

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

جوشکاری اصطکاکی

مقدمه

امروزه صنعت جوشکاری، ان هم شیوه های نوین در دنیا جایگاه خاصی پیدا کرده است. هر چند که در حال حاضر تصور رایج از جوشکاری همان جوشکاری مذاب (ذوبی) است اما روش های بسیار پیشرفته ی دیگری نیز وجود دارد که این صنعت را دچار تحولاتی بنیادین نموده است، به عبارتی این صنعت در دنیا از حالت سنتی خود که همان جوشکاری ذوبی است، فراتر رفته و به سوی شیوه های نوین صنعتی همانند جوشکاری فراصوتی، انفجاری، اصطکاکی و غیره متمایل شده است. در این مقاله به بررسی فناوری نوین جوشکاری اصطکاکی - اغتشاشی از گروه جوشکاری حالت جامد می پردازیم.

به طور کلی فرایند جوشکاری به دو گروه جوشکاری ذوبی و جوشکاری جامد تقسیم می شود. جوشکاری ذوبی خود، ده ها فرایند را در بر می گیرد که بسیاری از آن ها در صنعت شناخته شده اند. از جمله این فرایندها، می توان به جوشکاری با شعله، با الکترو، قوس و جوشکاری با مقاومت دی پلاسما اشاره نمود. جوشکاری حالت جامد نیز فرآیند های متعددی مانند جوشکاری فراصوتی، انفجاری، فشاری و اصطکاکی را شامل می شود. در این مقاله هدف بررسی و معرفی یکی از فرآیندهای نوین جوشکاری حالت جامد، یعنی جوشکاری اصطکاکی - اغتشاشی است. در حال حاضر از این فرآیند به طور گسترده جهت اتصال قطعات آلومینیومی و آلیاژهای آن استفاده می شود.

جوشکاری اصطکاکی

جوشکاری اصطکاکی به طور کلی به دو دسته تقسیم می شود:

الف) جوشکاری اصطکاکی لحظه ای (Inertia friction)

ب) جوشکاری اصطکاکی مداوم (Continuous drive friction)

البته امروز روش های پیشرفته که ترکیبی از دو تکنیک بالاست به کار می رود هر دو نوع جوشکاری می تواند بدون توقف و به طور کامل به صورت ماشینی انجام شود و می توان پارامترهای عملیاتی را از قبل برنامه ریزی نمود.

جوشکاری اصطکاکی لحظه ای:

فرم لحظه ای جوشکاری اصطکاکی چرخشی شامل یک قطعه کار گیر داده شده به یک سه نظام متصل به چرخ دوار سنگین می باشد سرعت چرخش چرخ دوار به وسیله جوش های آزمایشی و استاندارد و یا از طریق فرمول های در دسترس بدست می آید. بعد از رسیدن به سرعت مورد نیاز چرخ دوار از موتورها جدا می شود و قطعه کار در حال چرخش تحت نیروی فشاری به قطعه کار ساکن متصل می شود. با تماس دو سطح انرژی جنبشی چرخ دوار از طریق اصطکاک به حرارت تبدیل می شود و به محض اینکه سرعت کاهش یافت گرمای تولیدی در سطوح هم کاهش می یابد و بجای آن گرما از طریق رسانش در قطعات پراکنده می شود با افزایش سطح مقطع تماس گشتاور در جهت مخالف شروع به افزایش می کند و سبب توقف ناگهانی حرکت دورانی چرخ دوار می شود و جوش در حالت جامد تشکیل می گردد در این مرحله یک نیروی اضافی باعث افزایش سطح مقطع اتصال شده و کیفیت خواص مکانیکی جوش را بهبود می بخشد، انرژی مورد نیاز برای یک عملیات به اندازه، شکل، وزن قطعه و سرعت چرخش چرخ دوار بستگی خواهد داشت.

