بسمه تعالی

طراحی و ساخت ابزار جدید برای اتصال ورق در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

پایان نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته

مهندسی مواد گرایش شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

دانشجو:

سید احمد طاهری

استاد راهنما:

دکتر سلمان نوروزی

استاد مشاور:

دکتر حامد جمشیدی اول

زمستان ۱۳۹۳

بسم الله الرحمن الرحیم

پس از سپاس و ثنای بی حد بر آستان صفات بی همتای احدیت که در کمال رافت و در نهایت عطوفت رخصت اتمام این پایان نامه را به بنده عطا فرموده است؛ در کمال مودت و مسرت، این پایان نامه را که حاصل ماه‌ها تلاش و کوشش مستمر بنده بوده است؛ تقدیم می نمایم به ایرانیانی پاک نهاد و نیکو سرشت که به پشتوانه ی دانایی و توانایی توشه گرفته از عرق ملی، میهنی و مذهبی در سودای تامین آبادانی و ارتقای ایران کهنسال مجدانه تلاش می ورزند.

کیستم من ذره ای اندر زمین بر آسمان پر زنان همبال پرواز زمان

من ز دل شادی بگیرم نی ز نی از درون مستی بگیرم نی ز می

دل سپارم من به گل یا هر نگاه آتشین عاشقم بر خاک گوهر پرور ایران زمین

تقدیم به :

پدر و مادر مهربانم

همسر و فرزندان عزیزم سید رضا و سیده نورا

تقدیر و تشکر

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم. از استاد فاضل و اندیشمند جناب آقای **دکتر سلمان نوروزی** به عنوان استاد راهنما و جناب آقای **دکتر حامد جمشیدی** به عنوان استاد مشاور که همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند و در همه ی مراحل کار با حمایت ها و مشاوره های علمی و کمک های لازم بنده را در انجام پایان نامه یاری نموده‌اند، صمیمانه تقدیر وتشکر می کنم بی شک دانش، توجه، دقت، همفکری و هم اندیشی این بزرگواران پشتوانه اصلی اینجانب در تمام مراحل انجام این پایان نامه بوده است.

::

تقدیر و تشکر از تمامی دوستان که در این تحقیق از تجربیاتشان بهره مند شده ام:

آقایان (رضا خلیلی، اسماعیل دماوندی، علی متولی جویباری، روزبه عشقیان، مجتبی جواهری، نادر گلی، مجید طاهرنژاد، سیدمجیدی، علی رزاقی و همچنین تشکر از شهرام حمیدی در مرکز فنی و حرفه ای که امکان استفاده از دستگاه فرز را فراهم نموده بودند)

(پروردگارا حسن عاقبت، سلامت و سعادت را برای آنان مقدر نما)

چکیده

در سال‌های اخیر، مطالعات گسترده‌ای در رابطه با FSSW آلیاژهای همجنس با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف فرآیند نظیر سرعت دورانی، جهت چرخش، زمان نگهداری، عمق فروروی و هندسه ابزار صورت گرفت. در این تحقیق طراحی و ساخت ابزار جدید با قابلیت ایجاد سرعت چرخشی متفاوت پین و شانه ابزار و در ادامه، بررسی تاثیر پارامتر فرآیند بر اتصالات غیر مشابه FSSW با استفاده از ابزار جدید مورد بررسی قرار گرفت. اثر جهت چرخش معکوس ابزار، زمان توقف و طول پین بر استحکام برشی اتصال، هندسه منطقه‌ی اغتشاش بر روی ورق های آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴ و۵۰۵۲ به ضخامت ۲ میلی‌متر مورد بررسی قرار گرفت. کیفیت ظاهری اتصال، سختی و استحکام برشی اتصال روی هم، ریزساختار و اندازه دانه های محل جوشکاری مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهای فرآیند با استفاده از روش تاگوچی و بر اساس آرایه متعامد L27 تاگوچی بهینه سازی شدند. نتایج نشان داد که استفاده از ابزار چرخشی دوگانه معکوس منجر به کاهش مقدار حرارت ورودی و به حداقل رسیدن تغییرات سختی در مناطق مختلف اتصال نسبت به فلز پایه شد. همچنین مشاهده شد که با افزایش سرعت چرخشی ابزار، اندازه دانه در منطقه اغتشاشی به دلیل غالب بودن نرخ تغییر شکل پلاستیک بر افزایش دما، کاهش یافت.

کلمات کلیدی: جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی نقطه ای، خواص مکانیکی، ابزار چرخشی دوگانه معکوس

فهرست مطالب

فصل۱ – مقدمه ۱

فصل ۲- مروری بر منابع ۴

۲-۱- مقدمه ۴
۲-۲- فرآیندهای جوشکاری ذوبی ۴
۲-۳- فرآیندهای جوشکاری حالت جامد ۵
۲-۴- مزایای و معایب فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ۱۰
۲-۵- عوامل موثر بر فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ۱۱
۲-۵-۱- طرح اتصال ۱۲
۲-۵-۲- پارامترهای ابزار ۱۳
۲-۵-۳- پارامترهای جوشکاری ۱۹
۲-۶- ساختار ناحیه جوش ۲۳
۲-۷- مروری اجمالی بر پژوهشهای قبلی ۲۳

