

فناوری انتقال فلز سرد (CMT) - یک مرور کلی

خلاصه

فناوری انتقال فلز سرد با ایجاد بهبود زیبایی شناسی مهره های جوش با رسوب فلز کنترل شده و حرارت ورودی کم، انقلابی در جوشکاری فلزات غیر مشابه و مواد ضخیم تر ایجاد کرده است. در این مطالعه، فرآیند، ترکیبات جوش، جوشکاری هیبریدی لیزر-CMT و کاربردهای جوشکاری CMT به طور انتقادی بررسی می‌شوند. ریزساختار و سایر ویژگی‌های جوش به طور طولانی برای ترکیب‌های مختلف فلز پایه مورد بحث قرار گرفته‌اند. به ویژه جوشکاری آلومینیوم و فولاد با نتایج بهتر با CMT Welding امکان پذیر شده است. نتایج بررسی شده در این مقاله نشان می‌دهد که جوشکاری هیبریدی CMT-Laser نسبت به جوشکاری هیبریدی لیزری یا لیزری ارجحیت بیشتری دارد. جوشکاری CMT کاربردهایی در صنایع خودروسازی، بخش‌های دفاعی و نیروگاه‌ها به عنوان روشی برای تولید افزودنی پیدا کرده است.

۱. معرفی

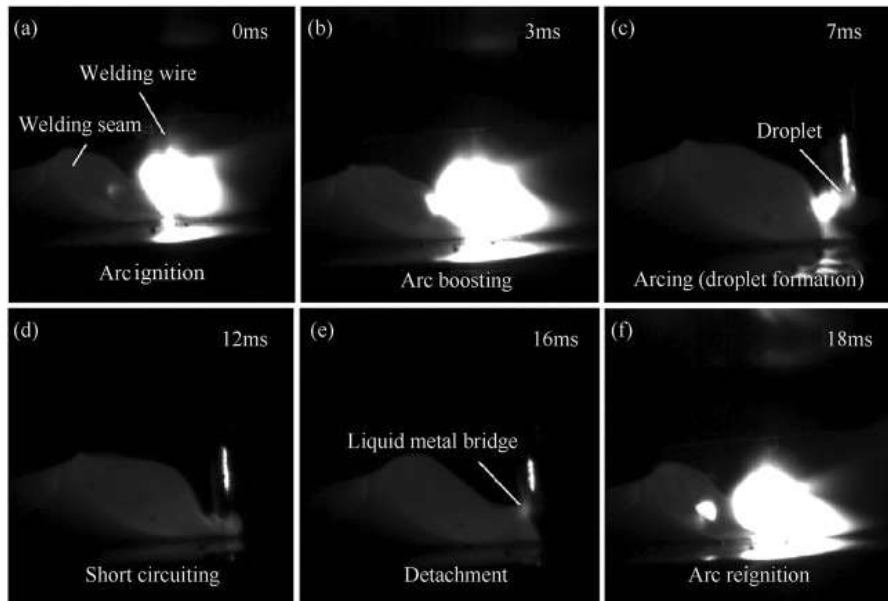
جوشکاری انتقال فلز سرد یک فرآیند جوشکاری MIG اصلاح شده بر اساس فرآیند انتقال اتصال کوتاه است که توسط **Fronius** اتریش در سال ۲۰۰۴ توسعه یافته است. این فرآیند با فرآیند جوشکاری MIG/MAG تنها به دلیل نوع روش برش قطره مکانیکی که قبلاً با آن مواجه نشده بود متفاوت است. در حین جوشکاری، تغییرات دما در جوش ها و فلزات اصلی تأثیرات مهمی بر ویژگی های مواد، تنش های پسماند و همچنین بر دقت ابعادی و شکلی محصولات جوش داده شده دارد. انتقال فلز سرد روش کنترل شده ای را برای رسوب مواد و ورودی حرارتی کم را با ترکیب یک سیستم تغذیه سیمی نوآورانه همراه با کنترل دیجیتالی با سرعت بالا ارائه می‌دهد. نرخ تغذیه سیم و فاز قوس چرخه ای کنترل می‌شود تا انرژی کافی برای ذوب شدن مواد پایه و یک گلوله سیم پرکننده به دست آید. دو ویژگی اصلی فرآیند CMT وجود دارد: یکی در نقطه اتصال کوتاه با جریان کم که مربوط به ورودی گرمای کم است، دیگری وقوع اتصال کوتاه به شیوه ای کنترل شده پایدار است.

