

به نام خدا

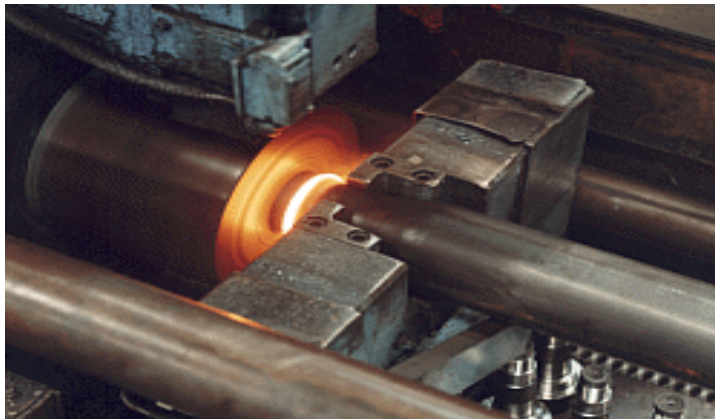


# مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



## جوشکاری اصطکاکی- اغتشاشی (FSW)



ایده اصلی جوشکاری اصطکاکی بسیار ساده می باشد. یک وسیله دوآر مصرف نشدنی (یک پین ویژه همراه با دندانه) را در نظر بگیرید. دو فلزی را که می خواهند جوش بدهند در کنار هم محکم قرار می دهند و پین وارد خط اتصال این دو فلز می شود و همراه با چرخش ، طول خط اتصال را طی می کند. پین دو عمل اصلی را انجام می دهد:

- گرم کردن قطعه توسط اصطکاک

- حرکت دادن مواد به منظور اتصال

گرما به کمک اصطکاک بین پین و قطعه کار و تغییر فرم پلاستیک قطعه به دست می آید. حرارت متمرکز شده باعث نرم شدن مواد اطراف پین و به همراه حرکت دوار پین، باعث حرکت مواد از جلوی پین به عقب پین می گردد و بر اثر این پروسه اتصال در حالت جامد اتفاق می افتد به علت ساختار هندسی پین ، موادی که در اطراف پین حرکت می کنند به خوبی با یکدیگر ترکیب می شوند . در جوشکاری FSW مواد در گرمای بالا تغییر شکل زیادی می دهند و ساختار نهایی ، دانه های کریستالی هم محور و خوبی دارد و همچنین دارای خواص مکانیکی مطلوبی است.

این نوع جوشکاری در زمرة پروسه های جوش حالت جامد می باشد روش های جوشکاری حالت جامد که بیشتر متداول هستند عبارتند از:

جوشکاری اصطکاکی Friction welding

جوشکاری فشاری Pressure welding

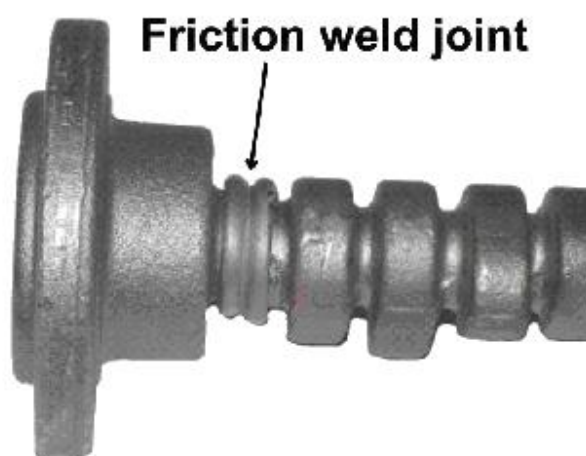
جوشکاری آهنگری یا پتکه ای Forge welding

جوشکاری با امواج صوتی Ultrasonic welding

در جوش های حالت جامد برخلاف فرآیندهای حالت ذوبی که محل اتصال در نتیجه ذوب موضعی دو قطعه و تداخل آنها و عمل انجماد انجام می شد، اتصال بدون تشکیل مذاب انجام می شود. ولی ممکن است فیلمی از فلز مذاب در يك مرحله میانی

از عملیات بین سطوح اتصال ایجاد گردد اگرچه فلز مذاب معمولاً به طور کامل از جوش جدا می شود، ولی در حضور کوتاه خود نقش مفیدی را در انجام جوش ایفا می کند.

