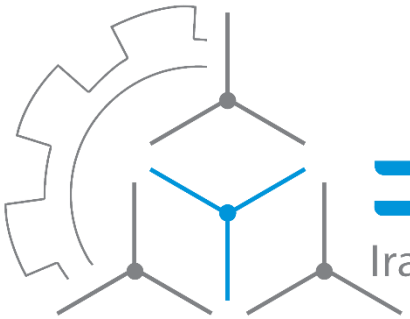


ایران مواد

Iran-mavad.com

@iranmavad

شبکه آزمایشگاهی ایران مواد

FESEM , SEM , TEM ,XRD

XRF, SPS, TGA, DTA, DSC, FTIR, BET

www.IMlabsnet.ir

مرکز آموزش تخصصی ایران مواد

Iran Mavad Education Professional Center

آموزش های تخصصی و نرم افزاری مهندسی مواد و متالورژی

www.IMpec.ir

گروه فنی پژوهش ایران مواد

ویراستاری، ترجمه تخصصی مقالات و کتب مهندسی مواد

مشاوره پژوهشی تا چاپ مقاله **ISI**

www.IMpaper.ir

۱-۲-۵- فرایند جوشکاری انفجاری

این فرایند یک فرایند جوشکاری حالت جامد است که از نیروی انفجاری برای ایجاد یک پیوند متالورژیکی بین دو قطعه متصل شونده استفاده می‌کند . اگر چه انفجار مواد منفجره گرمای زیادی تولید می‌کند، ولی زمان کافی برای انتقال حرارت وجود ندارد بنابراین افزایش قابل توجهی در دمای قطعات صورت نمی‌گیرد . در این فرایند یک ضربه مایل با سرعت بسیار بالا به فصل مشترک دو قطعه اعمال می‌شود که موجب می‌شود فلز جامد مشابه به یک سیال عمل کند . در اثر این ضربه حتی قشر سطحی قطعات نیز به صورت یک جت سیال به بیرون می‌جهد و سطوح تمیز شده دو فلز در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند . سطوح عاری از اکسید در هم فشرده شده و عمل اتصال صورت می‌گیرد.

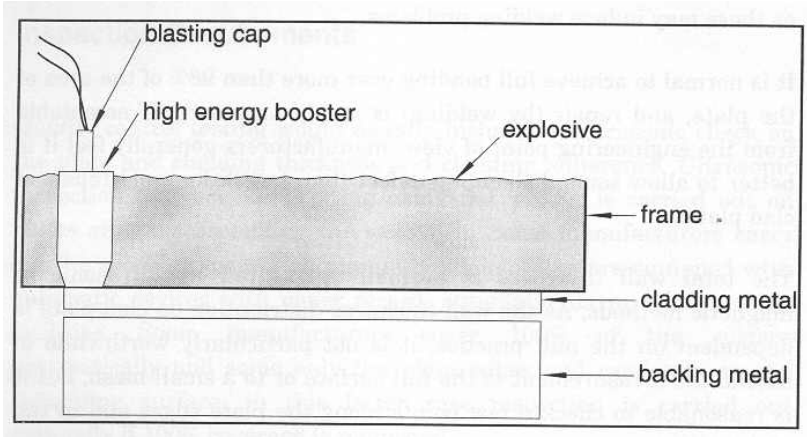
الف- مکانیزم فرایند

شکل ۱-۱۱ نحوه قرار گرفتن قطعات و مواد منفجره را نشان می‌دهد. در این فرایند صفحه بالایی موسوم به صفحهٔ پرنده تحت یک زاویه α نسبت به صفحه زیرین موسوم به صفحه ساکن قرار می‌گیرد صفحه ساکن بر روی تکیه‌گاه مناسبی که می‌تواند فلزی یاشنی باشد، قرار می‌گیرد . سطح خارجی صفحه پرنده به وسیله یک لایه ضربه‌گیر محافظت می‌گردد . این لایه ممکن است از جنس لاستیک پولیتن ، مقوا و یا حتی یک قشر ضخیم رنگ پلاستیکی باشد . یکی لایه از ماده منفجره به صورت ورقه یا پودر بر روی قشر ضربه‌گیر قرار می‌گیرد و چاشنی در انتهای پایینی ماده منفجره عمل می‌کند . سرعت صفحه پرنده (v_P) به نوع و تعداد ماده منفجره بستگی خواهد داشت.

