

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com





بسمه تعالی

عنوان :

جوشکاری انفجاری

(Explosion Welding)

استاد :

دکتر عباسی

گرد آورنده:

امیرحسین کابلی

فهرست مطالب

تاریخچه	5
مقدمه	5
روش فرایند جوشکاری انفجاری	6
فرایند اتصال	۹
پارامتر های موثر در جوشکاری انفجاری	9
سرعت ضربه یا سرعت برخورد لوله پرنده V_p	10
سرعت پیش روی نقطه برخورد	10
سرعت دتوئیشن ماده منفجره	10
زاویه دینامیکی برخورد	11
انرژی ضربه	12
مقاومت اتصال بین دو فلز	12

- 13..... بررسی کیفیت اتصال
- 14..... جوشکاری انفجاری لوله ها
- 15..... فلزات قابلیت اتصال
- 16..... ماده منفجره
- 16..... خرج های انفجاری
- 16..... تی ان تی TNT
- ۱۶..... نیترو گلیسرین
- 17..... دینامیت
- 17..... تست غیر مخرب
- 17..... تست التراسونیک
- 17..... تست رادیو گرافی
- 18..... تست مخرب
- ۱۸..... تست قلم
- 18..... تست کشش
- 19..... آزمایش متالو گرافی
- 20..... آزمایش کششی - برشی
- 20..... کاربرد ها
- 22..... مزایا
- 22..... محدودیت ها
- 23..... نتیجه گیری
- 25..... مراجع و منابع

تاریخچه و سیر پیشرفت جوشکاری انفجاری

گرچه جوشکاری انفجاری در قرن حاضر روشی شناخته شده است، اما روش‌های متداول جوشکاری که هم‌اکنون برای اتصال قطعات مختلف به کار می‌روند، از سه هزار سال پیش از میلاد شناخته شده بودند. تا قرن نوزدهم تنها روش اتصال قطعات به یکدیگر، روش فورجینگ (آهنگری) بود تا اینکه با پیدایش باتری‌های الکتریکی، ژنراتورها و استفاده از اکسیژن و استیلن، فرایند جوشکاری به روش ذوبی اختراع شد و تاکنون با ابداع روش‌های نوین جوشکاری پیشرفت‌های زیادی در این زمینه صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به جوشکاری قوسی با فلاکس محافظ، جوشکاری با پرتو الکترون‌ها و جوشکاری با لیزر اشاره کرد.

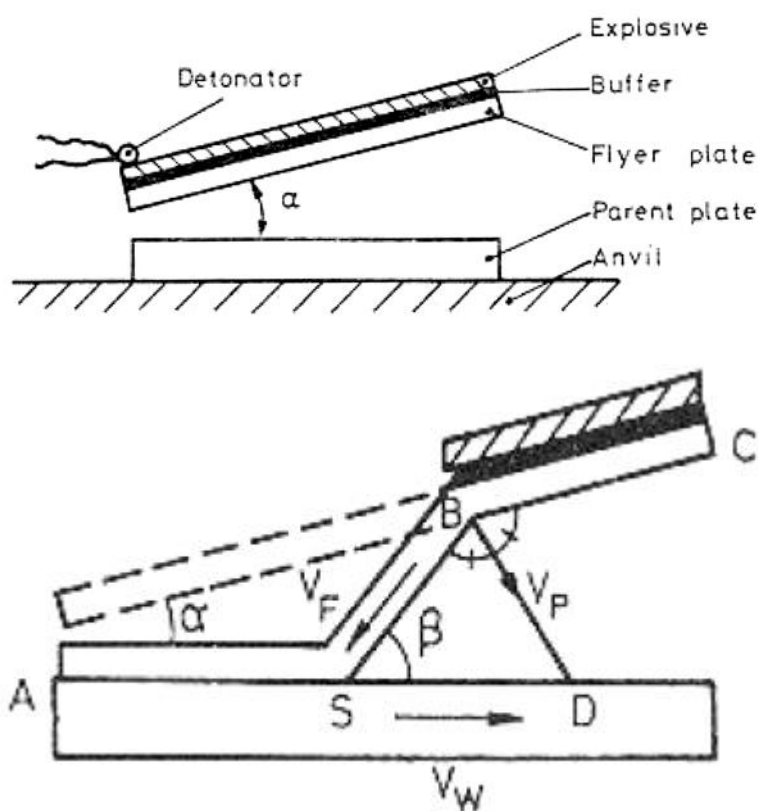
جوشکاری انفجاری بعد از جنگ جهانی اول مورد توجه قرار گرفت. در طول این جنگ، مشاهده شد تکه‌هایی که از متلاشی‌شدن پوشش فلزی گلوله‌های توپ یا بمب، با سرعت خیلی زیاد رها می‌شدند، در تیرهای فولادی و دیگر سطوح فلزی فرو می‌رفتند، اما در آن زمان هیچ برخورد علمی با این موضوع نشد. اولین کسی که جوشکاری تحت سرعت بالای برخورد را مورد توجه قرارداد «کارل» بود. او در آزمایش‌های خود، دو نیمه برنج سخت که توسط مواد منفجره و تحت سرعت بالا به یکدیگر برخورد کرده بودند را مورد بررسی قرارداد و متوجه شد که این اتصال بر اثر ذوب به وجود نیامده است بلکه توسط مکانیزم جوش در فاز جامد تشکیل شده است و عامل اتصال دو قطعه، ایجاد موج در سطح مشترک آنها بوده است.

مقدمه

جوشکاری، یکی از تکنیک‌های اصلی اتصال مواد به یکدیگر است. تحلیل علمی و فنی جوشکاری با تکیه بر فرایندهای مختلف آن و بویژه در مورد قطعات فولادی، یکی از مسائل اصلی است که در راستای طراحی اتصالات و با زمینه‌های کاربردی فراوان، می‌تواند همواره مورد توجه قرار گیرد. برای جوشکاری و اتصال دو فلز، باید آنها را آن‌قدر به یکدیگر نزدیک کرد تا فاصله آنها کمتر یا برابر با فاصله تعادل بین اتمی شود (کمتر از ۱۰ آنگسترون). (برای تحقق این امر سطوح باید از هرگونه

اکسید یا قشر مواد خارجی، پاکیزه شود که چنین درجه‌ای از پاکیزگی از طرق متداول مکانیکی و شیمیایی میسر نیست.