فرآیند انتقال اتصال کوتاه را با نام "رسوب قطرات با کمک مکانیکی" معرفی کرد که در کنترل اتصال کوتاه با جمع کردن سیم از اتصال کوتاه استفاده می‌شود Schierl. گزارش داد که حالت جداسازی قطرات فرآیند CMT بدون کمک نیروی الکترومغناطیسی در مقایسه با فرآیند MIG معمولی است، بنابراین پاشش می‌تواند کاهش یابد. پیکین و یانگ قبلاً اصول عملیاتی اساسی این فرآیند را گزارش کردند. که فرآیند CMT به دلیل گرمای کم و تغییر شکل جزئی برای جوشکاری ورق های آلیاژ آلومینیوم نازک مناسب است. مطالعات اضافی توسط Zhang و همکاران. و کائو و همکاران تمرکز بر کاربرد فرآیند در آلیاژهای غیر مشابه به دلیل گرمای ورودی کم است که از تشکیل ترکیبات بین فلزی شکننده جلوگیری می‌کند.

یک رابط گرافیکی توسط Sónia Meco و همکاران توسعه داده شد. با استفاده از روش درونیایی و شبکه عصبی برای کمک به کاربر در انتخاب پارامترهای مناسب جوش CMT برای کاربرد مورد نظر، با تجسم گرافیکی پروفیل های جوشکاری، که منجر به صرفه جویی در زمان، مواد و هزینه می‌شود. آمین س. آذر مدل منبع حرارتی را برای شبیه سازی اثر قوس های دوره ای و مکرر و پدیده رسوب فلز در نوع انتقال فلز سرد در جوشکاری تولید کرد. این مدل مطالعه رفتار حوضچه جوش و خواص مکانیکی حاصل را تسهیل می‌کند. تصویربرداری نوترونی و تحلیل کمی مادون قرمز برخی از آزمایشات غیر مخرب اخیر هستند که بر روی نمونه جوش CMT انجام شده است. یک مدل مورد نیاز برای شبیه سازی همکاری مشخصه بین تغذیه سیم و ورودی گرما توسط Fengyuan Shu و همکاران منتشر شد.

۲. فرآیند انتقال فلز سرد

در فرآیند CMT، هنگامی که نوک سیم الکتروود با حوضچه مذاب تماس پیدا می‌کند، سروموتور مشعل جوشکاری «رابط در ایو» با کنترل فرآیند دیجیتال معکوس می‌شود. این باعث می‌شود که سیم انتقال قطرات را که در شکل ۱ نشان داده شده است جمع کند. به محض اتمام انتقال فلز، قوس دوباره مشتعل می‌شود و سیم یک بار دیگر با جریان جوش تنظیم شده به سمت جلو هدایت می‌شود.

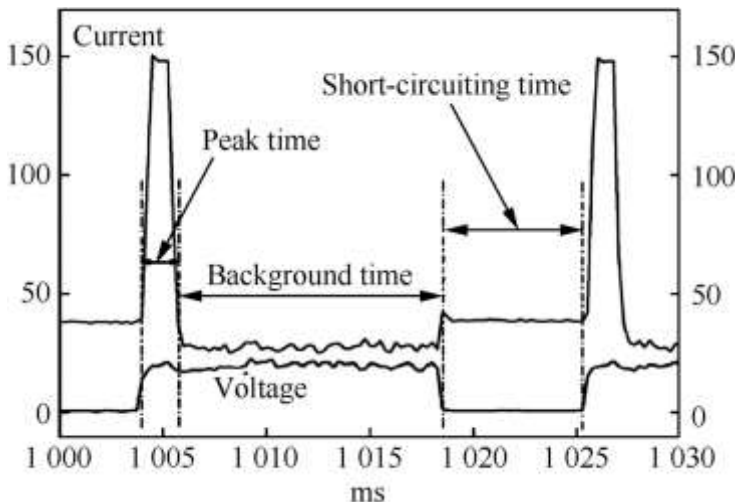


شکل ۱ - تصاویر با سرعت بالا از انتقال قطرات.