فصل ۳- روش تحقیق ۳۰

۳-۱- مقدمه ۳۰
۳-۲- انتخاب پارامترهای جوشکاری ۳۶
۳-۳- بررسی خواص مکانیکی و متالوژیکی اتصال ۳۹

فصل ۴- نتایج و بحث ۴۳

۴-۱- مقدمه ۴۳
۴-۲- بررسی ظاهری اتصال‌ها ۴۳
۴-۳- بررسی ریزساختار مناطق مختلف اتصال‌ها ۴۶
۴-۴- بررسی سیلان مواد در مقطع اتصال ۵۳
۴-۵- بررسی استحکام مکانیکی اتصالات ۵۴
۴-۶- بررسی پروفیل سختی اتصالات ۶۳
۴-۷- بررسی سطح شکست اتصال‌ها ۶۸

فصل ۵- نتیجه‌گیری وپیشنهادات ۷۱

مراجع ۷۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۲-۱) نمایی از جوشکاری اصطکاکی چرخشی[۷]. ۶
شکل (۲-۲) جوشکاری اصطکاکی شعاعی[۷]. ۷
شکل (۲-۳) نمایی از جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی نقطه ای[۹]. ۹
شکل (۲-۴) نمایی از جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی خطی[۱۰]. ۱۰
شکل (۲-۵) پیکربندی های اتصال برای جوش اصطکاکی تلاطمی (الف) لب به لب ساده، (ب) لب به لب لبه ای، (ج) اتصال لب به لبT، (د) اتصال لب روی هم، (ه) اتصال لب روی هم چندتایی، (و) اتصال لب روی هم T و (ر) اتصال مثلثی[۶]. ۱۲
شکل (۲-۶) ابزار فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی. ۱۳
شکل (۲-۷) اشکال مختلف شانه ابزار در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی[۱]. ۱۴
شکل (۲-۸) اثر سرعت چرخشی ابزار روی دمای ناحیه جوش آلیاژ آلومینیم۶۰۶۳ [۲۳]. ۲۱
شکل (۲-۹) اثر سرعت دورانی ابزار روی ساختار ناحیه جوش. الف) ۵۰۰، ب) ۸۰۰ و ج) ۱۰۰۰ دور بر دقیقه.[۲۴] ۲۱
شکل (۲-۱۰) نمودار تغییرات اندازه دانه با تغییرات سرعت دورانی ابزار[۲۴]. ۲۱
شکل (۲-۱۱) نواحی مختلف جوش اصطکاکی اغتشاشی[۲۷]. ۲۳
شکل (۲-۱۲) دستگاه طراحی و ساخته شده توسط لی و همکاران[۲]. ۲۶
شکل (۳-۱) نمای سه بعدی ابزار طراحی شده. ۳۱
شکل (۳-۲) نگهدارنده ابزار ساخته شده به دستگاه فرز. ۳۲
شکل (۳-۳) نمای فیکسچر. ۳۳
شکل (۳-۴) شماتیک فیکسچر مورد استفاده در این پژوهش. ۳۴
شکل (۳-۵) شماتیک فیکسچر و دستگاه مورد استفاده در این پژوهش. ۳۴
شکل (۳-۶) نمونه جوش با ابزار جدید در آزمون اول. ۳۷
شکل (۳-۷) نمونه جوش با ابزار قدیم در آزمون دوم. ۳۸
شکل (۳-۸) دستگاه آزمون کشش خواص مکانیکی مورد استفاده در این تحقیق. ۳۹
شکل (۳-۹) نمونه مانت شده جهت متالوگرافی و سختی سنجی. ۳۹
شکل (۳-۱۰) میکروسکوپ نوری جهت بررسی ریز ساختار. ۴۰
شکل (۳-۱۱) نواحی منتخب جهت انجام آزمون میکروسختی. ۴۱
شکل (۳-۱۲) میکروسکوپ استریو مدل(اروین صنعت اطلس) برای ارزیابی ریز ساختاری. ۴۱
شکل (۳-۱۳) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM استفاده شده در این تحقیق. ۴۲
شکل (۴-۱) نمونه های جوشکاری شده با ابزار جدید، شماره‌های روی تصاویر بیانگر شماره نمونه‌ها می‌باشد. ۴۴
شکل (۴-۲) نمونه های جوشکاری شده با ابزار قدیم، شماره‌های روی تصاویر بیانگر شماره نمونه‌ها می‌باشد. ۴۴
شکل (۴-۳) سطح مقطع نمونه‌های جوشکاری شده با ابزار جدید ۴۵
شکل (۴-۴) سطح مقطع نمونه‌های جوشکاری شده با ابزار قدیم ۴۶
شکل (۴-۵) تصویر ماکروگرافی از مقطع جوش و مناطق مختلف اطراف جوش در نمونه ی شماره ۹ ابزار جدید الف- منطقه اغتشاش ب- منطقه متأثر از عملیات ترمومکانیکی. تصاویر سمت چپ مربوط به آلیاژ ۲۰۲۴ و سمت راست مربوط به آلیاژ ۵۰۵۲ می‌باشند. ۴۸
شکل (۴-۶) تصویر ماکروگرافی از مقطع جوش و مناطق مختلف اطراف جوش در نمونه ی شماره ۹ ابزار قدیم الف- منطقه اغتشاش ب- منطقه متأثر از عملیات ترمومکانیکی. تصاویر سمت چپ مربوط به آلیاژ ۲۰۲۴ و سمت راست مربوط به آلیاژ ۵۰۵۲ می‌باشند. ۵۰
شکل (۴-۷) اثر پارامترهای جوشکاری بر مقدار سیگنال به نویز در اتصالات ایجاد شده با ابزار جدید: الف) سمت آلیاژ ۵۰۵۲، ب) سمت آلیاژ ۲۰۲۴. ۵۲