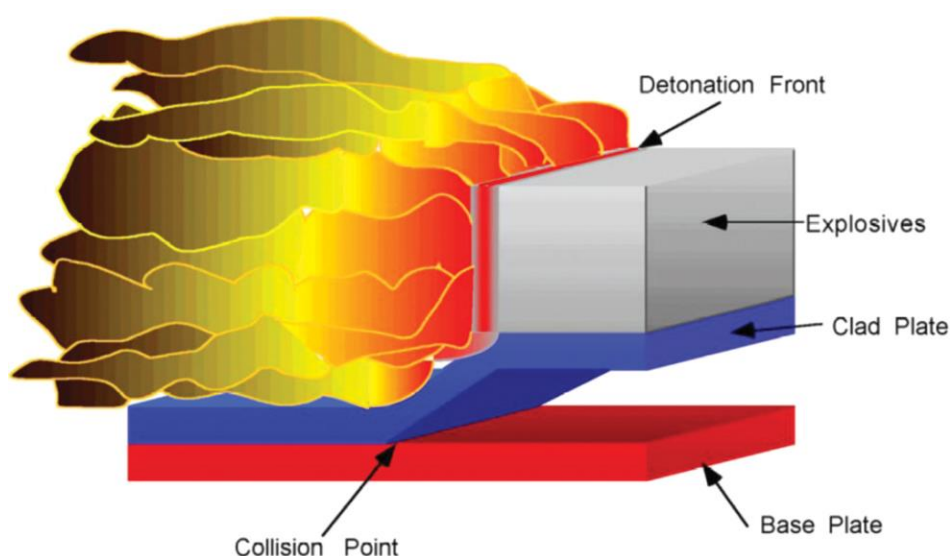
در روش‌های مختلف جوش ذوبی، ذوب نسبی اجزا در ناحیه‌ای مشترک رخ می‌دهد، مواد زاید به سطح مذاب رانده شده و در فرایند انجماد، اتصال متالورژیکی بین اجزا تحقق می‌یابد. جوشکاری انفجاری، نوعی جوشکاری حالت جامد است که در آن، از انفجار ماده منفجره کنترل شده استفاده می‌شود تا دو فلز در فشار بالا به هم متصل شوند. سیستم مرکب حاصل در واقع یک اتصال متالورژیکی پایدار است. اولین مشاهدات این روش طی جنگ اول جهانی و هنگامی دیده شد که ترکش‌های بمب‌های منفجر شده، به مواد فلزی اصابت کرده و به آنها جوش می‌خورند. در آن زمان، مشاهده شد که این ترکش‌ها را پس از سرد شدن، نمی‌توان براحتی جدا کرد.



شکل ۱ و ۲: طرح شماتیک از لحظه قبل و بعد از انفجار

روش فرآیند جوشکاری انفجاری

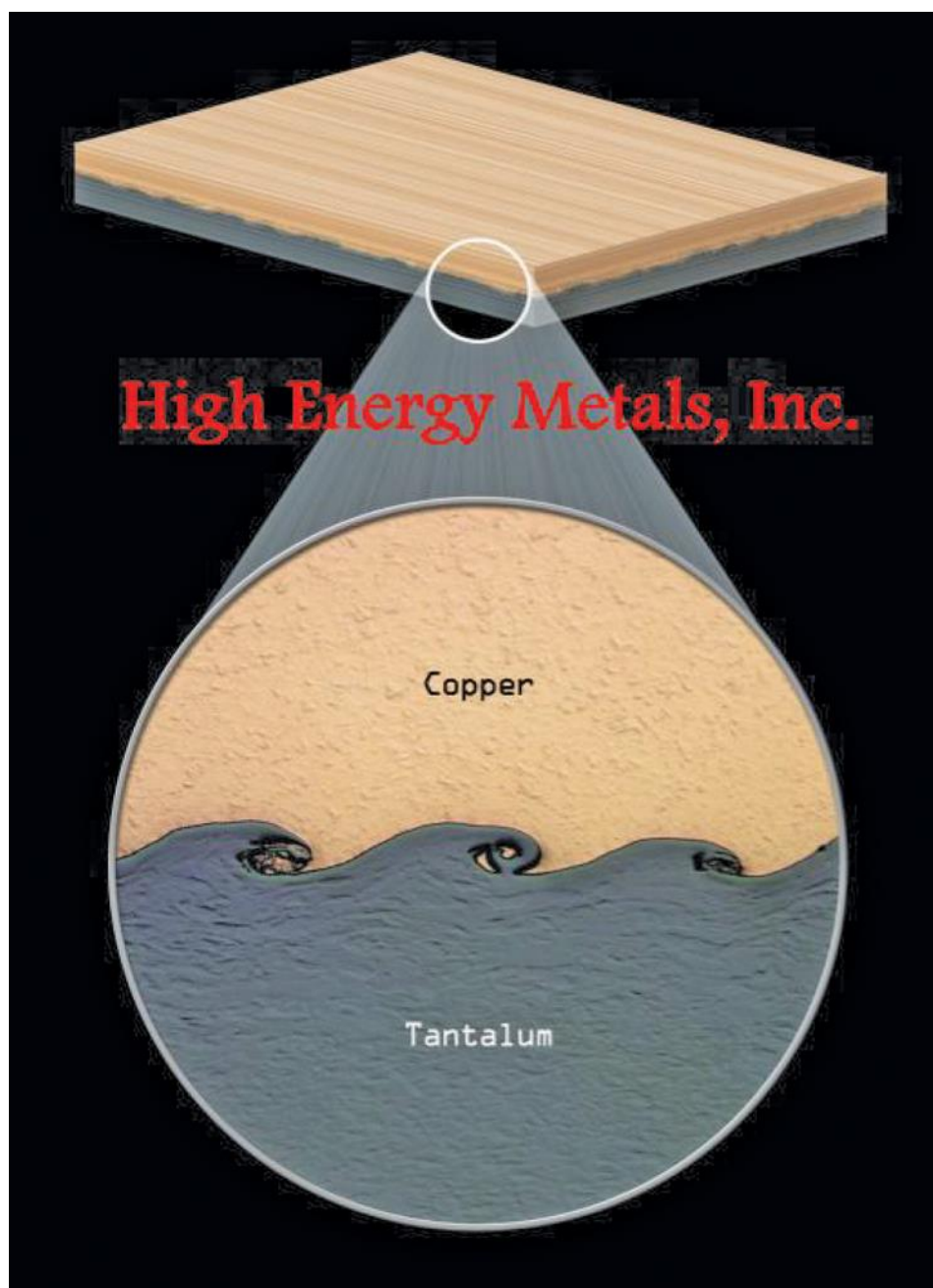
جوشکاری انفجاری، تحت اثر ضربه مایل با سرعت بالا، تحقق می‌پذیرد و مکانیسم اساسی آن مبتنی بر پایه اتصال مولکولی است. تنظیم اولیه برای انجام جوشکاری در (شکل ۱) نشان داده شده است. در این شکل، صفحه بالایی موسوم به صفحه پرنده تحت زاویه نسبت به صفحه زیرین موسوم به صفحه ساکن، توسط یک لایه ضربه‌گیر محافظت می‌شود. یک لایه از ماده منفجره به صورت ورقه‌ای و یا پودری، روی صفحه فلزی بالایی قرار می‌گیرد. چاشنی در انتهای پایینی عمل می‌کند و باعث می‌شود صفحه فلزی بالا با سرعت زیاد به سطح صفحه فلزی زیرین که بر روی سندان قرار دارد، چسبیده شود. شکل ۲ لحظه پس از انفجار را نشان می‌دهد. در شکل ۳ نیز به صورت ۳ بعدی، لحظه انفجار نشان داده شده است [1].