جوشکاری اصطکاکی پیوسته:

در این نوع جوشکاری مانند جوشکاری اصطکاکی لحظه ای یک قطعه کار به یک سه نظام متصل به موتور گیر داده شده است که به طور پیوسته با یک سرعت ثابت و زمان مشخص می چرخد به طور معمول یک نیروی فشاری کنترل شده اولیه برای ایجاد اصطکاک بر سطوح تماس وارد می شود. هنگامی که حرارت کافی تولید شد قطعه کار در حال چرخش به وسیله ترمز متوقف می شود و نیروی بیشتر نهایی برای افزایش سطح مقطع تماس اعمال می گردد به

دلیل گستره وسیع تغییرات پارامترهای عملیاتی جوشکاری اصطکاکی مداوم، برای اتصال مقاطع خیلی بزرگ و یا بی نهایت کوچک کاربرد دارد به عنوان مثال ماشینی که برای جوشکاری شفت ها و تیوپ های با قطر بزرگ با سطح مقطع در حدود 1480cm^2 استفاده می شود دارای ظرفیت نیروی 20MN می باشد و برعکس وقتی جوشکاری اصطکاکی در مقیاس میکرو باشد پارامترها به سمت مقادیر متفاوت سوق می یابد به عنوان مثال سرعت زاویه ای باید چندین برابر سرعت مورد نیاز برای قطعات با اندازه متوسط باشد (اغلب در حدود 300 m/min) وقتی وایرها با سطح مقطع بسیار کم جوشکاری سر به سر می شوند (با قطر 2mm) سرعت چرخشی باید در حدود 47000rpm باشد همچنین وایرها با قطر کوچکتر از 1mm به طور موفقیت آمیز جوشکاری اصطکاکی می شوند ولی سرعت چرخش باید تا حدود 125000rpm باشد.

مواد مناسب برای قرار گرفتن تحت جوشکاری اصطکاکی:

به طور کلی جوشکاری اصطکاکی پروسه مناسب برای اتصال فولادها می باشد و مزایای متالورژیکی مناسبی از خواص را ارائه می دهد. هر فولادی که قابلیت فورج داغ داشته باشد می تواند جوشکاری اصطکاکی شود همچنین بسیاری از فلزات غیرمتشابه می توانند به فولاد جوش داده شود اگر فولاد مقادیر بیشتری از میزان معینی عناصر آلیاژی و عناصر باقی مانده داشته باشد سختی، نرمی خمشی و تافنس شکست مناسب در شرایط جوش ایجاد می شود البته تاکنون فرمول مشخصی برای ارزیابی ترکیبات مناسب فولادی برای تأمین خواص استحکام، سختی، نرمی و چقرمگی مناسب ارائه نشده است.

خصوصیات مکانیکی جوش های اصطکاکی:

خصوصیات مکانیکی جوش های اصطکاکی در فولادها به گستردگی سایر فرآیندها مورد بررسی و آزمایش قرار نگرفته است. از جمله خصوصیات جوش FRW می توان به استحکام، کیفیت خوب که البته وابسته به ترکیب فولاد و ریزساختار حاصل از سرعت سرد شدن پس از جوشکاری است اشاره کرد. به طور معمول استحکام جوش های ایجاد شده مناسب بوده ولی چقرمگی گاهی اوقات نگران کننده است.

مزایا:

- عدم نیاز به حفاظت و پرکننده S
- کوچک بودن ناحیه متاثر از حرارت
- امکان اتصال فلزات غیر همجنس
- عملیات اتصال بدون آلودگی و جرقه
- سرعت انجام جوش نسبتاً بالاست
- انرژی مورد نیاز کم است
- قابلیت اتوماسیون

معایب:

- در اغلب حالات قطعات می بایست محور تقارن داشته باشند
- محدودیت در اتصال مواد با انعطاف پذیری کم و خود روانکار
- اعوجاج سریع قطعات نرم
- محدودیت طول قطعات به زیر یک متر
- تجهیزات گران قیمت

«جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی»، یک روش جدید حالت جامد جوشکاری است. این روش، بازدهی انرژی بالا و سازگاری خوبی با محیط زیست دارد. همچنین، در صنایع هوافضا و سایر صنایع حساس، می‌تواند برای اتصال آلیاژهای پایه‌ی آلومینیوم استحکام بالا که با روش‌های معمولی، به راحتی جوشکاری نمی‌شوند، به کار رود. در دهه‌ی گذشته، جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی، بیشترین توسعه را در اتصالات داشته است. فرآیند اصطکاکی اغتشاشی، برای ایجاد تغییرات میکروساختاری در مواد نیز، به کار می‌رود.

روش جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی، اولین بار، در مؤسسه‌ی جوشکاری بریتانیا، به عنوان روش اتصال حالت جامد، ابداع شد و برای جوشکاری آلیاژهای آلومینیوم، به کار گرفته شد.