شکل (۴-۸) اثر پارامترهای جوشکاری بر مقدار سیگنال به نویز در اتصالات ایجاد شده با ابزار قدیم: الف) سمت آلیاژ ۵۰۵۲، ب) سمت آلیاژ ۲۰۲۴. ..... ۵۳
شکل (۴-۹) الف) مقطع عرضی اتصال، ب) توزیع عناصر در منطقه ۱، ج) توزیع عناصر در منطقه ۲. ..... ۵۶
شکل (۴-۱۰) اثر پارامترهای جوشکاری بر مقدار سیگنال به نویز در اتصالات ایجاد شده با ابزار جدید. ۶۰
شکل (۴-۱۱) اثر پارامترهای جوشکاری بر مقدار سیگنال به نویز در اتصالات ایجاد شده با ابزار قدیم. ۶۲
شکل (۴-۱۲) پروفیل سختی نمونه شماره ۳(ابزار جدید). ۶۳
شکل (۴-۱۳) پروفیل سختی نمونه شماره ۵ (ابزار جدید). ۶۴
شکل (۴-۱۴) پروفیل سختی نمونه شماره ۹ (ابزار جدید). ۶۴
شکل (۴-۱۵) پروفیل سختی نمونه شماره ۳ (ابزار قدیم). ۶۵
شکل (۴-۱۶) پروفیل سختی نمونه شماره ۵ (ابزار قدیم). ۶۵
شکل (۴-۱۷) پروفیل سختی نمونه شماره ۹ (ابزار قدیم). ۶۶
شکل (۴-۱۸) سطوح شکست نمونه های جوشکاری شده با ابزار قدیم. الف) نمونه شماره ۳، ب) نمونه شماره ۵ و ج) نمونه شماره ۹. ..... ۶۸
شکل (۴-۱۹) سطوح شکست نمونه های جوشکاری شده با ابزار جدید. الف) نمونه شماره ۳، ب) نمونه شماره ۵ و ج) نمونه شماره ۹. ..... ۶۹

فهرست جدول‌ها

جدول (۳-۱) ترکیب شیمیایی آلیاژهای۲۰۲۴ و۵۰۵۲. ۳۵
جدول (۳-۲) خواص مکانیکی آلیاژ های ۲۰۲۴و۵۰۵۲ ۳۵
جدول (۳-۳) جدول پارامترهای آزمون مرحله اول ۳۷
جدول (۳-۴) پارامترهای آزمون مرحله دوم. ۳۸
جدول (۴-۱) اندازه دانه منطقه اغتشاش نمونه‌های مختلف (ابزار جدید). ۴۹
جدول (۴-۲) اندازه دانه منطقه اغتشاش نمونه‌های مختلف (ابزار قدیم) ۵۱
جدول (۴-۳) ماکزیمم نیروی تحمل شده اتصالات ایجاد شده با ابزار جدید. ۵۷
جدول (۴-۴) ماکزیمم نیروی تحمل شده اتصالات ایجاد شده با ابزار قدیم. ۵۸
جدول (۴-۵) مقادیر سیگنال به نویز اتصالات ایجاد شده با ابزار جدید. ۵۹
جدول (۴-۶) مقادیر سیگنال به نویز اتصالات ایجاد شده با ابزار قدیم. ۶۱

فصل ۱- مقدمه

کاهش وزن در صنعت خودروسازی بسیار حائز اهمیت بوده و از طریق به کارگیری آلیاژهایی با نسبت استحکام به وزن بالا نظیر آلیاژهای آلومینیم برای بدنه خودروها، و پنل دریچه ها نظیر کاپوت و درب، قابل انجام است. تقاضا برای تولید اتصالات غیرمشابه که خواص مکانیکی کافی و کاهش هزینه را فراهم می کنند، روز به روز در حال افزایش است. مشکلات موجود برای اتصال ورق های غیرمشابه با خواص بسیار متفاوت به روش های متداول، منجر به ابداع و کاربرد گسترده فرآیندهای نوین جوشکاری شده است. در حال حاضر در صنعت خودرو، جوشکاری مقاومتی نقطه ای[۱] بیشترین کاربرد را داشته و برای فولادهای کم کربن، پراستحکام و نیز فولادهای پوشش دار استفاده می گردد. با این وجود، جوشکاری مقاومتی نقطه ای، ورق های آلومینیم آلیاژی با محدودیت های زیادی نظیر تخلخل و ترک، مواجه است. به همین خاطر، جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی نقطه ای[۲] توجه بسیاری را در صنعت به خود جلب کرده است.