به طور کلی جوشکاری اصطکاکی بر اساس تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی گرمایی استوار است که دو قسمت مورد اتصال را به هم نزدیک کرده و با ایجاد حرکت دورانی سریع یکی از آنها بر روی دیگری و مالش و اصطکاک دو قطعه، گرمای زیادی تولید شده و موجب حالت پلاستیسیته در لبه های اتصال می شود با فشار اعمال شده نهایی قطعات در هم فرو می روند و اتصال ایجاد می شود.



### مکانیزم اتصال :

می دانیم که سطوح در مقیاس میکروسکوپی دارای برآمدگی ها و فرورفتگی هایی هستند و علاوه بر آن لایه اکسیدی نازک و یا ناخالصی های دیگر بر روی سطح پوشیده شده است . هرگاه سطوح به طور کامل در کنار هم قرار نگیرند نیروی چسبندگی بین مولکولی بین آنها برقرار نشده و در نتیجه اتصال انجام نمی گیرد هدف اصلی در جوشکاری اصطکاکی برطرف نمودن این ناهمواری ها و ناخالصی ها و اعمال فشار برای اتصال دو سطح است.

هنگامی که دو سطح با فشار معین بر روی هم مالیده می شوند نقاط بلند بهم برخورد کرده و از بین می روند، همزمان لایه اکسیدی برداشته شده و دو سطح فلز در تماس با یکدیگر قرار می گیرند و بدین ترتیب یک باند یا چسبندگی موقت (Seizures) به وجود می آید با ادامه حرکت ، این چسبندگی بریده شده و یک باند تازه تر به وجود می آید بدین ترتیب انرژی مکانیکی به حرارتی تبدیل شده و به تدریج درجه حرارت سطح افزایش می یابد. بنابراین استحکام فشاری کاهش یافته و تغییر فرم پذیری راحت تر انجام می گیرد، نقاط برآمده به سرعت محو شده و سطوح در حالت چسبندگی کامل قرار می گیرند با فرض این که نرخ حرارت تولیدی بیشتر از حرارت فروکشی باشد درجه حرارت بالاتر رفته و حالت پلاستیکی نیز بیشتر می شود تا جایی که استحکام فشاری قادر به تحمل نیروی فشاری نیست و سطح زیر فشار گسترده تر شده و لبه ها در هم فرو می روند و حتی کمی به بیرون بر می گردند.

به خاطر حرکت چرخشی دسته کم یکی از دو قطعه در محل اتصال می بایست سطح مقطع دایره ای داشته باشد 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. FRW برای قطعاتی که بتوان آنها را از نظر اندازه و شکل با ماشین جوش اصطکاکی تطبیق داد پروسه ای جالب می باشد زیرا هیچ ماده filler یا پر کننده لازم ندارد و مثلاً برای جوشکاری فولاد کربنی ساده و آلیاژی حفاظت با گاز لازم نمی باشد. جوش بدست آمده از این روش کیفیت بالایی دارد و برای تولیدات انبوه مقرون به صرفه است.

با پیشرفت های انجام شده می توان جوشکاری اصطکاکی را به جای چرخش با حرکت انجام داد که باعث گسترش این پروسه و تطبیق قطعات متنوع با این پروسه شده است.