فرایند جوشکاری انفجاری را می‌توان دو مرحله‌ای فرض نمود . در مرحله اول تشکیل جت و در نتیجه دفع لایه های سطحی رخ می‌دهد و در مرحله دوم اعمال فشار فوق‌العاده بالا صورت می گیرد که باعث تماس و تداخل قطعات در فصل مشترک می شود . گاهی اوقات ممکن است در فصل مشترک پس از اتصال، موجهایی مشاهده شود. مکانیزم تنشهای موجی را می توان عامل اصلی این پدیده قلمداد کرد . بر اساس این نظریه یک تک موج فشاری در نقطه تصادم دو صفحهٔ برخورد می کند موجهای انعکاسی را در دو صفحه پرنده و ساکن ایجاد می‌کند . این موجهای

www.iran-mavad.com
ایران مواد

انعکاسی تنشهای متناوب پی‌درپی به نقاط جلو و عقب نقطه تصادم اعمال می‌کنـد کـه باعث بروز ناپایداری سطحی می‌شود . اگر شدت این تنشها به اندازه کافی بـالا باشـد یک تغییر شکل سطحی رخ خواهد داد و تصادم دو صفحه در منطقه کوچکی که تغییـر شکل یافته به وقوع خواهد پیوست.



شکل ۱ـ۱۱- نحوه قرارگیری اجزای مختلف سیستم جوشکاری انفجاری

گاهی اوقات به منظور بهبود خـواص اتصـال از یـک لایـه واسـطه در فصـل مشترک استفاده می‌شود . به عنوان مثال از یک لایه تیتانیمی در فصل مشترک اتصال آلومینیوم به مس به منظور افزایش دمای کاربری و از لایه نقره در اتصال فولاد زنگ نزن به آلومینیوم برای اطمینان از ضد نشت بودن اتصال استفاده می‌شود. جـدول ۱-۱ قابلیت فرایند جوشکاری انفجاری را در اتصال مواد غیر همجنس نشان می دهد.

ب- ویژگیهای فرایند

با توجه به اینکه فرایند در حالت جامد انجام می گیرد و دمای اتصال نیز بسیار پـایین است ، می‌توان خواصی را در جوش ایجاد کرد که به کمک سایر روشهای جوشکاری امکان‌پذیر نیست. مهمترین نقاط قوت این فرایند عبارتست از:

۱ـ قطعات در حالت کار شده باقی می‌مانند و ساختار ریختگی یا آنیـل در آنـها ایجـاد نمی‌شود .

جدول ۱-۱- ترکیبهای دو فلزی رایجی که به روش جوشکاری انفجاری تولید می شوند

www.iran-mavad.com
ایران مواد

	Al Alloys	Ni & Alloys	Ni & Alloys	Cu & Alloys	Stainless Steel	Low Carbon Steel
Al Alloys						
Niobium						
Titanium						
Tantalum						
Molybdenum						
Zirconium						
Fe-Ni Alloy						
Ni & Alloys						
Cu & Alloys						
Stainless Steel						

۲ـ تغییرات قابل توجهی در خواص مکانیکی و ساختار قطعات در قبل و بعد از جوشکاری مشاهده نمی‌شود .

۳ـ منطقه متأثر از حرارت جوش وجود ندارد .

٤ـ نفوذ عناصر شیمیایی و ذرات در فصول شمترک اتصال و یا در خود قطعات ناچیز است .

٥ـ امکان جوشکاری قطعات پهن و بزرگ به یکدیگر در زمانهای بسیار کوتاه امکان‌پذیر است .

٦ـ امکان اتصال قطعات غیر همجنس با خواص فیزیکی و مکانیکی بسیار مختلف به یکدیگر وجود دارد .

مهمترین محدودیتهای این فرایند را نیز می‌توان اینگونه برشمرد :

۱ـ تهیه مواد انفجاری در همه کشورها به راحتی امکان‌پذیر نیست .

۲ـ نیاز به فضای باز بزرگ یا راکتورهای خاص دارد

۳ـ کار با مواد منفجره با خطراتی همراه است .