اساس کار جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی، بسیار ساده است. در این روش یک ابزار غیرمصرفی چرخان، با یک پین با طراحی مشخص و یک شانه، به لبه‌های مجاور صفحات متصل‌شونده وارد می‌شود و در امتداد خط اتصال، پیشروی می‌کند.

جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی، نسبت به سایر روش‌های جوشکاری، انرژی کمتری مصرف می‌کند؛ به گاز محافظ و فلاکس نیازی ندارد و سازگار با محیط زیست است. همچنین، نیازی به فلز پرکننده ندارد. لذا، هر آلیاژ آلومینیوم را می‌توان بدون نگرانی از به هم خوردن ترکیب شیمیایی آن، جوشکاری کرد. حتی می‌توان آلیاژهایی با ترکیب متفاوت را نیز، جوشکاری نمود. علاوه بر این، این روش جوشکاری، برای وضعیت‌های مختلف جوشکاری، نظیر جوش لب‌به‌لب، T شکل و فیلت، قابل کاربرد است.

پارامترهای جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی، همراه با جابه‌جایی پیچیده و تغییر شکل پلاستیک است. «پارامترهای جوشکاری»، «هندسه‌ی ابزار» و «طراحی اتصال»، بر الگوی سیلان ماده و توزیع دما مؤثر هستند. همچنین، تغییر شکل ریزساختاری ماده نیز، تابع این عوامل است.

هندسه‌ی ابزار:

هندسه‌ی ابزار، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار روی این فرآیند است و مهم‌ترین نقش را در سیلان ماده بازی میکند. یک ابزار جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی، دو قسمت دارد: «پین» و «شانه». همچنین، ابزار، دو عملکرد دارد: «ایجاد گرمای موضعی» و «سیلان ماده».

در وهله‌ی اول و در ابتدای تماس پین با ماده، در اثر اصطکاک، گرما ایجاد می‌شود. مقداری از گرما نیز، در اثر تغییر شکل پلاستیک ماده به‌وجود می‌آید. پین تا جایی که شانه روی سطح قطعه کار بنشیند، فرو می‌رود. اصطکاک بین شانه و قطعه کار در این مرحله، قسمت اعظم گرمای فرآیند را تولید می‌کند. از جنبه‌ی تولید گرما، نسبت اندازه‌ی پین و شانه نیز مهم است؛ اما، سایر پارامترهای طراحی، تأثیر چندانی روی گرمای تولیدی ندارند. شانه همچنین، محدوده‌ی گرم‌شدن قطعه را نیز، تعیین می‌کند.

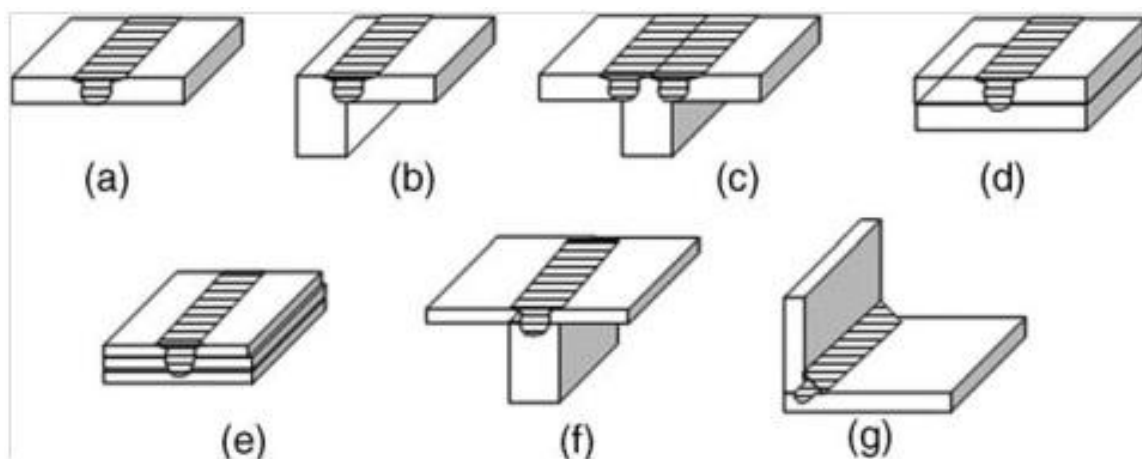
متغیرهای فرآیند:

برای جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی، دو پارامتر، بسیار مهم‌اند: «نرخ چرخش ابزار» (W, rpm) در جهت ساعتگرد یا پادساعتگرد و «سرعت پیشروی ابزار» ($V, \text{mm/min}$) در طول خط اتصال.