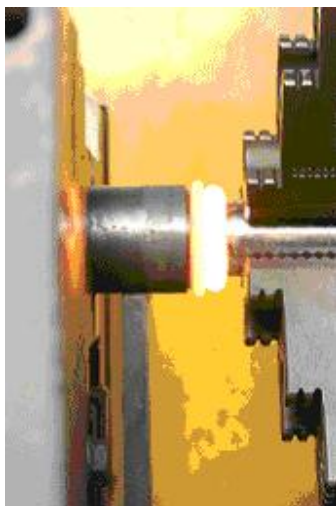
برای تولید يك جوش قابل قبول پارامترهای عملیاتی از قبیل نیروی اعمالی، سرعت چرخش و زمان می تواند در رنج گسترده ای تغییر کند نیروی اعمالی باید به مقدار کافی بزرگ باشد تا سطوح را در تماس با یکدیگر نگه دارد زمان عملیات هم باید به گونه ای باشد که اکسیداسیون سطوح به حداقل برسد. نیروی ناکافی حرارت کمتری ایجاد می کند که منجر به عدم اتصال مناسب سطوح می گردد از طرف دیگر نیروی بیش از اندازه حرارت زیادی تولید می کند که منجر به ذوب شدن دو فلز می شود. به عنوان مثال برای جوشکاری فولاد نیرو در محدوده 30-60 MPa و سرعت زاویه ای حداقل 90 m/min می باشد. زمان گرمادهی برای قطعات كوچك از 5 تا 10 ثانیه می باشد. زمان باید به اندازه کافی باشد تا اجازه رسانش گرمایی به بخش های مرکزی سطوح که دارای حرکت نسبی کمتری برای تولید حرارت می باشند را بدهد از طرف دیگر افزایش زمان گرمادهی منجر به افزایش سطح مقطع اتصال و گسترش منطقه HAZ در دو طرف جوش به طور غیرعادی می شود.

## مزایای جوشکاری FSW

FSW به عنوان مهم ترین پیشرفت در اتصال فلزات در دهه ی اخیر مطرح بوده است و تکنولوژی "سبز" است که بازده انرژی بالا دارد و در مقام مقایسه با سایر روش های جوشکاری متداول ، FSW انرژی بسیار کمتری مصرف می کند و هیچ گاز محافظ یا سرباره ای استفاده نمی شود به همین علت دوست محیط زیست نامیده می شود و اتصال شامل هیچگونه فلز پر کننده ای نمی باشد و همچنین هر نوع آلومینیومی بدون دلوپسی از سازش پذیری ساختارش می توان به کار برد و هر نوع آلومینیومی و کامپوزیتی می توانند به یکدیگر با سهولت وصل شوند و در مقایسه با روش جوش کاری اصطکاکی قدیمی ، که معمولاً بر روی قطعات قرینه و كوچك که می چرخیدند و فشار داده می شدند تا جوش بخورند ، جوش کاری اصطکاکی فعلی در انواع مختلف اتصالات مانند اتصال زیر ، اتصال لب به لب ، اتصال T و اتصالات فیلت به کار می رود.

اخیرا به وسیله Mishra روش (FSP) Friction Stir Process ابداع شده است به عنوان وسیله ای که ساختار میکروسکوپی را اصلاح می کند و بر پایه قوانین FSW بنا شده است برای مثال میزان ابر پلاستیکی در نرخ تنش های بالا در AL7075 مشاهده شده است ، علاوه بر این از FSP برای تولید سطح کامپوزیتی روی آلومینیوم و هموژن کردن پودرهای آلومینیوم و اصلاح ساختار کامپوزیتهای فلزی و بهبود خواص در آلیاژهای ریخته گری کاربرد دارد

به طور خلاصه آزمایشها و محدودیت های جوشکاری اصطکاکی میتوان به موارد زیر اشاره کرد



مزایا :

عدم نیاز به فلاکس ( روانساز ) ، ماده پر کننده و گاز محافظ  
مصرف انرژی الکتریکی کمتر و به طور کلی انرژی مورد نیاز  
عملیات جوشکاری نسبتا تمیز و بدون قوس الکتریکی ، دود و گاز  
منطقه Haz باریک و دارای دانه های ریز تر حتی نسبت به فلز اصلی  
محدودیت ها :

یکی از قطعات باید گرد باشد . همچنین باید دارای شکل و طرحی باشد که بتوان آن را روی دستگاه بسته و به گردش درآورد. البته این محدودیت با طراحی های جدید بر طرف شده است ولی هزینه های مصرفی نسبتا بالاست. اکثر مواد و فلزات را میتوان با این روش جوشکاری نمود و تقریبا هیچ محدودیتی نداریم.

## پارامتر های جوشکاری

در جوشکاری FSW چهار پارامتر بسیار مهم وجود دارد:

۱- سرعت چرخش پین ( $w$ , rpm) ساعت گرد و یا غیر ساعت گرد بدون آن .

۲- سرعتی که پین خط اتصال را طی می کند (v, mm/min) .