٤ـ در صورت بروز اشتباه در محاسبات معمولاً امکان شکافتن اتصال و استفاده مجدد از قطعات وجود ندارد.

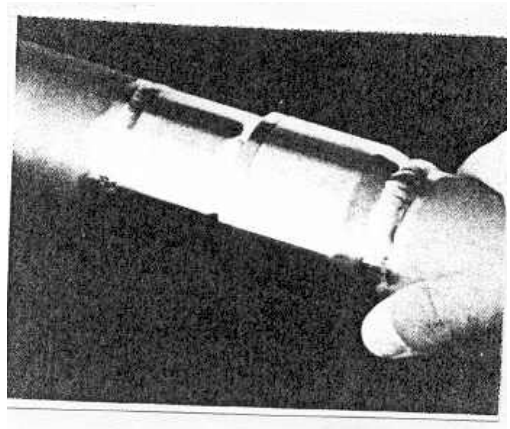
۵ـ این فرایند بیشتر برای قطعات استوانه‌ای دارای محور تقارن و ورقها قابل استفاده است .

پ- کاربردهای فرایند

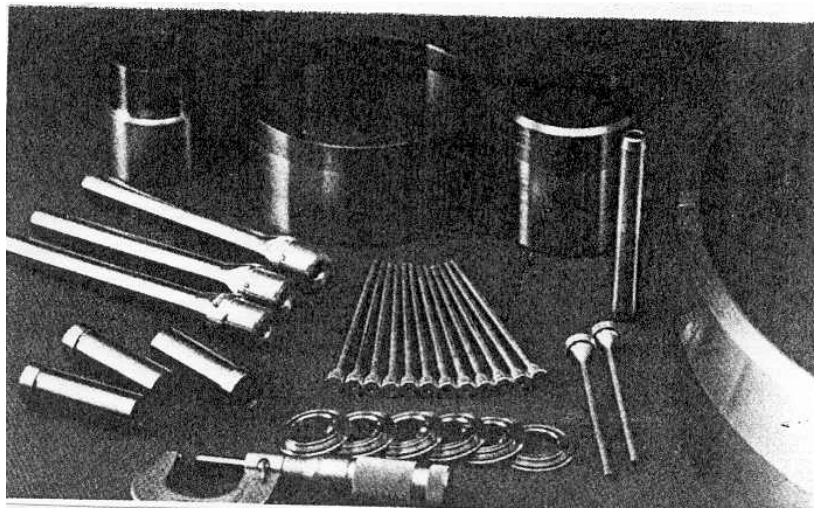
این فرایند روشی مفید در اتصال مواد همجنس و غیر همجنس محسوب می‌شود . تنها شرط انجام فرایند داشتن انعطاف پذیری و چقرمگی قابل قبول می‌باشد تا قطعات در حین جوشکاری نشکنند یا تغییر شکل قابل توجهی ندهند. حداقل انعطاف‌پذیری مورد نیاز ۱۰ درصد و حداقل انرژی شکست مورد نیاز ۳۰ ژول ذکر شده است . از نظر ابعادی نیز این فرایند محدوده وسیعی را تحت پوشش قرار می‌دهد. از این فرایند هم جوشکاری قطعات نازک به ضخامت ۰/۵ میلی‌متر که در صنایع الکترونیک کاربرد دارد و هم در جوشکاری قطعات ضخیم نظیر جوشکاری ورقهایی به ابعاد ۱۳*۵ متر و ضخامت ۱۰۰- ۰/۰۲۵ میلی‌متر بر روی ورقهایی به ضخامت ۱۰۰۰- ۰/۰۲۵ میلی‌متر استفاده می شود.