شکل ۳: طرح ۳ بعدی از لحظه انفجار

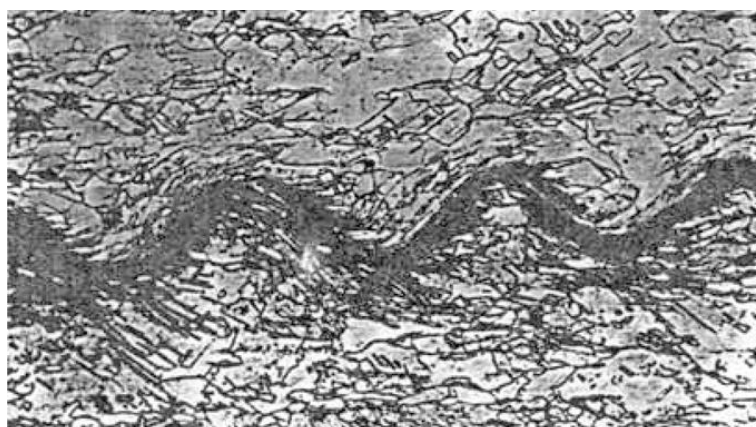
پدیده جت برای تشکیل اتصال، امری ضروری است و تحقق آن تحت شرایطی خاص در ارتباط با سرعت صفحه فوقانی و زاویه برخورد، امکان‌پذیر می‌شود. لایه‌ای جهنده متشکل از ذرات مسطح دو فلز، تشکیل شده و به موازات رانده شدن آن از سیستم، دو صفحه در هم فشرده می‌شوند و اتصال در فاز جامد در طول فصل مشترک آنها به وجود می‌آید. قشری از سطح دو صفحه پرنده و ساکن که معمولاً محل تجمع اکسیدها و مواد ناخالصی دیگر است، جدا شده و در همسایگی نقطه Q که در آن، فشار فوق‌العاده‌ای حضور دارد، دو صفحه عاری از اکسیدها و مواد ناخالصی به یکدیگر ملحق می‌شوند و به این ترتیب، جوش تشکیل و توسعه می‌یابد. با توجه به (شکل ۴) وجود حالت موجی در فصل مشترک صفحات پس از جوشکاری انفجاری با تهیه نمونه متالوگرافی و بررسی میکروسکوپی به سهولت قابل مشاهده است (شکل ۵) وجود حالت موجی در فصل مشترک، معرف

استحکام اتصال است که مکانیسم تنش‌های موجی (موج‌های تنش) را می‌توان عامل تشکیل آن دانست. [1].



شکل ۴: پس از جوش، دو فلز در هم فشرده شده و اتصال در فاز جامد، در طول فصل مشترک به وجود می‌آید

از جوشکاری انفجاری، در اصل برای اتصال ورقه‌های فلزی مقاوم در برابر خوردگی، به ورق‌های ضخیم و سنگین‌تر فلز پایه (عملیات روکش‌دهی) بویژه در مواردی که سطوح تماس وسیع باشند، استفاده می‌شود. نتیجه عمل، جوش دمای پایین است که در آن، آرایش سطوح تماس به شکل یک سری موج‌های متداخل و متصل به هم خواهد بود (شکل ۵). استحکام این اتصال بسیار زیاد است و صفحاتی را که با این روش روکش داده شده‌اند، می‌توان تحت دیگر فرایندهای مختلف شامل کاهش ضخامت به وسیله نورد، قرار داد. از آنجا که این روش نوعی فرایند جوش کاری حالت جامد است، زوج‌های بسیار متنوعی از فلزات غیرهمجنس را با راحتی می‌توان به یکدیگر متصل کرد. [3]



شکل ۵: وجود حالت موجی در فصل مشترک صفحات پس از جوشکاری انفجاری با تهیه نمونه متالوگرافی و بررسی میکروسکوپی به سهولت قابل مشاهده است

فرایند اتصال دو صفحه را می‌توان به ۳ مرحله اصلی ذیل تقسیم کرد :

الف - وقوع انفجار

ب - تغییر شکل و شتاب یافتن صفحه پرنده

پ - برخورد بین صفحات پرنده و ساکن

پارامترهای موثر در فرایند جوشکاری انفجاری عبارتند از :

الف - سرعت ضربه یا سرعت برخورد لوله پرنده V_p

ب - سرعت پیشروی نقطه برخورد V_w

ج - سرعت دتونیشن ماده منفجره V_D

پ - زاویه دینامیکی برخورد β

ه - انرژی ضربه IE

سرعت ضربه یا سرعت برخورد v_p

محاسبه سرعت لوله پرنده به روش تحلیلی بسیار مشکل بوده و به همین جهت تاکنون معادلات متعدد تجربی و نیمه تجربی برای محاسبه آن ارائه شده است. شاید پر کاربرد ترین آنها، (معادلات گرنی) باشد که استفاده از آن، مستلزم انجام فرضیات زیر است:

الف) بدون توجه به جهت انفجار، صفحه یا لوله پرنده در جهت عمود بر سطح آن پرتاب می شود.