یک چرخه سیگنال الکتریکی جوشکاری CMT معمولی را می توان به عنوان دوره مورد نیاز برای رسوب یک قطره الکتروود مذاب در حوضچه جوش تعریف کرد. تجزیه و تحلیل شکل موج جریان و ولتاژ برای مطالعه توزیع انرژی فازهای مختلف در فرآیند انتقال قطرات ضروری است. چرخه به سه مرحله به شرح زیر تقسیم می شود:

۱. فاز پیک جریان: این یک ولتاژ قوس ثابت است که مربوط به یک پالس جریان زیاد است که باعث احتراق قوس جوش به راحتی می شود و سپس الکتروود سیم را گرم می کند تا قطرات ایجاد کند.
۲. فاز جریان پس زمینه: فاز مربوط به جریان کمتری است. جریان کاهش می یابد تا از انتقال کروی قطره کوچک مایع تشکیل شده روی نوک سیم جلوگیری شود. این مرحله تا زمانی که اتصال کوتاه رخ دهد ادامه می یابد.
۳. فاز اتصال کوتاه: در این فاز ولتاژ قوس به صفر می رسد. در همان زمان، سیگنال بازگشت به فیدر سیم ارائه می شود که به سیم نیروی پس کشی می دهد. این فاز به شکست مایع و انتقال مواد به حوضچه جوش کمک می کند.

شکل موج پیچیده جریان جوشکاری در فرآیند CMT و "تغذیه برگشتی" سیم پرکننده که به طور مکانیکی انتقال فلز را وادار می کند، درک رابطه بین پارامترهای جوشکاری، انتقال فلز و انتقال حرارت همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است را دشوار می کند. که توسط Mezrag و همکاران مورد مطالعه قرار گرفته است. برای اتصال جوش AI 4043-S235. با مدیریت کامل طول قوس و تحمل های جفت لبه بالا، فرآیند CMT مطمئناً در برنامه های صنعتی مختلف در آینده به عنوان راهحلی برای غلبه بر معایب روش های جوشکاری فعلی درگیر خواهد شد.



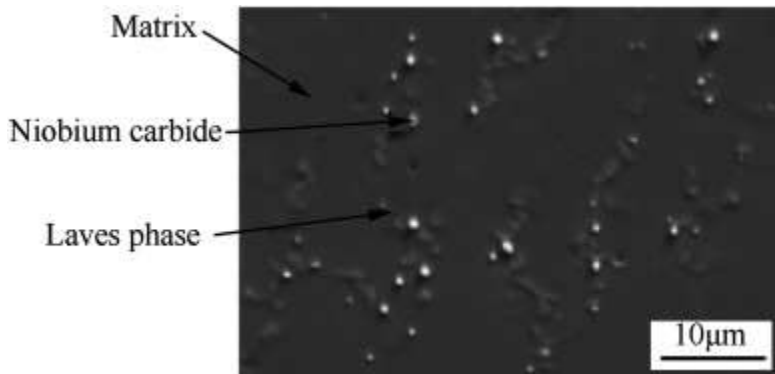
شکل شماره ۲

۳. جوشکاری CMT فلزات مشابه

CMT جوشکاری کارآمد بسیاری از آلیاژهای آلومینیوم مشابه را انجام داده است. جوش های فلزی مشابه تهیه شده با استفاده از CMT برای انواع آلیاژها در زیر مورد بحث قرار می گیرند.

۱-۳ - آلیاژ اینکونل ۷۱۸ Inconel 718 alloy

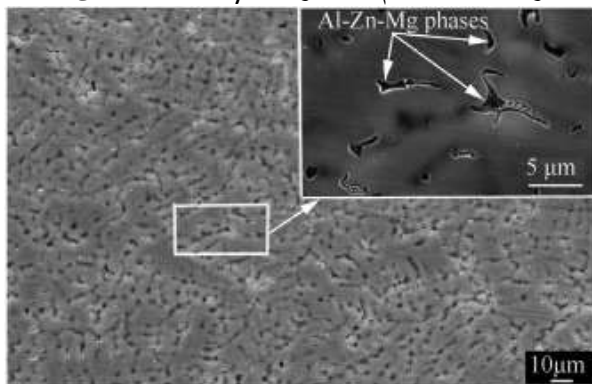
تجزیه و تحلیل ریزساختاری عدم وجود همجوشی را نشان داده است که کیفیت جوش را به خوبی ثابت می کند. منطقه متأثر از گرما (HAZ) ارائه شده در شکل ۳، در مقایسه با منطقه ای که توسط جوشکاری MIG کلاسیک تولید می شود، اندازه کوچکی دارد (۰/۵ میلی متر). اندازه و هندسه کریستالیت ها در ناحیه جوش، یعنی دندریت های بزرگ، مشابه آنهایی است که در فرآیند MIG کلاسیک به دست می آیند. پس از انجام آنالیز شیمیایی EDS، هیچ تغییر قابل توجهی در همگنی مهره جوش مشاهده نشده است. تنش های پسماند حداقل هستند. این اثر توسط Benoit et al. نشان می دهد که جوشکاری CMT برای جوشکاری Inconel 718 کاملاً مناسب است