FSSW یک ابزار استوانه ای دارای طراحی مخصوص و با هندسه متغیر و دارای یک پین است که در ابتدای فرآیند به داخل ورق بالایی فرو می رود. به محض تماس ابزار چرخان با ورق بالایی، یک نیروی رو به پایین اعمال می شود؛ در همین حال یک ابزار پشت بند در زیر ورق پایینی قرار گرفته که نیروی رو به پایین را مهار می کند. نیروی رو به پایین و چرخش ابزار به مدت زمان لازم اعمال می شوند تا گرمای اصطکاکی لازم برای جوشکاری فراهم گردد. در ادامه ماده گرم و نرم شده در اطراف ابزار دچار تغییرشکل

---

۱ Resistance spot welding

۲ Friction stir spot welding

پلاستیک شده و یک پیوند حالت جامد بین سطوح ورق های بالا و پایین به وجود می آید. در نهایت، ابزار از ورق ها بیرون کشـیده شده و پین بیرون آمده یک سوراخ خروجی مشخصه در وسط اتصال برجای می گذارد.

جهت دوران ابزار یکی از مهمترین پارامترهای این فرایند اسـت که بر نحوه ی سـیلان مواد اطراف پین، نحوه ی قرارگیری فصـل مشـترک دو ورق در نزدیکی سـوراخ یا هوک[۱] و در نتیجه بر خواص مکانیکی اتصـال تأثیر بسیار زیادی دارد. از جمله مشکلات جوشکاری آلیاژهای آلومینیم ضریب انبساط و انقباض آلومینیم که از یک سـو منجر به تمرکز تنش های داخلی و در نتیجه موجب پیچیدگی، تاب برداشتن و تغییر ابعادی خواهد شد، از سوی دیگر موجب شکل گیری حفراتی در ناحیه اتصال می شود. هندسه ابزار، زمان توقف، عمق فروروی و سـرعت دورانی ابزار از پارامترهای مهم در فرآیند جوشـکاری اصـطکاکی اغتشاشی نقطه ای می باشد که روی خواص مکانیکی و ریز ساختار جوش تاثیر قابل توجهی دارند. هرچه سـرعت دورانی افزایش یابد میزان حرارت وارده به منطقه اغتشاش نیز افزایش خواهد یافت و با بالا رفتن بیش از حد حرارت جریان توربولانس در مواد ایجاد می‌شود که این مساله باعث تشکیل عیوبی نظیر ترک و حفره ریز در ناحیه جوشـکاری می شـود. ضمن اینکه سرعت دورانی پایین نیز منجر به حرارت کم و به وجود آمدن عیوبی نظیر حفره ریز در منطقه اغتشـاش وکاهش خواص مکانیکی اتصـال میگردد. از طرفی افزایش حرارت ورودی باعث درشـت شـدن دانه ها وکاهش نرخ سـرد شدن می شود که علاوه بر کاهش سـختی این اجازه را به فازهای اسـتحکام بخش می دهد که دوباره رسـوب سازی کنند [۱]. جهت دوران ابزار از جمله دیگر پارامترهای فرآیند جوشـکاری اصـطکاکی اغتشـاشی نقطه ای است که بر نحوه سیلان مواد اطراف پین و همچنین نحوه قرار گیری فصـل مشـترک دو ورق در نزدیکی سـوراخ ایجاد شـده و خواص مکانیکی اتصال تاثیر فراوانی دارد. لی و همکاران [۲]-[۴] در زمینه جهت چرخش معکوس پین و شـانه ابزار با نسـبت دورهای مختلف در جوشـکاری اصـطکاکی اغتشـاشـی آلیاژ آلومینیم سـری ۲۰۰۰

[۱] Hook

مطالعاتی را انجام داده‌اند. آنها نتیجه گرفتند که جوشکاری با ابزار چرخشی دوگانه معکوس[۱] نسبت به ابزار ساده منجر به افزایش استحکام کششی و ازدیاد طول می‌شود. آنها گزارش کردند که میزان تغییر اندازه دانه در محل اغتشاش نسبت به فلز مبنا در مقایسه با ابزار معمولی به واسطه حرارت ورودی پایینتر،کمتر بوده است.هدف از انجام این پژوهش ساخت دستگاه چرخش دوگانه معکوس و بررسی اتصال لبه روی هم[۲] ورقهای آلومینیم ۲۰۲۴-T۴و ۵۰۵۲-H۳۸ به ضخامت۲ میلی‌متر با دو جهت دوران ابزار هم جهت و غیر هم جهت(چرخش دوگانه معکوس) با پین ساده، در زمان‌های توقف ۱۵،۱۰و۲۰ثانیه و عمق فروروی ۲/۶، ۲/۸ و ۳ و در سرعت دورانی۱۵۰۰،۲۰۰۰و۲۵۰۰ دور بر دقیقه ابزار می باشد.

برای بررسی کارآمدی پارامترهای فرآیند FSSW، محققین از روند آزمایشی متداول شامل تغییر یک متغیر و ثابت نگه داشتن سایر آن ها، پیروی می کنند. این طراحی پارامتری رویکرد آزمایش بسیار زمان بر می باشد. به منظور حل این مشکل، روش های مختلفی برای حصول متغیرهای خروجی مطلوب از طریق ایجاد مدل های جدید پیشنهاد شده است. روش تاگوچی یکی از روش هایی است که می تواند برای بهینه سازی پارامترهای جوشکاری به کار گرفته شود. بهینه سازی پارامترهای فرآیند به روش تاگوچی یک گام مهم در بهبود کیفیت بدون افزایش هزینه ها قلمداد می شود.

