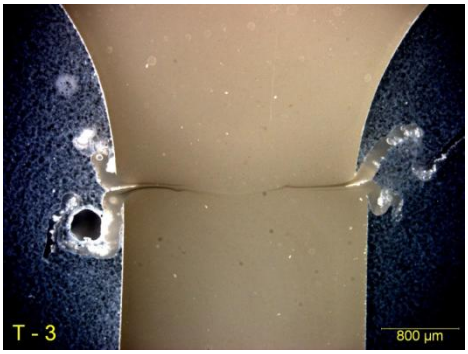
[1] Ultrasonic Welding
[2] TWI, 2007
[3] EWI, 2005
[4] Joshi, 2005



شکل ۱-۱ تصویر شماتیک از جوشکاری اولتراسونیک (جوشی، ۲۰۰۵)[1]

جوشکاری اولتراسونیک رایج ترین روش اتصال قطعات پلاستیکی در صنعت است. بعضی از ویژگی های این روش عبارتند از: سرعت جوشکاری بالا (یک یا دو ثانیه)، قابلیت اتوماسیون آسان، امکان استفاده برای جوشکاری بسیاری از ترموپلاستیک ها، بازده جوش ۷۵٪ (که به صورت نسبت استحکام جوش به استحکام فلز پایه تعریف می شود)، ولی دارای محدودیت هایی مثل هزینه تجهیزات بالا، محدودیت در شکل قطعات جوشی، مشکل تمرکز انرژی و دمپینگ ارتعاشات همچنین سطح جوش نامنظم (نشان داده شده در شکل ۱-۲ سطح مقطع جوش در جوشکاری اولتراسونیکشکل ۱-۲) می باشد.

[1] Joshi, 2005



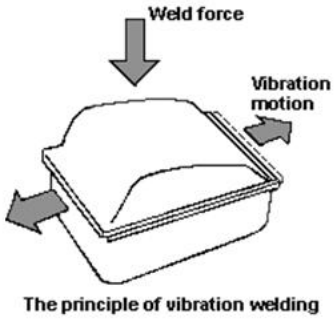
شکل ۱-۲ سطح مقطع جوش در جوشکاری اولتراسونیک (موسسه EWI)[1]

۱-۲-۳-۲ جوشکاری ارتعاشی[2]

این روش را با نام جوشکاری اصطکاکی عرضی نیز می خوانند. جوشکاری ارتعاشی یک روش جوشکاری مناسب برای اتصال قطعات پلاستیکی بزرگ با درز جوش های قوی و آب بندی شده است، که سیکل انجام آن فقط چند ثانیه طول می کشد. از این رو، فرآیند هنگامی استفاده می شود که اولا زمان در دسترس برای جوشکاری کوتاه بوده وثانیا ابعاد قطعه کار برای جوشکاری اولتراسونیک بزرگ باشد. البته فقط سطوح تخت را میتوان با این روش جوشکاری نمود و به همین دلیل، کاربرد های این روش محدود می شود. در صورتی که سطوح دو قطعه نسبت به هم، حداکثر ۱۰ درجه انحراف داشته باشند، نیز می توان از این روش استفاده کرد. در جوشکاری ارتعاشی، به دو روش می توان ارتعاش را انجام داد: ارتعاش خطی[3] و گردشی[4]. هر چند که در هر دو روش از اصطکاک برای ایجاد حرارت استفاده می شود. در جوشکاری با ارتعاشی خطی، قطعه کار به صورت خطی نسبت به دیگری ارتعاش می کند. در جوشکاری با ارتعاش گردشی، یک حرکت کوچک گردشی (بیضوی یا دایره ای) در محل تماس ایجاد می شود و سرعت این حرکت یکنواخت است. سرعت یکنواخت باعث می شود تا انرژی بیشتری، در یک مدت زمان و دامنه ارتعاش خاص، در قطعه کار انتشار یابد. به علاوه چون جهت حرکت دایما در حال تغییر است، یا به عبارت دیگر، حرکت جهت دار نیست، در جوشکاری قطعات با

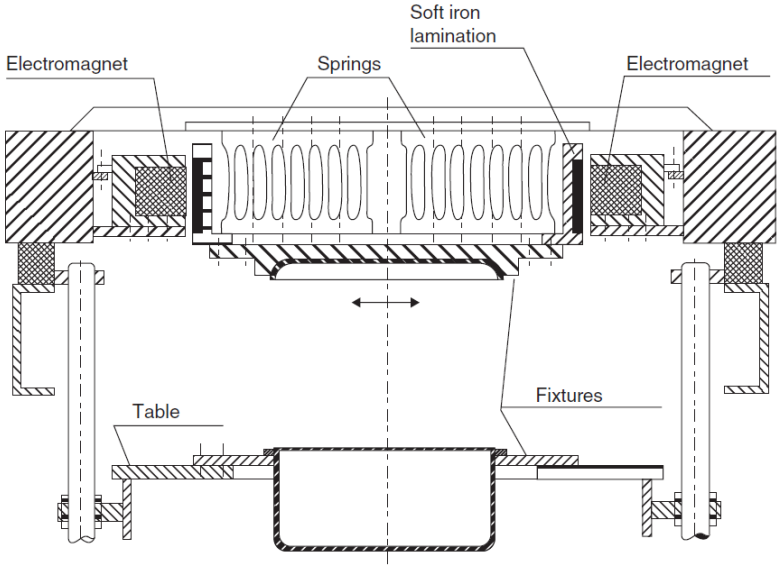
[1] EWI, 2005
[2] Vibration Welding
[3] Linear
[4] Orbital