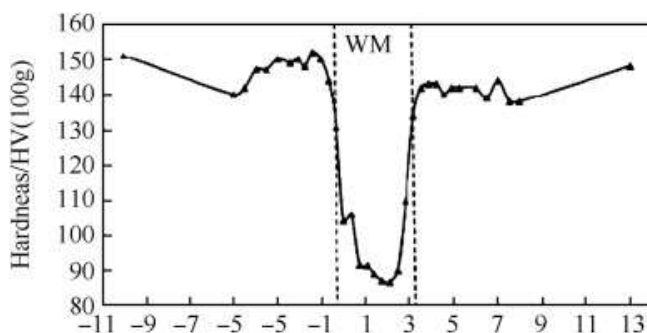
تصویر شماره ۳

۲-۳ - آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵

اتصالات بدون پاشیدگی، ترک و دارای تخلخل بسیار کم آماده شدند. اتصالات حداقل ریزسختی را در ناحیه جوش (WZ) نشان داده شده در شکل ۴ نشان دادند و سختی جزئی در HAZ در مقایسه با فلز پایه (BM) کاهش یافت. مقایسه ریزسختی بین WZ و HAZ را می توان در شکل ۵ مشاهده کرد. اتصال دارای ضرایب خاصیت مکانیکی ۷۷٪، ۶۰٪ و ۴۹٪ برای استحکام تسلیم، استحکام کششی نهایی و ازدیاد طول بود. جوشکاری CMT انجام شده توسط Elrefaey نشان داد که اتصالاتی با ویژگی های مکانیکی بهتر از فرآیندهای MIG و TIG معمولی و قابل مقایسه با فرآیندهای FSW و LBW ایجاد می کند.



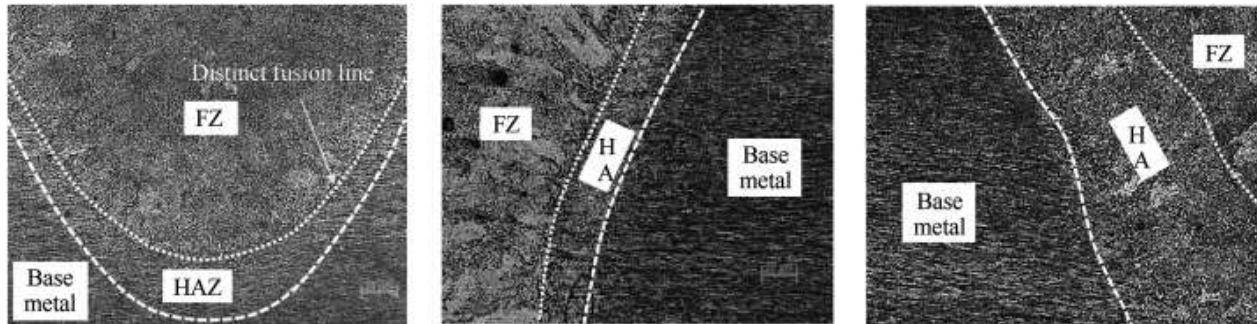
تصویر شماره ۴ - منطقه جوش آلیاژ Al 7075.



تصویر شماره ۵ - مشخصات میکروسختی در رابط WZ/HAZ.