[۱] Reverse dual-rotation

[۲] Lap-joint

فصل ۲- مروری بر منابع

۲-۱- مقدمه

جوشکاری یکی از روش‌های اتصال دائم مواد مهندسی (فلز، سرامیک، پلیمر، کامپوزیت) به یکدیگر است. فرآیندهای جوشکاری به طور کلی به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: فرایندهای جوشکاری ذوبی و فرایندهای جوشکاری حالت جامد [۷].

۲-۲- فرآیندهای جوشکاری ذوبی

فرآیندهای جوشکاری ذوبی یا جوشکاری حالت مایع[۱]یکی از روش‌های جوشکاری است که طبق تعریف انجمن جوشکاری آمریکا[۲] به هر فرایند جوشکاری که از ذوب فلز پایه برای ایجاد اتصال استفاده نماید، اطلاق می‌شود. در جوشکاری ذوبی برای اتصال دو فلز به یکدیگر، نقاط اتصال را ذوب کرده و به یکدیگر می‌چسبانند تا هنگام سرد شدن در اثر انجماد، اتصال برقرار شود. در عین حال ممکن است یک فلز دیگر به عنوان فلز پرکننده نیز برای کنترل ضخامت محل اتصال مورد استفاده قرار گیرد[۵].

در روش‌های ذوبی کنترل ترکیب شیمیایی فلزات در حالت مذاب مطرح می‌شود و ممکن است از یک ماده پرکننده مانند یک الکترود مصرفی و یا هر چیزی شبیه قرقره سیم استفاده شود. همچنین در این فرآیند ممکن است یک محیط خنثی اطراف ناحیه مذاب به منظور محافظت از فلز ناحیه جوشکاری وجود داشته باشد که این محیط را می‌توان توسط یک سیّال و یا یک گاز خنثی محافظ ایجاد نمود. مشکلات و عیوب

---

[۱] Liquid-state welding

[۲] American welding society

بسیاری از روشهای مختلف ذوبی وجود دارد که منجر به کاهش کیفیت جوش و در نهایت سبب افت خواص مکانیکی از قبیل استحکام کششی، استحکام خستگی و شکل‌پذیری می‌گردد[۶].

۲-۳- فرآیندهای جوشکاری حالت جامد

جوشکاری حالت جامد، گروهی از فرآیندهای جوشکاری هستند که در آنها، پیوستگی مواد در دماهایی زیر نقطه ذوبشان رخ می دهد. این پیوستگی بدون ذوب فلز پایه اتفاق می افتد و البته این بدان معنا نیست که در حین این فرآیندها هیچ گونه مذابی تشکیل نمی شود، بلکه فاز مذاب مثل یک روانکار عمل می‌کند. به علاوه در این فرآیندها از هیچ ماده پرکننده لحیمی استفاده نمی شود و ممکن است در این فرآیندها از فشار استفاده گردد یا نگردد.

این گروه از جوشکاری شامل :

۱-جوشکاری آهنگری[۱] ۲-جوشکاری نفوذی[۲] ۳-جوشکاری اصطکاکی[۳] ۴-جوشکاری مقاومتی[۴] ۵-جوشکاری انفجاری[۵] و ۶- جوشکاری فراصوتی[۶] است.

از مزایای این روش ها، ذوب نشدن فلز پایه و عدم تشکیل حوضچه جوش است. در این روش ها، فلز اتصال، خواص اولیه خود را حفظ می کند و مشکلات ناشی از ناحیه متاثر از حرارت که حاصل ذوب شدن بخشی از فلز پایه است، در این فرآیندها دیده نمی شود. در جوشکاری مواد غیر همجنس، اختلاف ضریب انبساط حرارتی و هدایت گرمایی مواد در مقایسه با فرآیندهای جوشکاری ذوبی اهمیت کمتری دارد.

در این فرآیندها برای دستیابی به اتصال با کیفیت بالا بین فلزات اعم از همجنس و غیر همجنس، یا از تغییر شکل و یا از نفوذ همراه با تغییر شکل کمک گرفته می شود.

جوشکاری اصطکاکی نیز یکی از روش های جوشکاری حالت جامد است. به طور کلی جوشکاری اصطکاکی بر اساس تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی گرمایی استوار است که در این روش دو قسمت مورد اتصال را به

---

[۱] Forge Welding
[۲] Diffusion Welding
[۳] Friction Welding
[۴] Resistance Welding
[۵] Explosive Welding
[۶] Ultrasonic Welding

هم نزدیک کرده و با ایجاد حرکت دورانی سریع یکی از آنها روی دیگری در اثر اصطکاک دو قطعه، گرمای زیادی تولید شده و موجب ایجاد حالت پلاستیک در لبه های اتصال می شود. با فشار اعمال شده نهایی قطعات در هم فرو می روند و اتصال ایجاد می شود[۱].

