

جوشکاری فلزات غیر مشابه به روش اصطکاکی اغتشاشی

جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی یا (FSW) friction-stir-welding یکی از تکنیک های اتصال حالت جامد (غیر ذوبی) است که به عنوان روشی برای تشکیل اتصالات یک طرفه، دو طرفه، T و لپ، توجه بسیاری از شاغلین صنعت تولید را به خود جذب کرده است. این روش برای جوشکاری مواد مختلف، از جمله مواد اولیه ای که جوشکاری آن ها با تکیه بر روش های جوشکاری معمول تقریباً غیرممکن است نیز مناسب می باشد. آلومینیوم و آلیاژهای آن از جمله مواردی است که با روش جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی سازگار است. میتوان گفت، پس از آهن و فولاد، آلومینیوم یکی از پر مصرف ترین موادی است که با وجود نرمی آلومینیوم خالص، کاربردهای بسیاری برای آلیاژهای گوناگون آن در صنعت در نظر گرفته شده است.



تاریخچه جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی توسط وین توماس در سال ۱۹۹۱ در انگلستان کشف شد و سپس در موسسه ولدینگ توسعه یافت. گزارش های بسیاری در خصوص مزایای فنی و کاربردی این فرآیند جوشکاری ارائه شده است که نشان دهنده گستره ی قابل توجه این روش در جوشکاری مواد اولیه مختلف می باشد.

هر چند قدمت علم اصطکاک به قرن ها پیش باز می گردد، کاربرد اصطکاک گرمایی برای تشکیل اتصالات در حالت جامد تنها در قرن پیش توسعه یافته است. اصطکاک در سال ۱۵۰۰ پس از میلاد توسط داوینچی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در ۱۶۹۹ آمونتنوس به این فرضیه اشاره کرد که ضریب اصطکاک خشک رابطه ای با محیط سطح

تماس، سرعت حرکت و بار وارده ندارد. با این حال، کولومب (۱۷۷۹) نشان داد که افزایش بار موجب افزایش اصطکاک شده و اصطکاک رابطه مستقیمی با سرعت حرکت دارد.

با در نظر گرفتن تکنولوژی جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی می توان گفت ضریب اصطکاک به تنهایی مؤثر نیست، زیرا نظریه های سنتی تنها برای بارهای سبک و سطوح تغییر شکل نیافته قابل اعمال هستند. به طور کلی فرآیند تشکیل اتصالات اصطکاکی، وابستگی بیشتری به لایه سیال با حالت ناروایی (ویسکوزیته) دارد که مابین اجزای جامد تحت فشار شکل می گیرد. در زمان جوشکاری شاهد خاصیت روان وردی یا تیکسوتروپی و ویژگی های جریان سیال خواهیم بود. در اغلب موارد می توان علم اصطکاک را به رئولوژی (یا علم جریان و تغییر شکل ماده) تشبیه کرد. در زمان جوشکاری مواد مشابه با ویژگی های هندسی یکسان (حجم و سطح مقطع)، بخشی از هر ماده به لایه ای پلاستیکی یا "لایه سوم" گذرا تبدیل می شود تا دو ماده به یکدیگر متصل شوند.

فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

شکل بالا نشان دهنده ویژگی های برجسته فرآیند است که با تولید گرما میان ابزار چرخشی (ساخته شده از فلزی با سختی بیشتر از فلز مورد نظر برای جوشکاری) و ماده اولیه مورد نظر موجب نرم شدن (پلاستیکی شدن) ناحیه جوشکاری می شود. معمولاً شکل هندسی ابزار جوشکاری متشکل از یک شانه با قطر بزرگ و یک شانه با قطر کوچک تر است که مستقیماً به ناحیه جوش برخورد می کند. به منظور جلوگیری از جدا شدن مواد اولیه در زمان عبور از خط اتصال، دو قطعه در جای خود محکم می شوند و معمولاً یک حفره اولیه با قطر کمتر از دریل کاوشگر در ابتدا تعبیه می شود تا فرآیند غوطه ورسازی با سهولت بیشتر انجام شود. عمق نفوذ بر اساس طول دریل کاوشگر تعیین می شود. اصطکاک اولیه در زمان غوطه وری موجب افزایش حرارت فلز اطراف دریل می شود، لیکن حرارت نقطه تماس دریل با فلز تا حد چشم گیری افزایش می یابد. علاوه بر بهبود اتصال دو ماده اولیه، حفره تماس از خروج ماده مذاب (پلاستیک شده) از ناحیه جوش نیز جلوگیری می کند.