۳- زاویه انحراف ابزار از خط عمود بر سطح قطعه کار (angle tilt)

۴- نیروی عمودی وارد بر ابزار توسط کلگی دستگاه (N)

حرکت گردش پین موجب به جنبش درآمدن و مخلوط شدن مواد به دور پین می شود و این کار باعث حرکت مواد از جلوی پین به عقب پین می شود. سرعت چرخش بالاتر پین موجب تولید دمای بالاتر می شود زیرا همان گونه که قبلاً گفته شد موجب گرمای اصطکاکی بیشتر و مخلوط شدن و جنبش شدیدتر مواد می شود و در نتیجه گرمای بیشتری تولید می کند هر چند گرمای تولیدی توسط میزان جفت شدن سطح ابزار (Shoulder) با قطعه کار کنترل می شود.

بنابراین، با افزایش سرعت چرخش پین نبایستی انتظار داشت که گرمای تولیدی نیز به طور یکنواخت افزایش یابد با وجود این که ضریب اصطکاک در سطح با افزایش سرعت چرخش پین تغییر می کند علاوه بر سرعت چرخش پین و سرعت انتقال آن بر روی قطعه، زاویه بین پین و قطعه نیز دارای اهمیت می باشد. یک خمش (زاویه) مناسب بین پین و قطعه کار در حین پیمودن مرز جوشکاری موجب می شود که مطمئن شویم Shoulder مواد حرکت داده شده را می پوشاند (مانع از انتشار حرارت می شود) به کمک دندانهای پین و حرکت موثر مواد از جلوی پین به پشت پین.

و همچنین عمق نفوذ پین درون قطعه کار (که اصطلاحاً depth target گفته می شود) برای بدست آوردن جوشی بی نقص با سطح Shoulder صیقلی، پارامتری حائز اهمیت است. عمق نفوذ توسط طول پین تعیین می گردد. هنگامی که عمق نفوذ بسیار کم باشد و Shoulder با سطح در تماس نباشد. بنابراین، بر اثر چرخش، مواد به صورت موثر نمی توانند از جلوی پین به عقب پین حرکت کنند در نتیجه جوش با کانالهای داخلی و یا سطحی شیار دار حاصل می شود و هنگامی که عمق نفوذ بسیار زیاد باشد. موجب فرورفتن Shoulder درون قطعه کار و ایجاد flash (گرمایی یا جرقه زدن) بیش از حد می شود و در این مورد، یک جوش کاملاً مقعر بدست می آید که موجب نازکی موضعی ورق های جوش داده می شود و بایستی اشاره کرد که به لطف پیشرفت در طراحی Shoulder، Shoulder های ساخته شده که همواره زاویه خمش آنها با سطح صفر می باشد [همواره عمود بر سطح هستند] که این Shoulder ها در جوشکاری سطوح منحنی شکل کاربرد دارند.

پیش گرم کردن و یا سرد کردن می تواند برای بعضی از جوش کاری های FSW مهم باشد.

برای موادی با دمای ذوب بالا مانند فولاد و تیتانیوم یا مواد با ضریب رسانایی حرارتی بالا مانند مس، گرمای تولید شده به کمک اصطکاک و جنبش برای بدست آوردن موادی نرم و پلاستیکی شده در اطراف پین کافی نمی باشد. و در این صورت بدست آوردن جوش بی نقص بسیار مشکل است. در این مواد پیش گرم کردن و یا استفاده از منبع گرمایی خارجی به material flow و افزایش process window [قابلیت جوش کاری فلزات] کمک می کند و در طرف دیگر، موادی با