ب) انرژی مخصوص (انرژی بر واحد جرم) یا انرژی گرنی (E) که یک مشخصه هر ماده منفجره محسوب می گردد بنا به فرض برابر انرژی شیمیایی ماده در حالت اولیه است که به انرژی جنبشی یا کار مکانیکی در حالت نهایی تبدیل می شود

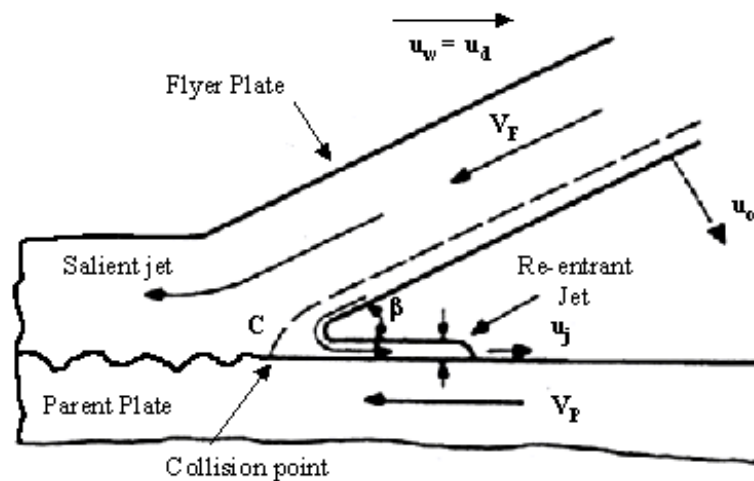
پارامتر R که برابر نسبت به جرم ماده منفجره به جرم صفحه یا لوله پرنده است و انرژی گرنی، بصورت زیر محاسبه می شود [2]

$$V_P = \sqrt{(2E_G)} \left[\frac{R}{\left(1 + \frac{1}{2}R\right)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

سرعت پیشروی نقطه برخورد

مشاهده می شود که در چیدمان موازی ($\alpha=0^\circ$) این سرعت برابر سرعت انفجار ($V_w=V_D$) خواهد بود. [2]

$$V_W = \frac{V_D V_P}{V_P \cos a + V_D \sin a}$$



شکل ۶: نمای کلی انفجار

زاویه دینامیکی بر خورد

چنانچه زاویه بر خورد دینامیکی دو فلز از مقدار حداقلی کمتر باشد امکان تشکیل جت در نقطه برخورد وجود نداشته و در نتیجه جوش تشکیل نخواهد شد از آنجا که سرعت دتوشین یک ماده محسوب می گردد مقدار بحرانی در یک چیدمان موازی تابعی از سرعت نقطه برخورد خواهد بود بیشتر محققین زاویه دینامیکی مناسب را برای بدست آوردن سطح مشترک مطلوب در محدوده پیشنهاد نموده اند . [2]

$$\beta = \tan^{-1} \left[\frac{V_P \cos a}{(V_W - V_P \sin a)} \right]$$

$$\beta = \tan^{-1} \left[\frac{V_P}{V_D} \right] = \tan^{-1} \left[\frac{V_P}{V_D} \right]$$

شرایط اصلی برای تحقق جوش انفجاری عبارتند از :

۱- سرعت کافی ضربه برای ایجاد فشار مورد نیاز، (حداقل ۱۰ برابر تنش تسلیم استاتیکی جزء قویتر اتصال)

۲- افزایش زاویه برخورد از یک مقدار حداقل که با کمک فشارضربه باعث تشکیل جت می شود.

مقاومت اتصال بین دو فلز

سرعت ضربه و زاویه برخورد با یکدیگر تعیین کننده سرعت نقطه برخورد است که برای ارضای شرط دو باید کمتر از سرعت صوت باشند . با تحقق دو شرط فوق، مقاومت اتصال بین دو فلز به دو عامل زیر بستگی دارد :

الف) بزرگی سرعت ضربه و زاویه برخورد (که خود به پارامترهایی نظیر : سرعت انفجار، ضخامت و شکل خرج، ضخامت ضربه گیر و جسم پرنده، فاصله توقف و زاویه استاتیکی بستگی دارد).

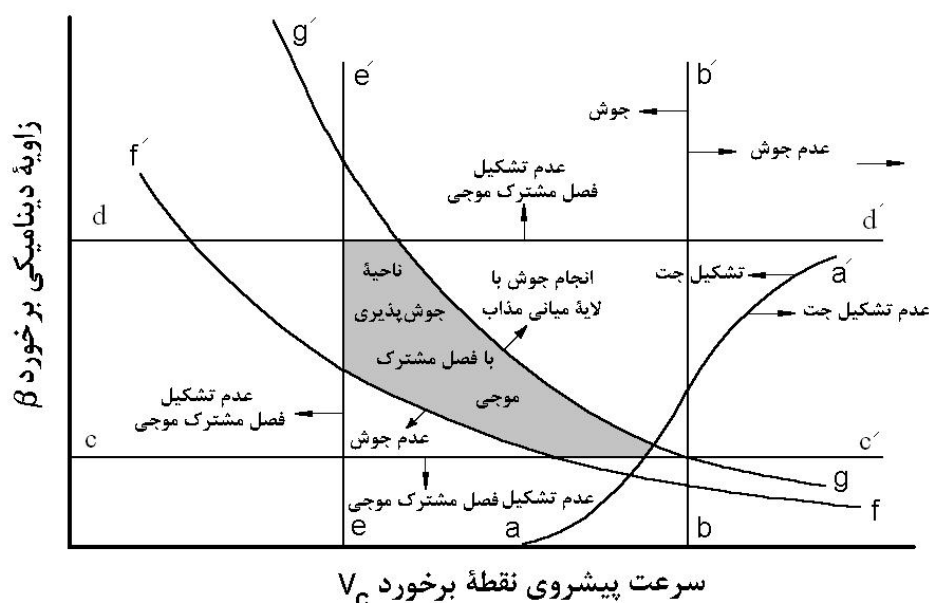
ب) میزان صافی سطوح برخورد کننده که اثر آن تسهیل در ستردن لایه اکسید و دیگر آلاینده ها از روی سطح فلزها و تشکیل جت است. بیشتر پارامترهای جوشکاری انفجاری به نحوی به یکدیگر وابسته بوده یا دارای آثار مهم ثانویه هستند [4]

انرژی برخورد:

انرژی ضربه یا انرژی برخورد، از رابطه زیر قابل محاسبه است :