پس از قرار گرفتن ابزار چرخان در موقعیت مناسب، شکل ناحیه ذوب شده بر اساس هندسه کلی ابزار تغییر می کند. به طور کلی، ناحیه حرارت دیده در لایه اول نسبتاً گسترده است و به تدریج در لایه های بعدی کاهش می یابد. حرارت اصطکاکی ایجاد شده از تماس دریل به سطح منجر به پلاستیکی شدن ناحیه اطراف دریل می شود. در زمان حرکت ابزار جوشکاری بر سطح، نوعی اثر هیدرو استاتیک بر سطح قطعه ایجاد شده و مواد پلاستیکی در اطراف ابزار جریان پیدا می کنند. مواد مذاب پس از عبور دریل کاوشگر با یکدیگر ادغام شده و اتصال تشکیل می دهند.

جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی را می توان به عنوان روشی خودزا (خود به خود) در نظر گرفت که جوش های تلفیقی آن جامد هستند و هیچ یک از نقص های جوشکاری فیوژن را نشان نمی دهند. علاوه بر این، این نوع جوشکاری نیازی به مواد پرکننده ندارد و نیازی به آماده سازی لبه ها نیز نیست. در مقایسه با جوشکاری قوسی، تغییر شکل مواد اولیه در این روش بسیار اندک است.

پارامترهای جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

• طراحی ابزار

طرح ابزار یکی از عوامل بسیار مؤثر بر کیفیت قطعه نهایی است. برای دست یابی به بهترین محصول نهایی، ابزار جوشکاری باید سختی و مقاومت کافی در برابر فرسودگی داشته باشد و به راحتی دمای مورد

نیاز برای انجام فرآیند جوشکاری را تحمل کند. علاوه بر این، ابزار جوشکاری نباید حرارت زیادی را به دستگاه منتقل کند و در نتیجه، میزان آسیب وارده به دستگاه را به حداقل برساند. ابزار باید کاملاً در مقابل اکسیداسیون مقاوم باشد تا اثری از زنگ زدگی بر قطعه باقی نماند.

- **سرعت ابزار**

همان طور که می دانید، سرعت فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی از دیگر روش های جوشکاری کمتر است، زیرا ابزار استوانه در ابتدا با چرخش در محل اتصال، به حرارت مورد نیاز برای انجام عملیات جوشکاری می رسد و سپس، در مسیر اتصال حرکت کرده و حرارت را در مسیر پخش می کند. دریل کارگذاری شده در بخش استوانه ای دستگاه جوش، بین ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ بار در دقیقه می چرخد. نسبت تراورس ابزار در طول اتصال نیز بین ۱۰ تا ۵۰ میلی متر در دقیقه است.