چرخش ابزار، باعث هم‌خوردن و اختلاط ماده حول پین چرخان شده و پیشروی ابزار، ماده‌ی هم‌خورده را از جلو به عقب پین منتقل می‌کند و در نهایت، فرآیند جوشکاری خاتمه می‌یابد. نرخ چرخش بالاتر، باعث ایجاد گرمای بیشتر، به دلیل اصطکاک بیشتر و در نتیجه، هم‌خوردن و اختلاط بیشتر ماده خواهد شد. علاوه بر W و V ، پارامتر مهم دیگر، «زاویه‌ی محور» یا «کجی ابزار نسبت به سطح قطعه کار» است. کجی مناسب محور در امتداد جهت پیشروی، این اطمینان را می‌دهد که شانه‌ی ابزار، ماده‌ی هم‌خورده با پین رزوه‌دار را به‌طور مناسبی از جلو به عقب حرکت می‌دهد. همچنین، «عمق فروروندگی پین در قطعه کار»، برای ایجاد جوش مناسب، مهم است. عمق فروروندگی پین، بستگی به «ارتفاع پین» دارد. وقتی که این عمق کم باشد، شانه‌ی ابزار، با قطعه کار تماس پیدا نمی‌کند. بنابراین، شانه‌ی چرخان، نمی‌تواند ماده‌ی هم‌خورده را حرکت دهد. وقتی که این عمق زیاد باشد، باعث ایجاد تشعشع زیاد جوش می‌شود و «جوش مقعر» ایجاد می‌شود که باعث نازکی موضعی ورق جوش می‌گردد.

طراحی اتصال:

رایج‌ترین شکل‌های طراحی جوش برای جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی، اتصالات «لب‌به‌لب» (Butt Joint) و «روی هم» (Lap Joint) هستند. انواع این اتصالات در شکل 1 نشان داده شده اند. در شکل 1-، a دو ورق با ضخامت یکسان، روی یک صفحه‌ی پشتیبان قرار گرفته‌اند. در فرورفتن اولیه‌ی ابزار، نیروها بسیار بزرگ هستند و مراقبت زیادی برای اطمینان از عدم جدایش دو طرف جوش، باید صورت گیرد. ابزار چرخان در خط اتصال فرو می‌رود و طول خط را می‌پیماید و هم‌زمان، شانه‌ی ابزار، در تماس کامل با سطح صفحات است که باعث ایجاد خط جوش می‌شود. از طرفی دیگر، برای اتصال روی هم ساده، یک ابزار چرخان، به‌طور عمودی روی صفحه‌ی بالایی و پایینی فرو می‌رود و در جهت مورد نظر، در خط طولی پیشروی می‌کند و دو صفحه را جوش می‌دهد.



شکل 1: اتصالات مختلف برای جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

a: (لب‌به‌لب مربعی) **b:** (لب‌به‌لب کناری) **c:** (لب‌به‌لب T شکل) **d:** (روی هم) **e:** (روی هم چندگانه)

f: (روی هم T شکل) **g:** (اتصال فیلت)

تنش‌های پسماند

تنش‌های پسماند، تنش‌هایی هستند که در اثر کرنش‌های غیر یکنواخت مکانیکی و حرارتی، هم‌زمان با سیلان پلاستیک یک ماده، به‌وجود می‌آیند و پس از برداشته‌شدن مهار خارجی، در آن باقی می‌مانند. طی یک فرآیند جوشکاری، تغییرات دما، باعث ایجاد تنش‌های حرارتی ناپایدار و کرنش‌های الاستیک غیریکسان و پراکنده در جوش و ناحیه‌ی نزدیک به آن می‌شود که این امر، باعث ایجاد اعوجاج (Distortion) و تنش‌های پسماند می‌شود. این تنش‌ها به‌طور طبیعی، الاستیک هستند و در یک جسم بدون اعمال نیروی خارجی در حالت تعادل، وجود دارند؛ یعنی برآیند نیروهای داخلی در هر نقطه از ماده، صفر خواهد بود. عوامل مؤثر بر تنش‌های پسماند نیز، عبارتند از: **1- ویژگی‌های ماده** **2- نوع فرآیندهای جوشکاری** **3- تعداد پاس‌های جوشکاری.**