یکی از مهمترین قطعاتی که با این روش ساخته می‌شوند ورقها و لوله‌های دو لایه می‌باشند . این ورقها و لوله‌ها کاربرد وسیعی در تجهیزات نیروگاهی ، پالایشگاهی و صنایع شیمیایی دارند . شکل‌های ۱-۱۳ و ۱-۱٤ نمونه‌ای از آنها را نشان می‌دهد . از جمله کاربردهای جالب توجه دیگر این فرایند ساخت قطعات دو جنسی واسطه می‌باشد . این واسطه‌ها خود برای اتصال قطعات غیر همجنس مورد استفاده قرار می‌گیرند . به این شکل که یک سر آن به یک قطعه و سر دیگر آن به قطعه دیگر جوشکاری می‌شود . اگر اتصال دو قطعه غیرهمجنس به خاطر شکل خاص آنها یا محدودیتهای دیگر به روش‌های معمولی امکان‌پذیر نباشد، دو قطعه از همان مواد با شکل مناسب را که قابلیت جوشکاری انفجاری داشته باشند را با این روش به هم متصل می‌کنند و سپس این دوفلزی برای اتصال قطعات اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به این شکل که یک سر آن به یک قطعه و سر دیگر به قطعه دوم جوشکاری می‌شود . مهمترین این دوفلزی ها ، کوپل‌های آلومینیوم/فولاد، آلومینیوم/تیتانیم و آلومینیوم/آلیاژ مس ـ نیکل برای صنایع کشتی سازی، آلومینیوم/ مس، آلومینیوم/ فولاد برای تجهیزات الکترونیکی و صنایع حمل و نقل، آلومینیوم/ فولاد زنگ نزن برای لوله‌های دمای پایین و تیتانیم/ فولاد زنگ نزن برای صنایع هوا فضا می‌باشد. شکل

۱-۲۹ نیز تجهیزات تولید این لوله‌ها به روش انفجاری را نشان می‌دهد . گاهی اوقات برای اینکه اتصال این لوله‌ها به یکدیگر راحت‌تر انجام گیرد در دو انتهای لوله لایه‌ها به هم جوشکاری می‌شوند.

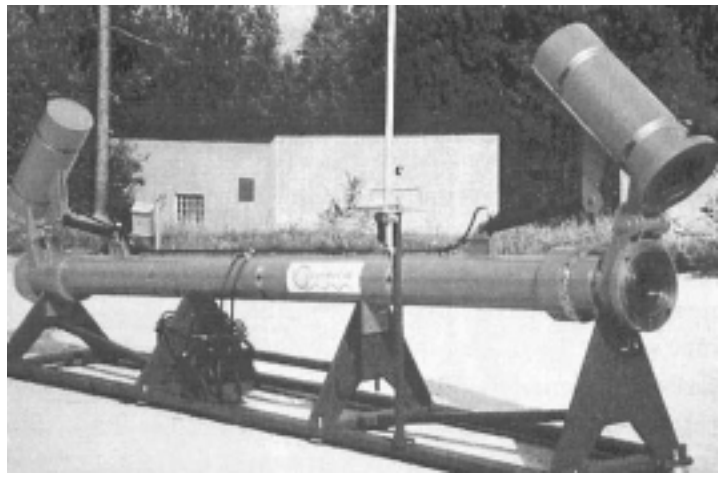


شکل ۱-۱۳- لوله واسطه دوفلزی آلومینیوم/فولاد زنگ نزن ساخته شده به روش جوشکاری انفجاری



شکل ۱-۱٤- لوله واسطه دوفلزی آلومینیوم، تیتانیم و زیرکونیم با فولاد زنگ نزن ساخته شده به روش جوشکاری انفجاری

www.iran-mavad.com
ایران مواد



شکل ۱-۲۹- تجهیزات متحرک تولید لوله‌های دو جداره به روش انفجاری

۱-۲-٦- فرایند جوشکاری غلتکی

در این فرایند دو یا چند ورق در کنار هم قرار می‌گیرند و از بین غلتکها عبور می‌کنند تا پس از انجام تغییر شکل کافی ، یک جوش حالت جامد ایجاد شود . این فرایند به دو شکل انجام می‌گیرد. در نوع اول قطعات به شکل معمولی در کنار هم قرار می‌گیرند و از بین غلتکها عبور داده می‌شوند. در نوع دوم قطعاتی که باید نورد و شوند در داخل یک بسته قرار گرفته و آب بندی می‌شوند و سپس کل بسته تحت فرایند نورد قرار می گیرد.