۳-۳ - آلیاژ آلومینیوم AA6061

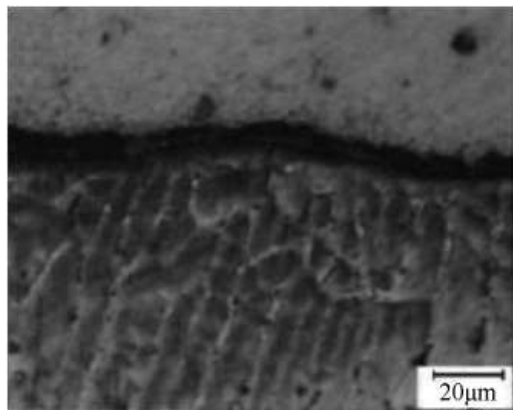
هنگامی که پاون کومار و همکاران، ورق های آلایژ آلومینیوم نازک را با استفاده از پرکننده، که از همان ترکیب فلز پایه است، جوش دادند، جوش ترکیبی شبه دوتایی را نشان داد. این ترکیب به طور بالقوه کمتر مستعد ترک خوردگی انجماد، خط همجوشی کنترل شده، منطقه تحت تاثیر حرارت باریکتر (HAZ) و کاهش سطح فاز بین فلزی است. ریزساختارها برای پارامترهای مختلف جوش که در شکل ۶ دیده می شود، تبلور مجدد خوب را در اتصالات نشان می دهد. توزیع یکنواخت دانه ها و اندازه آن در جوش HAZ و فلز پایه به طور مشخص قابل مشاهده بود.



تصویر ۶ - ریزساختارهای آلیاژ AA6061 همانطور که از میکروسکوپ نوری مشاهده می شود.

۳-۴ - ورق فولادی گالوانیزه

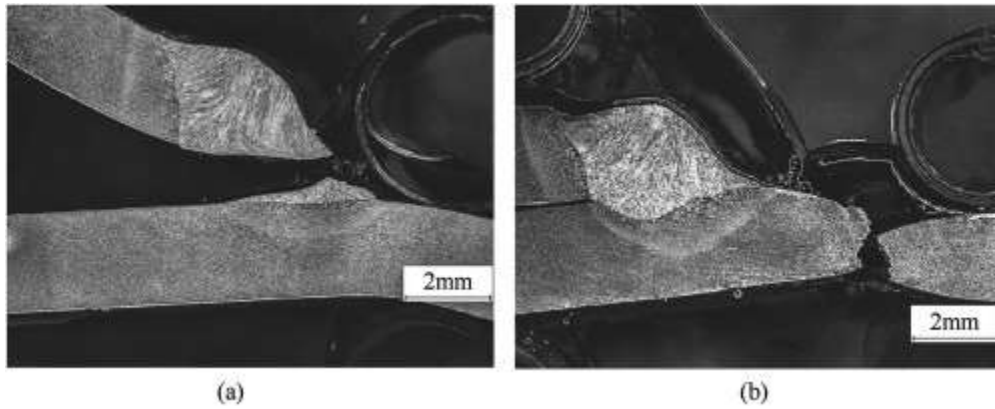
اتصالات فولاد گالوانیزه ساخته شده با سیم الکتروود $CuSi_3$ تحت بررسی متالوگرافی میکروسکوپی نشان داده شده در شکل ۷ قرار گرفتند که شامل منطقه جوش و مواد پایه بود. بررسی متالوگرافی ماکرو و میکروسکوپی توسط Magda و همکاران. کیفیت بالای اتصالات لحیم کاری شده را تایید کرد، که هم وجود یک ناحیه انتشار مس و هم لایه روی آسیب خورده را در مناطق مجاور جوش نشان داد.



شکل ۷. منطقه جوش لحیم کاری شده.

۳-۵ - فولاد گالوانی

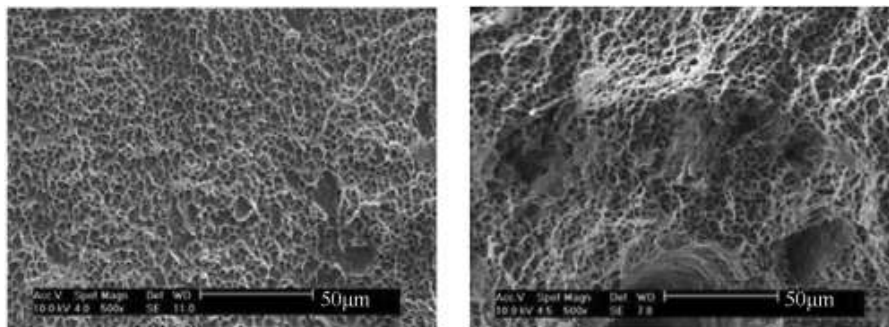
شرایط ورودی گرمای کم و زیاد تمایل به تشکیل تخلخل کمتر در مهره جوش داشتند، در حالی که شرایط ورودی گرمای متوسط مستعد تشکیل تخلخل بودند. انجماد در شرایط ورودی گرمای کم در اوایل شروع شد و منجر به ایجاد تخلخل های کوچک در نزدیکی ریشه جوش شد که در شرایط گرمای ورودی بالا از آن اجتناب می شود. شکل ۸ مکانیسم های مختلف تشکیل تخلخل را نشان می دهد. احسن و همکاران شرایط جوشکاری بهینه را برای کاهش تخلخل برای دو ورودی محدوده حرارتی ایجاد کرد، یکی در ورودی گرمای کم در محدوده ۲۰۰ تا ۲۵۰ ژول بر میلی متر و دیگری در ورودی های گرمای بالا، از ۳۵۰ ژول بر میلی متر شروع و تا ۵۵۰ ژول بر میلی متر افزایش می یابد.