مزایای جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

مزایای متالورژیکی:

- فرآیند حالت جامد
- اعوجاج کم قطعه‌کار
- پایداری ابعادی مناسب
- از دست‌رفتن عناصر آلیاژی
- خواص متالورژیکی بسیار خوب در اطراف اتصال
- ریزساختار مناسب
- عدم وجود ترک
- جایگزینی اتصال‌های چندگانه با بست‌ها.

مزایای زیست محیطی:

- عدم نیاز به گاز محافظ
- عدم نیاز به تمیزکاری سطحی
- حذف تلفات سایشی
- حذف حلال ها
- حفظ مواد مصرفی مثل سیم، گاز و غیره.

مزایای انرژی:

- امکان استفاده از مواد بهتر که باعث کاهش وزن می شود
- فقط 2/5 درصد انرژی مورد نیاز یک جوش لیزر را نیاز دارد
- در کاربردهای کشتی سازی و هواپیما سازی، سوخت کمتری مصرف می شود.

معایب:

- محدودیت ضخامت
- نیاز به تغییر شکل زیاد
- اغلب نسبت به روش های ذوبی نرخ پیشروی کمتری دارد
- انعطاف پذیری کمتری نسبت به روش قوس الکتریکی دارد
- به وجود آمدن حفره در انتهای جوش

جوشکاری اصطکاکی hydro pillar

این روش جوشکاری اصطکاکی فرآیند نسبتاً جدیدی است که به وسیله انستیتو جوشکاری انگلستان ابداع شده است از این فرآیند برای جوشهای سر به سر و روی هم عمیق و تک پاس و یا برای تعمیر ترک های ایجاد شده در یک قطعه استفاده می شود. در این فرآیند دو قطعه را مثلاً به شکل سربه سر کنار هم قرار می دهند و با مته سوراخی در جهت ضخامت ایجاد می کنند به طوری که نیمی از سوراخ در یک قطعه و نیم دیگر در قطعه دیگر باشد. سپس میله مصرفی که فقط اندکی از قطر سوراخ کوچکتر است را درون سوراخ قرار داده و آن را دوران می دهند و همزمان رو به پایین نیز به آن اعمال می شود. در اثر اصطکاک ایجادشده، میله از ته سوراخ رسوب داده شده و به بالا می آید. اگر بخواهند جوشکاری را در یک مسیر انجام دهند سوراخ بعدی را طوری ایجاد می کنند که با سوراخ اول اندکی هم پوشانی داشته باشد و به این ترتیب یک طول مسیر را جوشکاری می کنند. واضح است که از این روش به سادگی می توان برای تعمیر ترک های ایجاد شده در قطعات استفاده نمود.

جوشکاری اصطکاکی غوطه وری

این روش در واقع فرو رفتن یک ماده نسبتاً سخت در یک ماده نسبتاً نرم و متصل شدن آنها بهم می باشد. این روش در TWI ابداع شده و در کاربردهای ساختمانی مورد استفاده قرار می گیرد. در اثر دوران ماده سخت تر، ماده نرم تر گرم شده و لایه خمیری از آن تشکیل می گردد. چون ماده سخت تر قبلاً طوری شکل داده شده است که ماده نرم تر در حالت پلاستیک بتواند در فرو رفتگی های آن فرو رود پس از توقف حرکت، ماده پلاستیک اطراف آنرا می گیرد و در نتیجه هم یک قفل مکانیکی بین دو قطعه ایجاد می شود و هم یک اتصال متالژیکی برقرار می شود. قطعه سخت تر می تواند دارای لبه هایی نیز باشد که به ایجاد ناحیه پلاستیک بیشتر در ماده نرم تر کمک می کند. این روش یک قفل مکانیکی ایجاد می کند که حتی در صورتی که شکست متالژیکی نیز روی دهد این قفل مکانیکی اتصال را حفظ خواهد کرد بخصوص در دماهای بالا که احتمال تشکیل ترکیب های بین فلزی در ناحیه اتصال دو جسم غیر همجنس وجود دارد.