روش اول معمولاً در جوشکاری سرد فلزات انعطاف‌پذیر به کار گرفته می‌شود . گاهی اوقات قطعات قبل از نورد شدن به هم خال جوش می‌شوند تا تنظیم آنها در هنگام نورد بهم نخورد. باید توجه داشت که در این فرایند ، تغییر شکل در اولین مرحله نورد باید از مقدار بحرانی مورد نیاز برای جوشکاری (حدود ٦٠ درصد برای جوشکاری غلتکی سرد) بیشتر باشد تا بتواند از قطعات را در کنار یکدیگر نگه دارد . اگر بتوان فلزات متصل شونده را قبل از این مرحله نورد، پیش گرم کرد بدون اینکه مشکل اکسیداسیون مطرح شود مقدار تغییر شکل بحرانی مورد نیاز به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

در جوشکاری غلتکی قطعات در داخل بسته، هزینه‌ها به مراتب بیشتر از روش معمولی است ولی به کمک این روش امکان جوشکاری قطعات تحت یک اتمسفر

www.iran-mavad.com
ایران مواد

محافظ وجود دارد . این مسأله در جوشکاری فلزاتی نظیر تیتانیم ، زیرکونیم ، نایوبیم و تانتالم بسیار حائز اهمیت است . همچنین به کمک این روش امکان اتصال قطعات پیچیده و چند لایه نیز وجود دارد . محدودیت مهم این روش این است که اگر طول بسته از چند فوت تجاوز کند انجام عملیات بسیار مشکل می‌شود .

رایج‌ترین کاربرد این روش ساخت تسمه‌های دو فلزی است که در ساخت ترموستاتها به کار می‌روند . این ترموستاتها در حال حاضر در ساخت انواع کوره‌ها ، تلویزیونهای رنگی ، اتومبیل‌ها و کنترلرهای صنعتی متعدد به کار می‌روند . یک کاربرد اساسی برای روکش‌دهی تولید سکه در آمریکا در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ بود. مواد ساخت سکه باید به گونه‌ای باشند که توسط عموم قابل قبول باشند و در کار دستگاه‌های خودکار فروش اجناس نیز اخلال ایجاد نکند . مس روکش داده شده با آلیاژ مس نیکل خواص مطلوب مورد نیاز برای ساخت سکه را دارا می‌باشد . استفاده از روش روکش دهی برای ساخت این سکه‌ها علی‌رغم شرایط سطحی خاص مورد نیاز نسبتاً ساده می‌باشد .

از این روش برای ساخت محصولات دیگری نظیر کنتاکتورهای الکترونیکی، فنرهای هادی، شیشه پاک کن خودرو، پوشش کابل‌های زیرزمینی و سیستم های محافظت الکترومغناطیسی نیز استفاده می‌شود. جدول ۱-۲ قابلیت جوش‌پذیری فلزات و آلیاژهای مختلف را با این روش نشان می‌دهد. فلزات انعطاف‌پذیر و همچنین فلزاتی که لایه اکسید سطحی آنها چسبنده و پایدار است قابلیت جوش‌پذیری نسبتاً ضعیفی دارند.

۱-۲-۷- جوشکاری فشاری سرد

در این فرایند در شرایط محیطی لایه‌های سطحی مواد فلزی در موضع جوش تخریب می‌شود . این عمل باعث می‌شود که سطوح عاری از آلودگی دو قطعه در مجاور هم قرار گیرند و نیروهای بین اتمی مورد نیاز برای ایجاد اتصال فراهم شود . مطالعاتی میکروسکوپی نیز نشان می‌دهد که لایه‌های اکسیدی و آلودگی‌های سطحی به شکل ذرات بسیار ریز (کمتر از ۱۲nm)در موضع جوش پراکنده شده‌اند .

www.iran-mavad.com
ایران مواد

جدول ۱-۲- قابلیت جوش پذیری فلزات و آلیاژهای غیر همجنس به روش جوشکاری غلتکی

	Ag	Al	Alfesil	Be	Carbon Steel	Cu	Mn	Ni	Nb	Stainless Steel	Steel	U
Ag			D	D		A	B				B	
Al			D	D	B	B		B		B		
Al Alloy		A	D	D								
Au		C	D	D		A		A				
Carbon Steel		B	D	D						B		
Co		C	D	D								
Cu	A	B	D	D			B	A	B	B	A	
Mn	B		D	D		B						
Mn-Ni			D	D		B						
Nb			D	D		B						
Ni		B	D	D		A	A				B	
Pt			D	D		B	B	B				
Stainless steel		B	D	D	B	B						
Steel	B		D	D		A		B				
Sn			D	D		A		A				
Ta			D	D		B			B			
Ti			D	D	B	B				B		
U			D	D								
Zr		C	D	D		B				B	B	B