که در این رابطه m معرف جرم لوله و ضربه گیر بر واحد طول و d قطر متوسط لوله در حین برخورد است. انرژی برخورد لازم برای تشکیل جوش، به پارامترهایی چون انرژی کرنشی و مقاومت تسلیم دینامیکی فلز پرنده وابسته است. بدیهی است، برای اینکه انرژی برخورد برای تشکیل جوش کافی باشد، باید حداقلی از فشار ضربه ای تأمین گردد. همچنین حد بالایی برای انرژی ضربه ای وجود دارد که در صورت تجاوز از آن، اتلاف بالای انرژی مکانیکی باعث افزایش حرارت موضعی و تشکیل فاز مذاب می گردد. این فاز مذاب، پس از انجماد لایه ای ترد را تشکیل داده و باعث کاهش استحکام مکانیکی جوش خواهد شد [4], [5]

$$IE = \frac{mV_p^2}{2\pi d}$$



شکل ۷ نمودار فصل مشترک

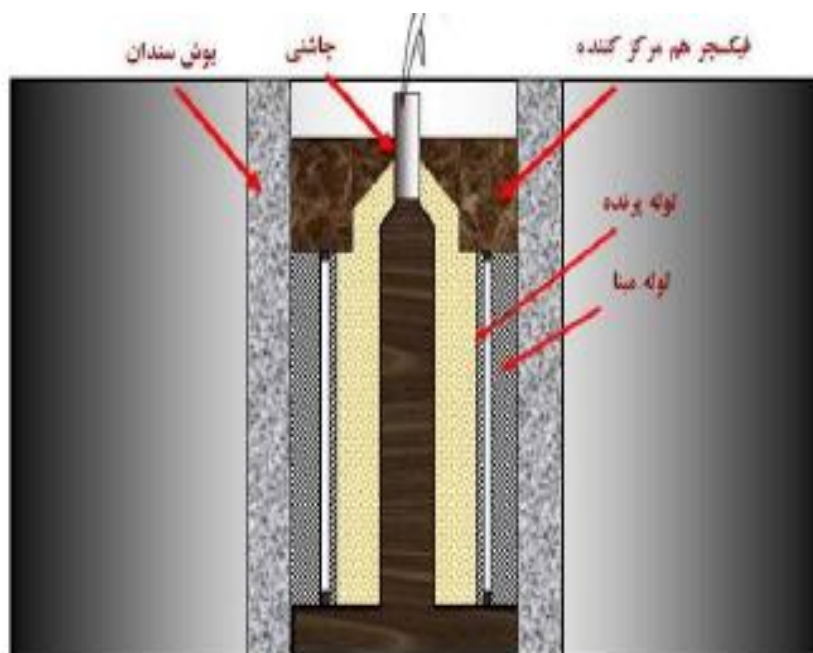
بررسی کیفیت اتصال

کیفیت جوش انفجاری وابسته به ماهیت فصل مشترک و اثرات انفجار بر روی خواص اجزای فلزی می باشد. تاثیرات جوش بر روی خواص فلزی نظیر استحکام، سختی و شکل پذیری را می توان به وسیله مقایسه نتایج تست های کشش، ضربه، خمکاری و خستگی جوش و مواد جوشکاری شده

مشخص کرد. کیفیت پیوند جوش با تست های مخرب و غیر مخرب قابل تشخیص است. این تست ها می بایست منعکس کننده شرایط دوام جوش در طول سرویس دهی باشند. [8]

جوشکاری انفجاری لوله ها

برای ساخت این لوله دو جداره از روش انفجار به خارج استفاده شده است در این روش موج شوک تولید شده از انفجار باعث تغییر شکل پلاستیک و شتاب گرفتن لوله پرنده در گذر از فاصله توقف می شود که برخورد آن به لوله مبنا باعث تشکیل لایه ای بسیار نازک از مذاب (در حد چند لایه اتمی) در سطح مشترک دو فلز شده که بیشتر آن به سبب تشکیل جت از سیستم بیرون ریخته می شود سپس فشار بالای بین دو فلز باعث ایجاد فصل مشترک موجی بین دو فلز می شود [6]



شکل ۸ نمایی از جوشکاری لوله ها

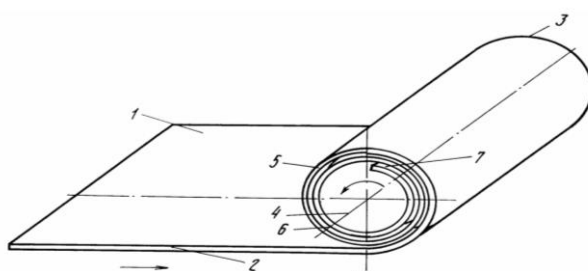
الزامات

از آنجا که تشکیل جت از ذرات سطح دو صفحه، برای تشکیل ضروری است، زاویه β باید از حد مینیمم تجاوز کند .

سرعت صفحه پرنده V_p و سرعت نقطه برخورد V_c باید کوچکتر از سرعت صوت در اجزای اتصال باشد .

به حداقل فشار ضربه لازم تا انرژی کافی برای ایجاد اتصال فراهم آید. البته این انرژی نباید از مقدار بحرانی تجاوز کند زیرا در غیر این صورت، زمینه تشکیل نواحی مذاب را فراهم خواهد کرد .

باید فاصله‌ای مناسب را بین صفحات در نظر گرفت تا صفحه پرنده، شتاب یافته و سرعت ضربه مورد نیاز تامین شود . [7]



شکل ۹ چند لایه کردن ورقه ها

فلزاتی که می توان جوشکاری نمود:

جدول ۱: فلزاتی که توانایی جوشکاری انفجاری را دارند

	ZIRCONIUM	MAGNESIUM	COBALT ALLOYS	PLATINUM	GOLD	SILVER	COLUMBIUM	TANTALUM	TITANIUM	NICKEL ALLOYS	COPPER ALLOYS	ALUMINUM ALLOYS	STAINLESS STEELS	ALLOY STEELS	CARBON STEELS
CARBON STEELS	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ALLOY STEELS	●	●	●					●	●	●	●	●	●	●	●
STAINLESS STEELS			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
ALUMINUM ALLOYS		●				●	●	●	●	●	●	●	●		
COPPER ALLOYS					●	●	●	●	●	●	●	●	●		
NICKEL ALLOYS		●		●	●			●	●	●	●	●	●		
TITANIUM	●	●				●	●	●	●	●	●	●	●		
TANTALUM					●		●	●	●	●	●	●	●		
COLUMBIUM				●			●	●	●	●	●	●	●		
SILVER						●		●	●	●	●	●	●		
GOLD								●	●	●	●	●	●		
PLATINUM				●					●	●	●	●	●		
COBALT ALLOYS									●	●	●	●	●		
MAGNESIUM		●							●	●	●	●	●		
ZIRCONIUM	●								●	●	●	●	●		

Figure 24.6–Commercially Significant Metals and Alloys that can be Joined by Explosion Welding

ماده منفجره

مقدار ماده منفجره و جنس آن در تعیین کیفیت جوش، تاثیری بسزا دارد. اگر مقدار ماده منفجره از مقداری بحرانی کمتر باشد، سطوح جوش به دست آمده به صورت تخت بوده و جوشی با مقاومت پایین به دست می‌آید. در صورت استفاده از مقدار مواد بیشتر از مقدار بحرانی، سطوح جوش در هم فرو رفته و شکل موج‌مانند به خود می‌گیرند و استحکام جوش بالا می‌رود. اگر مقدار مواد منفجره بیش از اندازه باشد، سرعت انفجار بیش از ۱۲۰ درصد سرعت صوت در فلزات شده و امکان ذوب سطوح تماس پیش می‌آید. البته این حالت در مواقعی باعث افزایش مقاومت جوش می‌شود، مثال آلیاژ تیتانیوم به فولاد ضدزنگ ۳۰۴ (stainless steel 304) مقاومت برشی تا ۴۸۰ Mpa افزایش می‌یابد [8].