انواع فرآیند جوشکاری اصطکاکی :

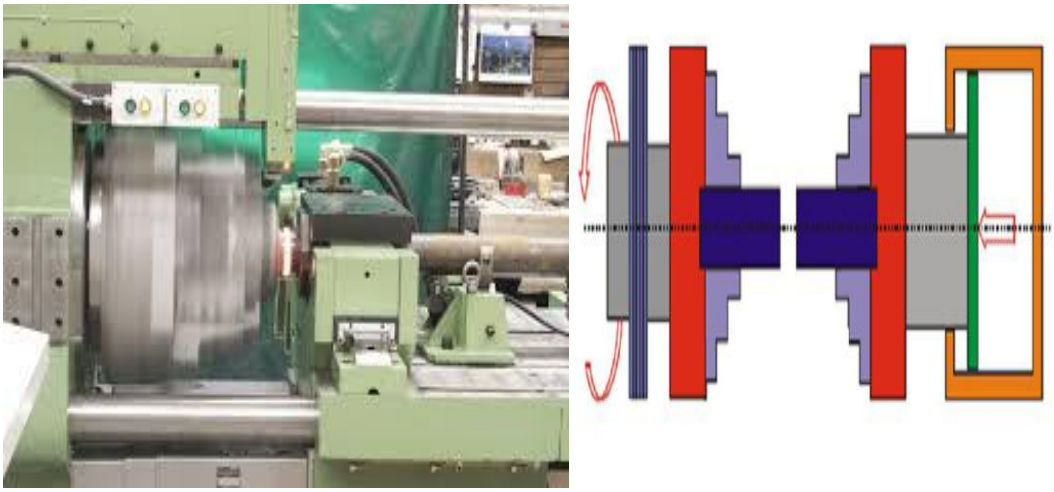
۱- اصطکاکی چرخشی

۲- اصطکاکی شعاعی

۳- اصطکاکی خطی

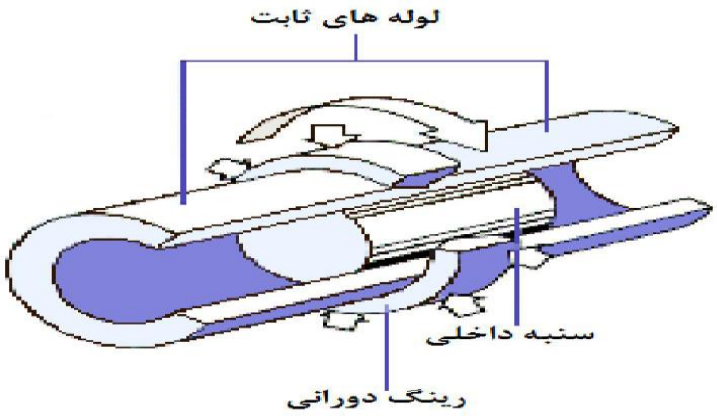
۴-اصطکاکی اغتشاشی

در فرآیند جوشکاری اصطکاکی چرخشی شکل (۲-۱) با چرخاندن قطعه آزاد روی قطعه ثابت شده و با اعمال اصطکاک در محل تماس قطعات، خمیری شدن مواد و عمل جوش صورت می پذیرد. سرعت چرخش و بخصوص سرعت و نحوه توقف از پارامترهای بسیار مهم در این نوع از جوش می باشند. این فرآیند برای فلزات هم جنس و غیر هم جنس کاربرد دارد و با حرارت حاصل از حرکت سریع و تحت فشار قرار دادن دو قطعه نسبت به یکدیگر انجام می شود. پس از توقف حرکت و قبل از سرد شدن، جهت اتصال و استحکام بهتر جوش، دو قطعه بایستی با نیروی فشاری بیشتری به هم فشرده شوند، در نتیجه اتصال جامدی بدون مشکلات ذوبی رخ می دهد[۷].



شکل (۲-۱) نمایی از جوشکاری اصطکاکی چرخشی[۷].

فرآیند جوشکاری اصطکاکی شعاعی برای اولین بار توسط انجمن جوشکاری انگلیس[۱] در سال ۱۹۷۰ گسترش یافت، که برای اتصال لوله‌ها به کار می‌رود. برای اتصال درزها، لوله‌ها و میله های فولادی این روش با استفاده از حلقه های فولادی مصرف شدنی انجام می‌شود که در شکل (۲-۲) نشان داده شده است. در این روش لازم نیست که دو قطعه‌ای که به هم اتصال می یابند دوران کنند، بلکه تنها حلقه می‌چرخد و بعد از آن که حلقه شروع به چرخش کرد خودش و سطوح آماده قطعه کار که در تماس هستند به دمایی نزدیک به نقطه ذوب می‌رسند. سپس یک نیروی فشاری بالا در جهت شعاعی بر حلقه اعمال که موجب جوش اصطکاکی این فلز با دو قطعه کار می شود. حلقه می تواند در شیارهای درز از بیرون فورج شود و یا می تواند درون درز اتصال در لوله ها و تیوپ نصب شود و دوران کند که این امر مستلزم انبساط شعاعی است. این روش در اتصال طول‌های بلند به خصوص زمانی که دو راستا نیاز دارند که با سرعت‌های بالا دوران کند با صرفه است. اگر راستای قطعه‌کارها مستقیم نباشد یا قطعات دچار تغییر شکل هایی به اشکال خاص و ویژه در راستای طولشان شوند باز هم امکان وارد کردن و قرار دادن یک توپی قابل انبساط داخلی برای بالا بردن نیروی فشاری شعاعی در حین عملیات وجود دارد.