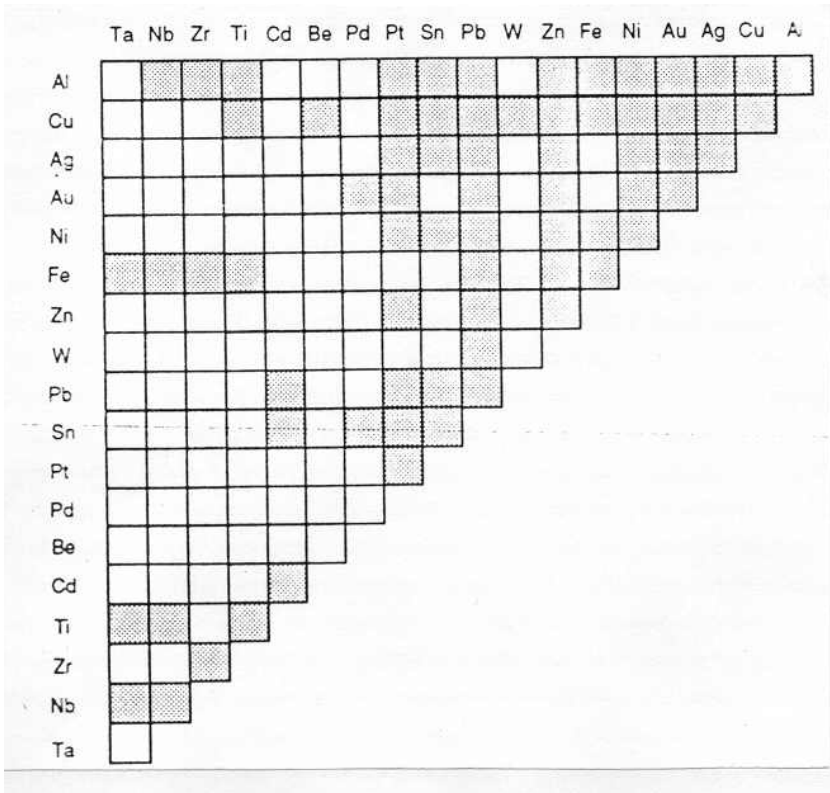
A: easy to weld **B**: difficult but possible to weld **C**: impractical to weld
D: impossible to weld

در اتصال مواد غیر همجنس مرز بین دو قطعه نظیر مرزبین دو فاز یا مرزدانه می‌باشد . برای انجام جوشکاری نیز نیازی به انجام پدیده هایی نظیر تبلور مجدد یا نفوذ نمی‌باشد . همین امر موجب می‌شود که فلزات شکل‌پذیر در حالت سرد علی رغم وجود لایه های اکسیدی چسبنده قابلیت اتصال خوبی با این روش داشته باشند . این روش معمولاً برای اتصال فلزات غیر آهنی به کار برده می‌شود . شکل ۱-۱۵ دامنه کاربرد این فرایند را در اتصال فلزات مختلف نشان می‌دهد.

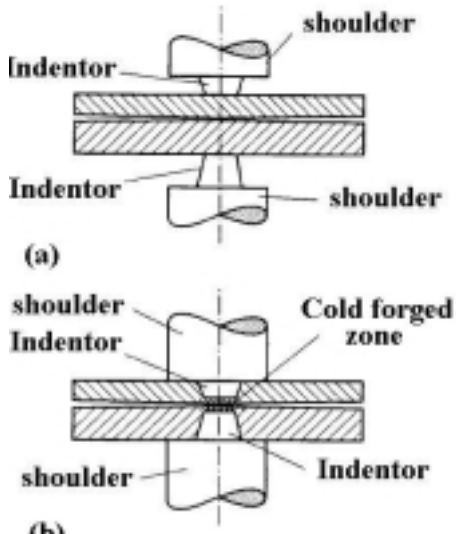
الف- جوشکاری فشاری سرد لبه روی هم

شکل ۱-۱۶ به صورت شماتیک نحوه انجام این فرایند را نشان می‌دهد. دو ورق به گونه‌ای به هم متصل می‌شوند که جهت جریان مواد عمود بر جهت اعمال فشار می‌باشد . پس از انجام مقدار مناسبی تغییر شکل که به جنس مواد متصل شونده بستگی دارد ، اتصال بین قطعات ایجاد می‌شود . اگر سطوح متصل شونده به روش مکانیکی تمیز نشوند امکان ایجاد اتصالی با خواص مطلوب وجود ندارد . با توجه به جنس مواد ، قطعاتی با ضخامتهای ۱۵-۰/۱ mm با این روش قابل اتصال می‌باشند.