خرج های انفجاری و تخریبی

• تی ان تی TNT

• تیری نیترو تولوئن یا TNT مهم ترین ماده ی منفجره ی شیمیایی نظامی است TNT. یک ماده ی بلورین دارای رنگ زرد کم رنگ است که می تواند بدون هیچ گونه خطری ذوب شود و در خرج های گلوله های توپ و بمب ها ریخته شود. معمولاً TNT با دیگر مواد منفجره ترکیب می شود. این ماده بوسیله ی اثر دادن تولوئن (یک ماده ی شیمیایی که از پالایش نفت خام یا قطران ذغال سنگ بدست می آید.) بر ترکیبی از نیتریک اسید و سولفوریک اسید بدست می آید. [8]

نیتروگلیسرین (Nitroglycerin)

نیتروگلیسرین یک مایع چرب و زردرنگ است که بر اثر ترکیب گلیسرین با نیتریک اسید و سولفوریک اسید بدست می آید. این ماده ، ماده منفجره ی به شدت قدرتمندی است و به ضربه به شدت حساس می باشد و به همین دلیل استفاده از آن خطرناک است. این ماده تقریباً همیشه با مواد پایدارتری ترکیب می شود . [8]

دینامیت (Dynamite)

دینامیت ماده ی منفجره ای است که بوسیله ی ترکیب نیتروگلیسرین با ماده ی جاذب دیگری (همانند خمیر چوب) و دیگر ابزار سازنده (همانند آمونیوم نیترات و سدیم نیترات) ساخته می شود. دینامیت نسبتاً برای استفاده ایمن می باشد و مدت ها مهم ترین ماده ی منفجره برای انجام انفجار بود. هم اکنون دینامیت با مواد ارزان تر و دارای حساسیت کمتری که عمدتاً ترکیبات آمونیوم نیترات هستند، جایگزین شده است. [8]

تست های غیرمخرب

۱) بازرسی آلتراسونیک

بازرسی آلتراسونیک، به صورت گسترده ای در روش غیرمخرب برای آزمایش جوش های انفجاری مورد استفاده قرار می گیرد. از طریق روش آلتراسونیک استحکام جوشی نمی توان مورد ارزیابی قرار داد، اما به کمک آن می توان به سلامت جوش پی برد. تکنیک های پالس - اکو معمولاً برای فولادهای روکش کاری شده در مخازن تحت فشار مورد استفاده قرار می گیرد. یک فرکانس آلتراسونیک با گستره $10-2/5$ MHz معمولاً مورد استفاده قرار می گیرد. الزاماتی برای ایجاد امپدانس صوتی فلزات گوناگون نیاز است. ابزارهای آلتراسونیک می بایستی براساس نمونه های استاندارد که حاوی هردو مورد پیوند یافته و نواحی غیر پیوند یافته شناخته شده هستند کالیبره شوند.

۲) بازرسی رادیو گرافی

رادیو گرافی می تواند در بازرسی جوش های انفجاری موادی که دارای اختلاف قابل توجهی از نظر چگالی هستند و همچنین دارای اندازه موج به مقدار کافی بزرگ، به نحوی که روی یک پوتونگار قابل رویت باشند، مورد استفاده قرار گیرد. عکس های رادیوگرافی، نواحی مختلف از ورق ها را به طور کامل نشان می دهند. عکس های رادیوگرافی عمود بر سطح از طرف فلز با دانسیته بالاتر گرفته می شوند. فیلم می بایست در تماس نزدیک با سطح، روی وجه کم دانسیته قرار گیرد. عکس های رادیو گرافی می توانند یک فصل مشترک موجی شکل به صورت خطوط فاصله دار سیاه و سفید یکنواخت ترسیم کنند. [6]

تست های مخرب

۱) آزمایش قلم

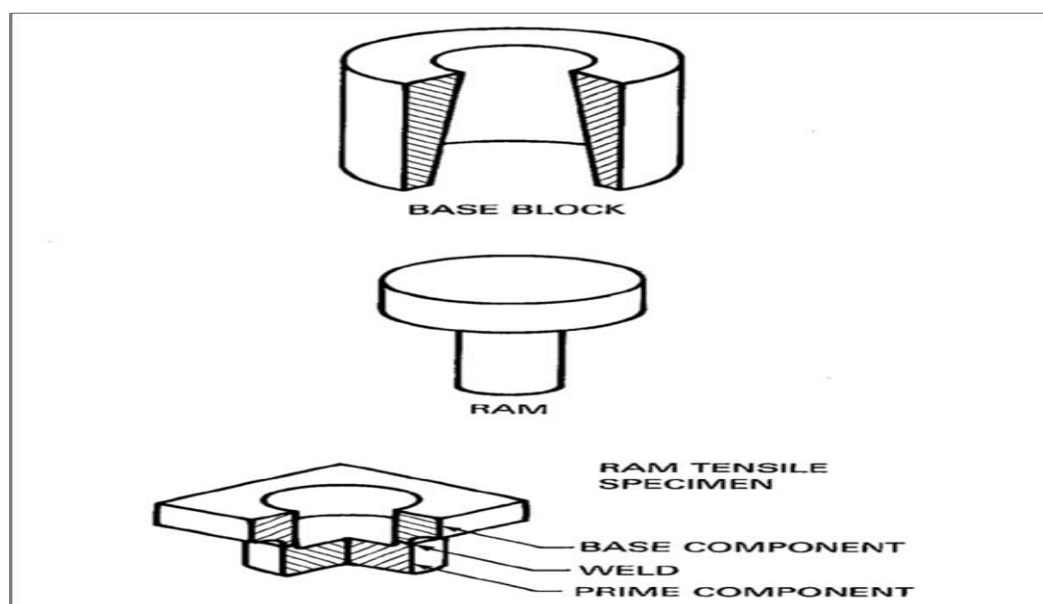
به طور گسترده جهت تعیین یکپارچگی و بی عیبی اتصال جوش انفجاری به کار می رود. این تست به کمک کوبش یک قلم بر سطح فصل مشترک و در امتداد آن انجام می گیرد. توانایی فصل مشترک در مقاومت به انفصال در برابر نیروی اعمالی، میزان استحکام فصل مشترک را نشان می دهد. [6]

۲) آزمایش کشش

یک تست کشش RAM ویژه یا گسیختگی حلقه ای می تواند به منظور ارزیابی استحکام کششی جوش های انفجاری مورد استفاده قرار گیرد. همانگونه که در نشان داده شده است نمونه به نحوی طراحی شده است که تابعی از فصل مشترک جوش نسبت به بارگذاری کششی باشد. ناحیه مقطع عرضی نمونه بین قطر های خارجی و داخلی به صورت حلقوی است. [6].