شکل (۲-۲) جوشکاری اصطکاکی شعاعی[۷].

فرآیند جوشکاری اصطکاکی خطی (غیردورانی) برای قطعات مربعی و یا قطعاتی که دارای سطوح تخت باشند، کاربرد دارد. در این فرآیند یکی از قطعات بطور کامل مهار می شود و با ایجاد حرکت رفت و برگشتی

[۱] The Welding Institute

قطعه دیگر، دوقطعه در سطح تماس به هم ساییده می شوند و در اثر این مالش حرارت اصطکاکی تولید می شود و با اعمال نیروی فورج دو قطعه به هم جوش می خورند. این فرآیند شامل چهار مرحله می باشد که در مرحله اول فرآیند پیش گرم کردن انجام می شود. در این مرحله نیروی اعمالی کم است. در مرحله بعدی مالش در فشار کمی بیشتر از مرحله قبل ادامه می یابد و در مرحله سوم این فشار بیشتر خواهد شد. در مرحله آخر بدون وجود حرکت رفت و برگشتی نیرو به بیشترین مقدار خود می رسد تا اتصال کامل بین دو فلز انجام گیرد.

جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی به عنوان مهم ترین پیشرفت در اتصال فلزات در دهه ی اخیر مطرح بوده و تکنولوژی « سبز » نام گرفته است. این فرآیند که برای اولین بار در سال ۱۹۹۱ توسط انجمن جوشکاری انگلستان ابداع شده، یک فرایند اتصال در حالت جامد است و بازده انرژی بالایی دارد. این فرایند در مقایسه با سایر روش های جوشکاری متداول، انرژی بسیار کمتری مصرف می کند و هیچ گاز محافظ یا سرباره ای استفاده نمی گردد، به همین علت دوستدار محیط زیست نامیده می‌شود و اتصال شامل هیچ گونه فلز پر کننده ای نمی باشد. همچنین هر نوع آلیاژی می توانند به یکدیگر با سهولت متصل شوند. در این روش قطعاتی که قرار است به هم جوش شوند، در کنار هم محکم قرار گرفته و سپس از یک ابزار دورانی مصرف نشدنی برای تولید گرمای اصطکاکی و تغییر شکل پلاستیک استفاده می‌شود که مواد جوشکاری را تحت فشار قرار می دهد. در جوشکاری اصطکاکی معمولی، گرما در فصل مشترک سطوح به واسطهٔ اصطکاک ناشی از حرکت دو سطح نسبت بهم حاصل می‌شود، ولی در این فرایند جسم سومی روی دو سطح مورد اتصال به صورت یک ابزار کوچک گردان حرکت می‌کند. در نتیجه ناحیه ای از مواد مومسان شده به شیوه ای متفاوت از انواع دیگر فرایند جوشکاری اصطکاکی تولید خواهد شد. با حرکت ابزار در طول خط اتصال، مواد نرم شده از اطراف ابزار به بخش انتهایی شانه ابزار حرکت کرده و خط اتصال را ایجاد می کنند. هدف اصلی در این فرآیند ایجاد اتصال بین موادی است که جوشکاری آن ها با روش های مرسوم ذوبی مشکل و یا امکان ناپذیر است که از آن جمله‌ی می‌توان به اتصال آلیاژهای آلومینیم سری ۲xxx، ۷xxx و اتصالات

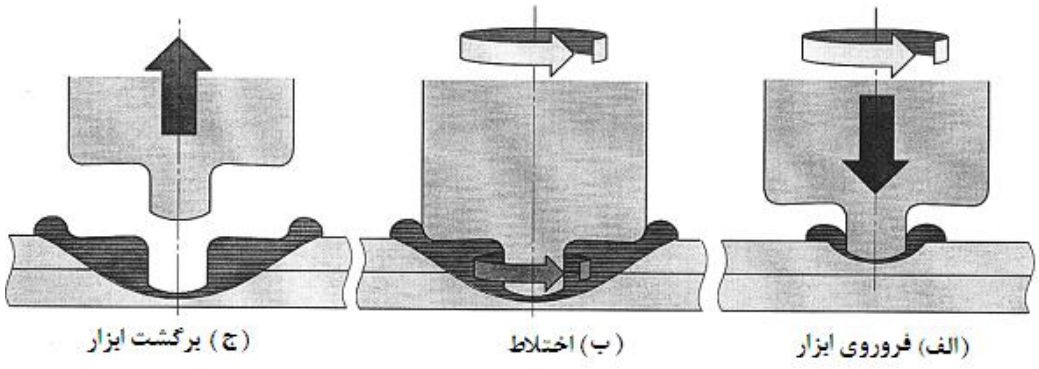
غیر هم جنس نام برد[۸]. ابزار این فرایند از دو بخش مهم تشکیل شده است که عبارتند از شانه[۱] و پین[۲]، که دو عمل اصلی را انجام می دهد:

-گرم کردن قطعه توسط اصطکاک.

-حرکت دادن مواد به منظور برقراری اتصال.