www.iran-mavad.com
ایران مواد



شکل ۱-۱۵- دامنه کاربرد فرایند جوشکاری فشاری سرد



شکل ۱-۱۶- نحوه انجام فرایند جوشکاری فشاری سرد بر روی هم

www.iran-mavad.com
ایران مواد

جوشها می‌توانند به وسیله قالبهای فشار حلقه‌ای ، نقطه‌ای و یا خطی شکل ایجاد شوند. مقدار تغییر شکل ورقها باید به کمک اندازه‌گیری تغییر شکل و یا یک وسیله مکانیکی کنترل شود. تابیدگی خمشی به کمک ایجاد همزمان چند نقطه یا خط نازک جوش در یک ناحیه کاهش می‌یابد. جوشهای فشاری سردی که به کمک قالبهای حلقه‌ای و یا خطی شکل باریک ایجاد می‌شوند خواص مطلوب‌تری نسبت به جوشهای ایجاد شده با قالبهای دایره‌ای شکل دارند.

از کاربردهای این روش اتصال کویل آلومینیومی با سطح مقطع ۷*۱/٦ mm به کویل مسی با سطح مقطع ۷*۱ mm در ماشینهای الکتریکی است . به کمک روش اتصال فشاری سرد لبه روی هم اتصالاتی با سطح مقطع و خواص مطلوب می‌توان به دست آورد .

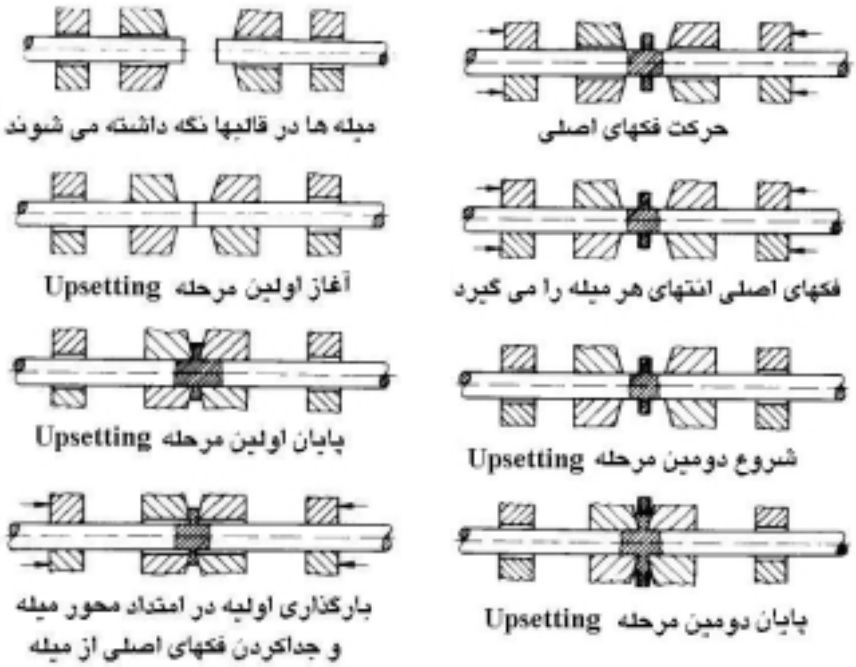
ب- جوشکاری فشاری سرد سربه‌سر

در این روش دو انتهای دو میله هم جنس یا غیر همجنس به یکدیگر متصل می‌شود . دو قطعه در یک ماشین که دو گیره مناسب برای نگه‌داشتن قطعات دارد جاسازی شده و پس نیروی فشاری اعمال می‌شود تا در سطح در تماس با یکدیگر قرار گیرند و در هم فورج شوند . شکل ۱-۱۷نحوه انجام این فرایند را نشان می‌دهد . این فرایند ممکن است به صورت یک مرحله‌ای و یا چند مرحله‌ای انجام گیرد . با توجه به اینکه تنها قسمت کوتاهی از قطعات از گیره‌ها بیرون می‌باشد مشکل کمانش و خم‌شدن قطعات مشکل جدی محسوب نمی‌شود .