ضخامت کم، احتمال کج شدن لبه ی قطعه کار نیز کاهش می یابد. از روش جوشکاری ارتعاشی برای اصلاح اعوجاج به وجود آمده در قطعات پلی آمید با الیاف شیشه ای استفاده می شود، یعنی می توان قطعه کار را به ماشین بسته و به آن نیروی ارتعاشی وارد کرد تا فرم آن اصلاح گردد. جوشکاری ارتعاشی را می توان به عنوان یک روش جایگزین مناسب برای متصل کردن مواد ناهمسان، نظیر پلاستیک های مسطح شده با الیاف چوبی به ترموپلاستیک ها نیز به کار برد. در جوشکاری ارتعاشی، دو قطعه کار (که باید به هم متصل شوند) را با نیروی نسبتا زیادی بر روی هم می بندند. پس از اعمال نیرو، یکی از قطعات نسبت به دیگری، به ارتعاشی واداشته می شود که دامنه ۰,۵می باشد. با این حرکت نسبی، یک حرارت اصطکاکی به وجود می آید. ارتعاش باعث ذوب شدن سطوح مجاور هم می شود. بدین ترتیب سطوح تماس قطعات ذوب شده و با یکدیگر آمیخته می شوند. تصویر فرآیند جوشکاری و قسمت های مختلف تشکیل دهنده ماشین جوشکاری به صورت شماتیک به ترتیب در شکل ۱-۳ و شکل ۱-۴ آورده شده است (موسسه EWI)[1] و (موسسه TWI، ۲۰۰۷)[2].



شکل ۱-۳ تصویر شماتیک جوشکاری ارتعاشی (تراوتن، ۲۰۰۵)[3]

[1] EWI, 2005
[2] TWI, 2007
[3] Troughton, 2008

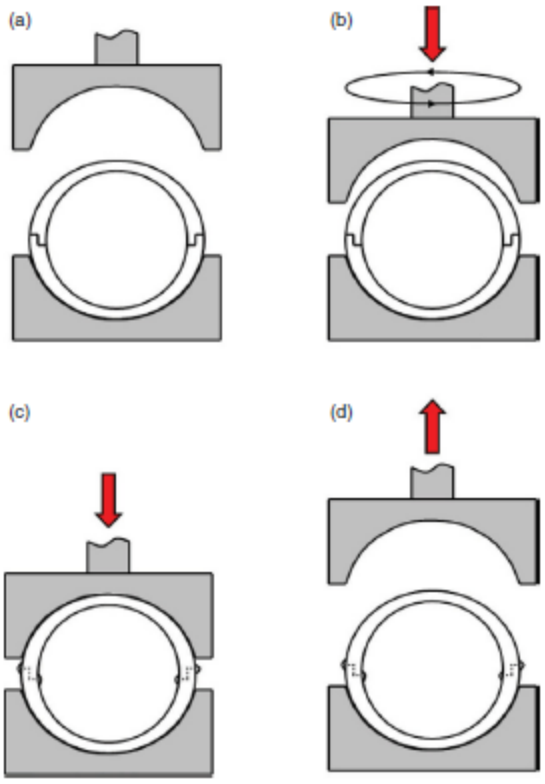


شکل ۱-۴ قسمت های مختلف یک ماشین جوشکاری ارتعاشی (تراوتن، ۲۰۰۵)

۱-۲-۳-۳ جوشکاری گردشی[1]

جوشکاری گردشی نیز نظیر جوشکاری ارتعاشی، یک فرآیند جوشکاری برای ترموپلاستیک ها می باشد که با استفاده از اصطکاک داخلی، برای متصل کردن قطعاتی با محل اتصال گرد یا استوانه ای به کار می رود. فرم خارجی قطعه کار لزوما نباید گرد باشد و فقط لازم است محل جوشکاری به صورت دایره ای باشد. روش کار چنین است که یک قطعه کار ثابت نگه داشته شده و قطعه کار دیگر در مقابل آن به گردش در می آید و بر روی قطعه کار ثابت با نیروی معینی فشار داده می شود تا گرمای لازم برای جوشکاری ایجاد شود تصویر شماتیک فرآیند در شکل ۱-۵ نشان داده شده است. این فرآیند را می توان به سه گروه تقسیم بندی نمود: (گراول و همکاران، ۲۰۰۳)[2] (موسسه TWI، ۲۰۰۸)

[1] Spin Welding
[2] Grewell, et al., 2003



شکل ۱-۵ تصویر شماتیک فرآیند جوشکاری گردشی (موسسه TWI، ۲۰۰۸)

۱-۲-۳-۳-۱ جوشکاری گردشی اینرسی[1]

در ابتدای پیدایش این فرآیند، جوشکاری گردشی برای اتصال قطعات گرد و استوانه ای بـه کـار برده شد، که تنظیم موقعیت و هم محوری دو قطعه در آن چندان مهم نبود. این ماشین ها کـه شـبیه دریل ستونی هستند یک فلایویل کوچک دارند که یک قطعه دارای اینرسی محسوب می شود و با یک موتور بادی به گردش در می آید. وقتی در اثر اصطکاک بین سطوح محل اتصال قطعات پلاستیک ذوب شد، نیروی محرکه گردشی قطع می شود. بعد از انجماد مذاب و سخت شدن محل اتصال، عمل گردش فلایویل به تدریج کند می شود تا اینکه متوقف گردد. بنابراین در قطعات مشابه جوشکاری شده با ایـن روش، ممکن است اختلافات ابعادی و هندسی قابل توجهی وجود داشته باشد. در بعضی از این ماشـین ها، یک سیستم ترمز در فلایویل تعبیه می شود تا بتوان قطعه کار را پس از جوش خوردن بـه سـرعت متوقف کرد.

[1] Inertial Spin Welding