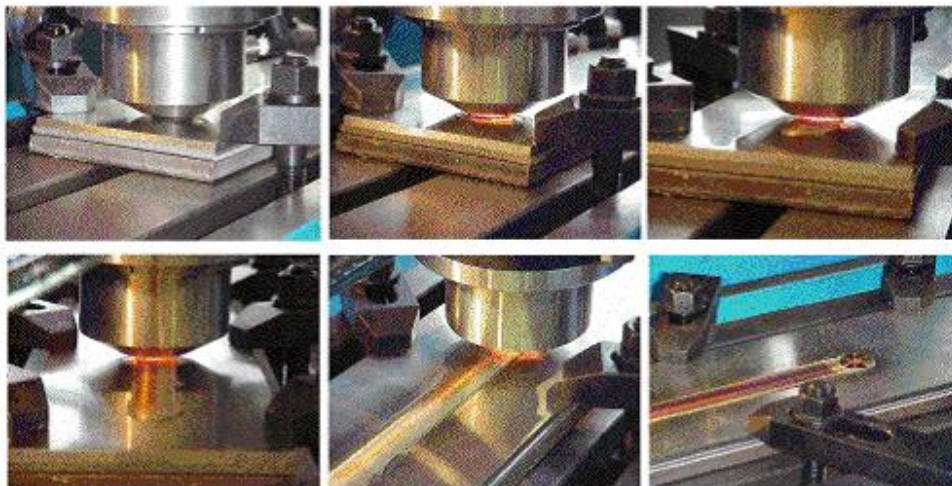
دمای ذوب پایین مانند آلومینیوم و منگنز هستند که سرد کردن آنها موجب کاهش رشد دانه ها و انحلال تنش های پس ماند می شود.

## پیشرفتهای جوشکاری FWS

امروزه باتوجه استفاده گسترده از این روش جوشکاری در دنیا پیشرفتهای گسترده ای در آن به وقوع پیوسته است از جمله استفاده از سیستمهای رباتیک برای انجام این نوع جوشکاری که سرعت انجام این نوع جوشکاری را بالا برده است. کاربرد جدید دیگر از این نوع جوشکاری در صنایع خودرو سازی است که امروزه از این نوع جوشکاری در این صنایع استفاده گسترده می شود .

### پوشش کاری بوسیله جوشکاری اصطکاکی:

پوشش کاری بوسیله جوشکاری اصطکاکی هم اکنون تحت مطالعات زیادی قرار دارد زیرا به قلمرو فلزات، آلیاژها و همچنین کامپوزیت ها قدم گذاشته است و يك لایه کاملاً مجزا از پوشش را روی ماده زیری اعمال می کند یکی از امتیازات و مزیت های این روش نسبت به سایر روش های پوشش کاری این است که محلول پس زده شده و فلز مذاب پایه ندارد. پوشش دهی اصطکاکی از مشکل ناشی از ذوب ماده مصرف شدنی در هوا به وسیله مکانیزم پیچیده انجماد رسوب به همراه هیدروژن بدست آمده و ترك های سرد و شرایط نامطلوب سطحی همراه با دانه های حاصل از جوشکاری (beads) جلوگیری می کند در پوشش کاری اصطکاکی از يك ماده مصرف شدنی دوار که می توان يك شمش جامد فلزی با سطح مقطع گرد و با يك تیوپ فلزی پر شده از يك ماده انتخابی استفاده می شود انتهای آزاد ماده مصرف شدنی با اعمال يك فشار بر روی سطح زیر لایه (سطح قطعه کار) آورده می شود و به دلیل این که ماده مصرفی دوار دارای مقاطع کوچکتر است دمای آن سریع تر بالا می رود بدین سان قطعه کار با يك حوزه گرمایی و يك منطقه HAZ مینیمم روبرو می شود هنگامی که انتهای گرم ماده مصرف شدنی در حال چرخش، پلاستیسیته می شود ماده مصرف شدنی زیر يك فشار به سطح فلز پایه جوش می خورد. شکل ۶ ضرورت تکنیک پوشش کاری اعمالی و يك ماشین در حال کار را نشان می دهد. راهنمای عملیات و پارامترهای مورد نیاز پروسه استخراج و فهرست شده اند ماده مصرف شدنی در شکل 6 يك شمش با سطح مقطع گرد با قطر ۲۵ mm است که يك لایه با ضخامت حدودی ۲ میلی متر با نرخ تقریبی 4.5 گرم بر ساعت با سرعت دوران 975 rpm در زیر فشار عمودی ۲۸ کیلو نیوتن با سرعت سیر 4.9 میلی متر بر ثانیه نشان می دهد سرعت دوران های بالاتر منجر به لایه رسوب نازکتر می شود و کیفیت جوش در فصل مشترك با قطعه بهبود می یابد نیروی محوری کمتر ضخامت لایه رسوب را افزایش می دهد اما پهنای باند موثر را کاهش می دهد.



Created by Hitachi for University of Cambridge Use Only