پ- جوشکاری فشاری سرد در حین فرایند کشش سیم یا لوله

به کمک تغییر شکل پلاستیک در ابزار کشش می‌توان لوله‌های چند لایه و یا میله‌های چند لایه را با لایه‌های داخلی و خارجی مختلف الجنس تولید نمود. در این روش نیز تمیز کاری سطوح قبل از جوشکاری یک نکته حیاتی محسوب می‌شود . همین امر موجب می‌شود که طول اولیه لوله محدود شود و انتخاب لوله‌های طویل‌تر از mm ۸۰۰ امکان‌پذیر نباشد. گسترش سطوح تماس در امتداد طول لوله یا میله یک عامل اساسی در ایجاد جوش می‌باشد. در لوله‌های دو جنسی آلومینیوم ـ مس پس از ۳۰۰ درصد گسترش سطوح، استحکام برشی به ۵۰ Mpa می‌رسد .

www.iran-mavad.com
ایران مواد



شکل ۱-۱۷- فرایند جوشکاری فشاری سرد سربه‌سر

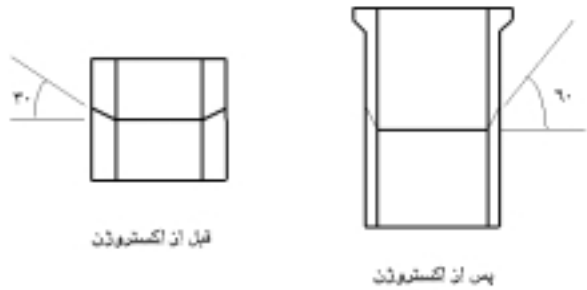
۱-۲-۸- فرآیند جوشکاری کواکستروژن[1]

این فرایند، یک فرایند اتصال حالت جامد است که در آن یک اتصال بـه روش پیشـگرم کردن قطعات و فشردن آنها به داخل یکدیگر ایجاد می‌شود. برای این کار از یک قـالب اکسـتروژن اسـتفاده می‌شـود. افزایـش دمـای قطعـات عـلاوه بـر سـهولت عملیـات جوشکاری، باعث کاهش نیروی مورد نیاز برای اکستروژن نیز می‌شـود. ایـن فرآینـد در دمای اتاق نیز انجام می‌گیرد (به عنـوان مثـال اتصـال آلومینیـوم بـه مـس). بـرای اتصال قطعات به روش داغ معمولاً قطعات داخل یک قوطی یا قرع قرار می‌گیرند. بـرای اتصال فلزات فعال این محفظه از هوا تخلیه می‌شود. مزیت مهم این روش وجود فشار ایزوستاتیکی بالا می‌باشد که به تغییر شکل فلزات دارای انعطـاف‌پذیـری پـایین کمـک می‌کند.

[1]- Coextrusion Welding

www.iran-mavad.com
ایران مواد

این فرآیند بیشتر برای اتصال لب به لب لوله‌های غیر همجنس مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۱-۱۸ چگونگی انجام این فرایند را نشان می‌دهد. مزیت این روش نسبت به سایر روشها عدم وجود زائده و به تبع آن عدم نیاز به ماشینکاری می‌باشد. این فرایند برای اتصال فولادهای کم کربن، فولادهای زنگ‌نزن، آلیاژهای آلومینیوم، مس، تیتانیم و همچنین فلزات زیرکونیم، و تانتالم و نایوبیوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این فرایند برای تولید لوله‌های دو لایه نیز استفاده می‌شود. برخی از لوله‌های دو لایه فولاد کم آلیاژی/ فولاد زنگ نزن آستینتی که در صنایع نفت و گاز مورد استفاده قرار می‌گیرند به کمک این فرایند تولید می‌شوند.



شکل ۱-۱۸- چگونگی اتصال لب به لب لوله‌ها به کمک فرایند کواکستروژن

www.iran-mavad.com
ایران مواد