- **شیب ابزار**

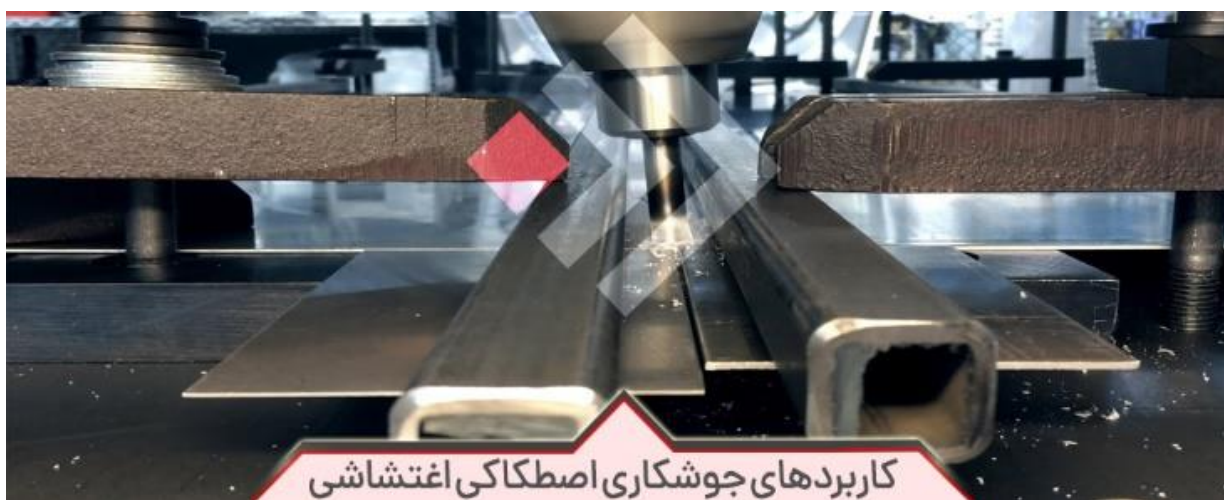
شیب ابزار نیز از جمله عوامل مهم در بالا بردن کیفیت محصول نهایی است. در این صورت، ابزار در زاویه ۲ تا ۴ درجه نسبت به قطعات مورد نظر قرار می گیرد تا از فشار مستقیم بارهای وارده به قطعات کاسته شود.

- **عمق غوطه وری (نفوذ)**

عمق غوطه وری همان عمق کلی حفره ای است که ابزار در ورق فلزی ایجاد می کند، در حالی که عمق نفوذ دریل کاوشگر تا حدی بیشتر از حفره اولیه است. تنظیم دقیق عمق غوطه وری برای افزایش کیفیت جوش بسیار ضروری است؛ زیرا در این صورت فشار عمودی مناسب تعیین شده و نفوذ کامل ابزار به داخل قطعه تضمین می شود. اگر ابزار جوشکاری در موقعیت و عمق صحیح قرار نداشته باشد، احتمال منحرف شدن دستگاه از مسیر وجود دارد. از سوی دیگر، در صورتی که عمق غوطه وری بیش از حد مورد نظر باشد، علائم برخورد ابزار به قطعه بر سطح محصول نهایی قابل مشاهده خواهند بود.

• شکل ظاهری سطح

معمولاً پس از FSW شاهد مجموعه ای از موج های نیم دایره ای بر سطح هستیم که به سمت محل اولیه جوشکاری اشاره دارند. این امواج عمدتاً سیکلوئیدی هستند و در هنگام عبور لبه بیرونی ابزار از سطح تشکیل می شوند. فاصله میان امواج بر اساس سرعت چرخشی ابزار و میزان مقاومت قطعه مورد نظر تعیین می شوند. حرکت نسبی کل بر اساس نوعی توکوئید برتر (یعنی سیکلوئیدی که در چرخش های پیایی دارای اورلپ بالا است) تعریف می شود. در شرایط بهینه، رنگ سطحی آلیاژهای آلومینیوم معمولاً سفید- نقره ای است.



کاربردهای جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

کاربرد اصلی روش FSW در صنایعی است که عمدتاً از آلومینیوم و آلیاژهای آن استفاده می کنند:

- **کشتی سازی:** در ابتدا از این روش برای جوشکاری پانل های آلومینیومی مربوط به قایق های ماهیگیری استفاده شد. امروزه از این روش برای جوشکاری پانل های فریزر آلومینیومی مورد استفاده در بدنه کشتی ها استفاده می شود. از آنجایی که این روش حداقل تغییر را در شکل مواد ایجاد می کند، پانل های آلومینیومی حتی در جوشکاری های طولانی نیز شکل خود را از دست نخواهند داد.
- **هوافضا:** برای تهیه مخازن سوخت آلومینیومی در فضاپیماها که به منظور ذخیره اکسیژن برودتی در نظر گرفته می شوند نیز از روش FSW استفاده می شود. این روش اتصال، طاق های ساختار استوانه ای مخزن

را به یکدیگر متصل می کند. علاوه بر این، از FSW برای اتصال چهارچوب های فلزی موجود در بدنه هواپیما نیز استفاده می شود؛ زیرا جوش های این روش در مقایسه با پیچ و مهره و پرچ بسیار سبک تر هستند.