نوعی رم یا پیکر بندی نمونه تست گسیختگی حلقه ای.

نمونه دارای محدوده کوچکی از طول است که به منظور ایجاد شکست به طور آنی در فصل مشترک جوش یا ناحیه مجاور انتخاب شده است. چنانچه شکست در یکی از نواحی فلز پایه رخ دهد آزمایش نشان می دهد که جوش قوی تر از فلز پایه است. تست به واسطه جایگذاری نمونه روی بلوک پایه یا رم در سوراخ هدایت می شود، در ادامه یک نیروی مقایسه ای در طول رم و پایه اعمال می شود. نیرو در لحظه شکست ثبت می شود

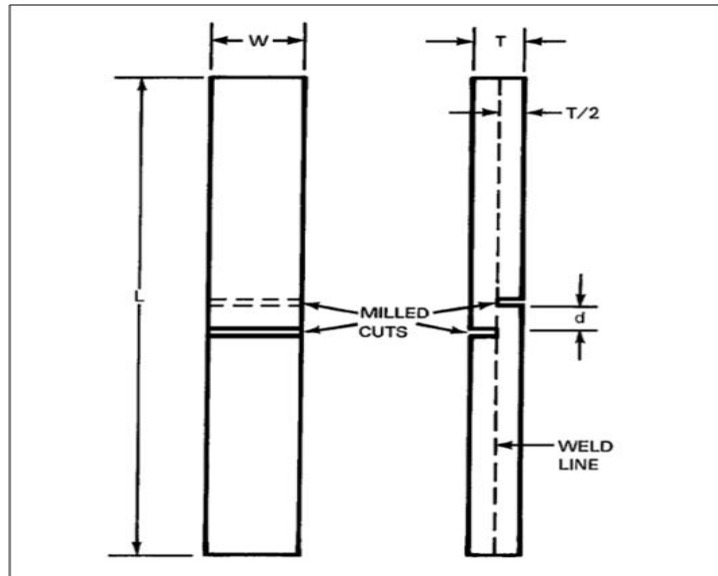


۳) آزمایش های متالوگرافی

متالوگرافی می تواند اطلاعات مفیدی درباره کیفیت جوش های انفجاری ارائه می دهد. نمونه متالوگرافی باید به نحوی انتخاب شود که فصل مشترک بتواند روی سطح موازی با جهت انفجار و عمود بر سطح قطعه جوشکاری شده مورد آزمایش قرار بگیرد. یک الگوی موجی شکل گرفته معمولاً نشان دهنده یک جوش خوب است. بسته به ترکیب مواد مورد ارزیابی، شدت و فرکانس موج می تواند تا حدی بدون تاثیر قابل توجه روی استحکام جوش تغییر کند. حباب های کوچک و مجزا ذوب ناشی از جریان گردابی جت معمولاً برای کیفیت جوش زیان آور نیستند. حباب های ذوبی بزرگ شامل حفرات یا حتی میکرو ترک ها در ناحیه گردابی نشان می دهند که زاویه برخورد و انرژی بیش از حد بالا بوده و چنین جوشی یک جوش ضعیف محسوب می شود. نمونه آزمایش متالوگرافی می بایست از یک ناحیه انتخاب شود که بر کل جوش دلالت داشته باشد. لذا لبه های قطعه ممکن است به همین دلیل برای انجام آزمایش مناسب نباشد. [6]

۴) آزمایش کششی - برشی

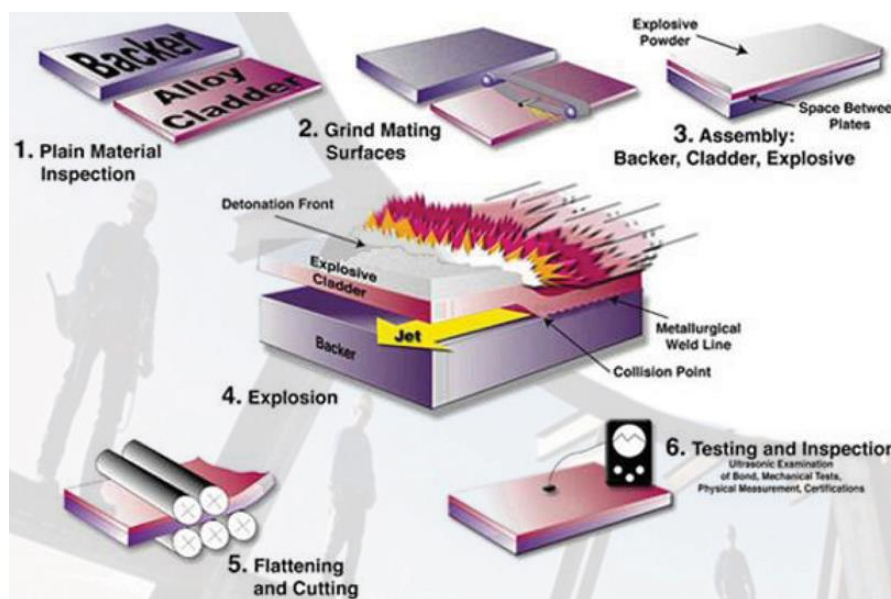
این تست برای تعیین مقاومت برشی جوش به کار می رود. پیکر بندی نمونه تست در شکل نشان داده شده است. طول ناحیه برش (d) می بایست به نحوی انتخاب شود که تنها خمش اندکی یا هیچ گونه خمشی در دیگر قسمت ها رخ ندهد. شکست نمونه تست می بایست به واسطه برش، به موازات خط جوش رخ دهد. چنانچه شکست در فلز پایه اتفاق بیفتد استحکام برشی جوش به طور مشهودی بزرگتر از استحکام فلز پایه است. در هر صورت نتایج تنها برای مقایسه با استفاده از یک نمونه تست مشترک مورد استفاده قرار می گیرد [6]



شکل ۱۲ نمونه تست کششی برشی

کاربردها

۱. یکی از روش‌های روکش با استفاده از فرایند جوشکاری انفجاری است که در صنعت رشد روزافزون داشته است. جلوگیری از خوردگی و بهبود کیفیت، انتقال حرارت، افزایش مقاومت در برابر تنش‌ها، بهبود خواص الکتریکی و... از ویژگی‌های فرایند یاد شده است. این فرایند در شکل ۱۰ به صورت شماتیک ۶ مرحله‌ای نشان داده شده است:



شکل ۱۰ مراحل روکش فلزات با استفاده از فرایند جوشکاری انفجاری

- در مرحله ۱، فلز اصلی (نگهدار) و روکش، بازرسی و آماده می‌شوند.
- در مرحله ۲، سطوح با ماشین کاری و پرداخت، کاملاً صاف و صیقلی می‌شوند.
- در مرحله ۳، روکش برای روی فلز اصلی و ماده منفجره روی آن قرار داده می‌شود.
- در مرحله ۴، جوشکاری انفجاری رخ می‌دهد.
- در مرحله ۵، صافکاری فلز و برش اضافات صورت می‌گیرد.
- در مرحله ۶، وضعیت روکش از لحاظ ضخامت و چسبندگی تست می‌شود. [7]

۲. اتصال پره‌های سرمایی (سردکننده‌ها)

۳. اتصال فلزات غیرهمسان آلومینیم به استیل، مس به فولاد زنگ نزن (Stainless Steel) همبستگی از آهن و کربن و کروم و منگنز با درصدهای ۹۰ و ۰/۵ و ۸ و ۰/۵، نقطه ذوب ۱۵۱۰ و چگالی ۷/۷۴)، تنگستن به استیل و جوشکاری فلزات آهن - مس، تیتانیوم - آلومینیم، فولاد زنگ‌نزن - اینکونل (Inconel) همبستگی از نیکل و آهن و کروم با درصدهای ۸۰ و ۶ و ۱۴ که دارای قدرت زیادی در دماهای بالا می‌باشد، آلومینیم - آهن و غیره

۴. دیگر کاربردها در مخازن و فرایندهای شیمیایی، صنایع کشتی‌سازی، صنایع کریوژنیک و غیره [5]

مزایا

۱. از طریق جوشکاری انفجاری، می‌توان بیشتر فلزات غیرهمسان و غیرقابل جوشکاری در شرایط عادی را به هم وصل کرد

2. کمبود حرارت، از رفتارهای فلزی جلوگیری می‌کند (محافظت می‌کند)

3. فرایندی ساده برای انجام و قابل حمل و نقل

4. ارزان (مقرون به صرفه)

5. نیازی به آماده کردن سطوح نیست

6. اندازه صفحه پایینی هیچ محدودیتی ندارد

7. اتصال یکپارچه قطعه [6],[4]

محدودیت‌ها

1. فلزات باید مقاومت در برابر ضربه و قابلیت شکل‌پذیری بالایی داشته باشند.

2. صفحه بالایی (صفحه پرنده) نمی‌تواند بسیار بزرگ باشند.

3. سروصدا و جریان سریع هوا، نیاز به حمایت کاربر با محفظه‌های خلائی دارد (تدفین در شن یا آب).

4. استفاده از مواد منفجره در مناطق صنعتی، به دلیل سروصدا و لرزه‌های حاصل از انفجار، با محدودیت روبه‌روست. [4]

نتیجه‌گیری

استفاده از نیروی حاصل از انفجار، امکان می‌دهد که بر محدودیت‌های روش‌های متداول جوشکاری فائق آمده و بدون نیاز به تجهیزاتی ویژه، برای برخی معضلات صنایع شیمیایی، صنایع هوا و فضا و صنایع کشتی‌سازی، راه‌حلهایی مناسب بیابیم.

اتصال دو قطعه فلزی بر اثر ضربه تحت شرایط معینی از نقطه نظر سرعت ضربه و زاویه دینامیکی آن، امکان پذیر می شود. هرگاه، برخورد قطعات فلزی با استفاده از ماده منفجره صورت گیرد، شیوه اتصال را جوشکاری انفجاری می نامند. اتصال قطعات فلزی در فاز جامد تحت ضربه مایل و بدون نیاز به منبع حرارتی و ذوب امکان پذیر می شود. هرگاه پارامترهای موثر بر فرایند به دقت کنترل شوند، اتصال یا جوش انفجاری از کیفیت بسیار بالایی برخوردار خواهد بود. [5]

موارد تحقیق شده به طور مختصر عبارتند از :

1. اتصال کامل سطحی فلزات همجنس و غیرهمجنس و تولید قطعات فلزی مرکب
2. ایجاد پوشش مقاوم از فلزاتی نظیر تیتانیوم بر سطح فولاد و تولید قطعات مرکبی که بتوانند دمای بالا و حملات شیمیایی را تحمل کرده و در برابر خوردگی و سایش مقاوم باشند
3. تولید مخازن دوجداره که سطح داخلی در برابر عوامل خورنده مقاوم بوده و لایه بیرونی دارای استحکام مکانیکی لازم است
4. تولید لوله های استوانه ای دوجداره
5. تولید ظروف دو جداره به نحوی که بتوان از خواص متفاوت دو فلز بهره گرفت
6. اتصال لوله های فلزی به بدنه های فلزی
7. اتصال لوله های همجنس و غیرهمجنس و تولید اتصالات کاملاً قابل اعتماد برای صنایع شیمیایی و صنایع هوا و فضا.. [8]

منابع و مراجع:

- [1] ASM Handbook, "Welding, brazing and soldering", Vol 6, 9
- [2] Kudinov V.M., Zakharenko I.D., "Criteria for selecting the parametrs of explosion welding", Welding production,
- [3] Raghugandan K., Balasubramanian V., "Modelling of process parameters in explosive cladding of mildsteel and aluminium ", Journal of Materials Processing Technology.
- [4] Grignon, F., Benson, D., Vecchio, K.S., and Meyers, M.A., "Explosive Welding of Aluminium to Aluminium Analysis, Comput.

- [5] A. Durgutlu, B. Gulenc and F. Finidik, "Examination of Copper/Stainless Steel Joints Formed by Explosive Welding", Mater & Des, Vol. Vol. 26, pp. 497–507, 2005.
- [6] S. A. A. Akbari Mousavi and S. T. S. Al-Hassani, "Numerical and Experimental Studies of Mechanism of Wavy Interface Formations in Explosive/Impact Welding", J Mech Phys Sol, Vol. 12, pp. 251–279, 2005.
- [7] Standard 50162, "Determination of Shear Strength between Cladding Metal and Parent Metal in Shear Test", DIN, 1978.
- [8] S. A. A. Akbari Mousavi and P. Sartangi, "Experimental Investigation of Explosive Welding of Cp-titanium/AISI 304 Stainless Steel", Mater & Des, Vol. 30, pp. 459-468, 2009.