گرمایش توسط اصطکاک بین ابزار و قطعه کار و تغییر فرم پلاستیک قطعه کار حاصل می‌شود. گرمایش موضعی، ماده اطراف پین را نرم کرده و آمیزه‌های از دوران ابزار و حرکت طولی، باعث حرکت ماده از جلوی پین به سمت پشت آن می شود. درنتیجه، اتصالی در حالت جامد شکل می‌گیرد[۹] و[۱۰]. به دلیل ویژگی های هندسی ابزارهای گوناگون، جابجایی ماده در اطراف پین می تواند کاملاً پیچیده باشد. در ضمن فرآیند ماده دستخوش تغییر شکل پلاستیک شدیدی در دمای بالا می شود، که نتیجه آن شکل‌گیری دانه های ریز تبلور مجدد یافته و هم محور است. ساختار ریز در جوش‌های اصطکاکی اغتشاشی، خواص مکانیکی خوبی را ایجاد می کند.

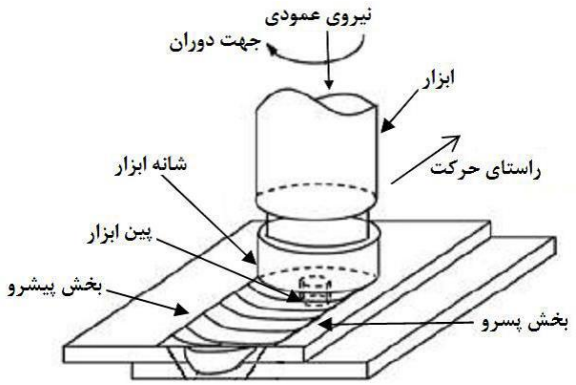
با فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی می توان انواع مختلف اتصالات مثل اتصالات لب روی هم نقطه ای شکل (۲-۳) یا خطی، سر به سر جوش خطی شکل (۲-۴) ایجاد کرد.



شکل (۲-۳) نمایی از جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی نقطه ای[۹].

[۱] Shoulder

[۲] Pin



شکل (۲-۴) نمایی از جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی خطی[۱۰].

۲-۴- مزایای و معایب فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

در مقایسه با روش‌های جوشکاری معمول، فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی به مراتب مصرف انرژی کمتری دارد. به علاوه از هیچ فلاکس یا گاز محافظی بهره نمی برد، که این خود باعث افزایش سازگاری با محیط زیست می‌شود. از آنجا که این فرایند لزوماً یک فرآیند حالت جامد، یعنی عاری از ذوب‌شدگی است، معمولاً در غیاب ترکهای انجمادی، تخلخل، اکسیداسیون و سایر عیوبی که به جوشکاری ذوبی مربوط می‌شود، جوشی با کیفیت بالا می‌تواند حاصل شود. همچنین اتصال دهی با این روش، استفاده از هیچ فلز پرکننده‌ای را طلب نمی‌کند و بنابراین هر آلیاژی را می‌توان بدون نگرانی درصورت سازگار بودن ترکیب شیمیایی، اتصال داد[۱].

فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی به طور موفقیت آمیزی برای جوشکاری آلیاژهای متشابه و غیرمشابه آلومینیم ریختگی و نوردی، فولادها، تیتانیم، مس، آلیاژهای منیزیم و کامپوزیت‌های زمینه فلزی به کار رفته است. جایگزینی اتصالاتی که با گیره محکم شده اند با اتصالات جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی، می‌تواند منجر به صرفه جویی وزنی و اقتصادی چشم‌گیری شود، که موضوع جذابی برای بسیاری از صنایع نظیر صنعت حمل و نقل به طور اعم و صنعت هواپیماسازی به طور اخص می‌باشد. این کاهش وزن ممکن است ناشی از حذف چفت و بستها باشد. با توجه به اینکه در جاهایی که شامل اتصالات سر به سر هستند، برای نصب چفت و بستها همپوشانی لازم است. کاهش قیمت می تواند با کاهش زمان طراحی، ساخت، مونتاژ و

نگهداری مشخص شود، که ناشی از کاهش بالقوه در تعداد قطعات است. با استفاده از اتصالات جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی شده بجای چفت و بست شده نیز می‌توان اثرات تمرکز تنش ناشی از سوراخهای چفت و اتصالات بست را حذف کرد.

در کنار مزایای فرآیند می‌توان معایبی برای فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی برشمرد که عبارتند از:

۱) نیاز به گیره بندی جهت مهار قطعه؛ برای اینکه در حین فرآیند جوشکاری نیروهای زیادی به قطعه اعمال می شود.

۲) نیاز به استفاده از ابزار مستحکم تر از فلزپایه، در فلزات مستحکم تر و سخت تر.

۳) به وجود آمدن حفره در انتهای جوش.

۴) عدم توانایی اتصال مواردی که نیاز به فلز پرکننده باشد.

۵) کارگاهی بودن فرآیند و غیر قابل حمل بودن تجهیزات.

۶) اغلب نسبت به روش های ذوبی نرخ پیشروی کمتری دارد.

۷) انعطاف پذیری کمتر نسبت به روش‌های ذوبی.

۲-۵- عوامل موثر بر فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

عوامل مختلفی در نحوه‌ی تعیین الگوی جریان مواد و کیفیت اتصال در فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی تاثیرگذار می باشند که از جمله‌ی آنها می‌توان به موارد اصلی زیر اشاره کرد:

الف-طرح اتصال

ب-پارامترهای ابزار

ج-پارامترهای جوشکاری