- **صنایع خودروسازی:** امروزه آلومینیوم یکی از مواد اصلی صنعت خودروسازی؛ به ویژه برای ساخت شاسی خودرو، در نظر گرفته می شود. از این رو، فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی به طور گسترده در این صنعت کاربرد دارد. در مقایسه با FSW، اتصالات ایجاد شده توسط روش های جوشکاری مدرن مقاومت زیادی ندارند. زمان اندک جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی نیز یکی دیگر از مزایای این روش در جوشکاری آلومینیوم است.

از دیگر کاربردهای جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مورد استفاده در صنایع شیمیایی برای اتصال خطوط لوله، دستگاه های تهویه هوا، مبدل های حرارتی و غیره.
- کاربرد در صنایع الکترونیکی برای ایجاد اتصالات مسی و آلومینیومی و ساخت تجهیزات الکترونیکی.
- کاربرد گسترده در صنایع تولیدی مختلف

مزایای فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

یکی از مزایای اصلی جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی مربوط می شود به عدم نیاز به هر گونه مواد مصرفی یا تکنیک های محافظتی. دیگر ویژگی های این نوع جوشکاری عبارتند از:



- جوش نهایی کاملاً بدون درز و ظریف است.
- این روش قادر است آلیاژهای غیرقابل جوش، از جمله آلومینیوم ۲xxx و ۷xxx را نیز جوش دهد.
- پروسه جوشکاری کاملاً اتوماتیک است.
- هیچ نوع شار یا عامل محافظتی برای پروسه نیاز نیست.
- دمای اوج پایین از انقباض و تخلخل مواد اولیه جلوگیری می کند.
- حداقل نیاز به نگهداری و مراقبت از دستگاه ها
- سهولت عملیاتی و عدم ایجاد هر گونه آلودگی محیطی
- امکان جوشکاری مواد اولیه مشابه و همچنین نامشابه

محدودیت ها و معایب جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

برخلاف دیگر روش های جوشکاری، ابزار مورد استفاده در [جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی](#) باید به گونه ای طراحی شده باشد که بدون افزایش بیش از حد دمای مواد اولیه، قادر به انجام عملیات جوشکاری باشد. بنابراین، ابزار جوشکاری علاوه بر تحمل بار قابل توجه، نباید موجب سایش بیش از حد در قطعات شود. این محدودیت یکی از دلایلی است که معمولاً از جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی برای جوش فولاد سخت یا فلزات استفاده نمی شود. علاوه بر این، پس از اتمام پروسه، حفره کوچکی در محل جوش باقی می ماند. به طور کلی، از جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی برای جوش آلومینیوم استفاده می شود. این روش قادر است اکثر آلیاژهای آلومینیوم، حتی آلومینیوم AL-Li را جوش دهد. یکی از دلایل اصلی محدود شدن این روش به آلومینیوم آن است که معمولاً جوش های آلومینیوم در دماهای اوج پایین رخ می دهند.

از دیگر معایب این روش می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ایجاد حفره در سطح
- نیاز به چیدمان فیکسچر پیچیده و خاص
- هزینه نصب نسبتاً بالا
- انعطاف کمتر در مقایسه با فرآیند جوشکاری قوسی

- عدم امکان ایجاد اتصالات پرکننده
- سرعت کمتر در مقایسه با دیگر روش های جوشکاری
- نیاز به نیروهای پایین رونده بسیار زیاد برای ورود ابزار جوشکاری به درون قطعه مورد نظر

جمع بندی

جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ارائه دهنده روشی نوین، نسبتاً امن و مناسب برای ایجاد اتصالات جامد در مواد اولیه مختلف با ضخامت های گوناگون است. این روش قادر به ایجاد اتصالات طولی مستحکم، به ویژه در انتهای قطعات است. فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی در بسیاری از صنایع تجاری کاربرد دارد و شواهد دال بر توانایی این روش برای جوشکاری آلیاژهای مختلف آلومینیوم هستند.