شکل ۸. مکانیسم های تشکیل تخلخل در ورودی های حرارتی مختلف.

۶-۳ - آلیاژ آلومینیوم 5083-H116

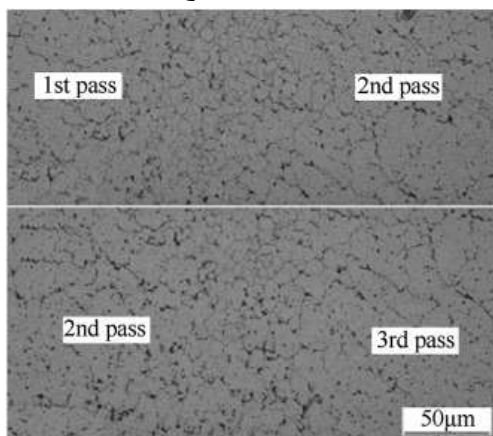
ژاير کارلوس دوترا و همکاران از دو الکتروود سیمی مختلف Al 5183 و Al 5087 استفاده شد. جوش با استفاده از الکتروود Al 5087 عملکرد مکانیکی بهتری را در آزمایش های کششی نشان داد. میکروسختی در هر دو WZ و HAZ مشابه بود. عملاً، هر دو الکتروود سیمی چقرمگی یکسانی را نشان دادند. نتایج آزمون چقرمگی جابجایی باز شدن نوک ترک نشان می دهد که ترکیبات اعمال شده از پایه و مواد خوراکی ویژگی های مقاومت ترک خوردگی خوبی را ارائه می دهند.



شکل ۹. میکروگراف SEM از شکستگی در اتصالات جوش با استفاده از سیم پرکننده ۵۰۸۷ و ۵۱۸۳.

۷-۳ - آلیاژ آلومینیوم AA7A52

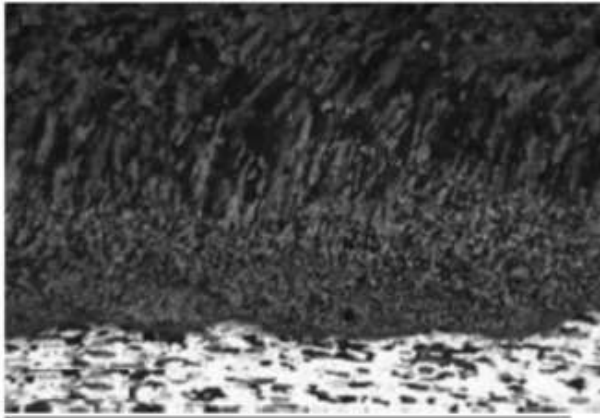
فنگ و همکاران نشان داد که جداسازی بین دانه های، که باعث ایجاد مرز دانه درشت بین مسیلهای جوش می شود، همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، نشان داده شد که عملکرد مکانیکی پایین تری از خود نشان می دهد. توزیع تنش سه محوری در ناحیه همجوشی نشان دهنده تمایل به شکست کششی در شرایط سرویس بود. منطقه نرم شده در داخل صفحات پایه بسیار گسترده تر از نزدیک به سطوح صاف بود. منطقه خاموش شده نواری به وضوح از صفحات داخلی منطقه متوسط باریک تر بود.



شکل ۱۰. ریزساختار ناحیه مذاب

۸ - ۳ - آلیاژ AA2219-T851

یک هندسه انگشتی باریک مشاهده شد. با استفاده از فرآیند CMT مرسوم. تعداد زیادی منافذ گاز در قسمت های پایین و بالایی جوش وجود دارد. شکل ۱۱ ریزساختار جوش را در جهت طولی با استفاده از جوشکاری CMT معمولی نشان می دهد. تخلخل به طور موثر با کمک جوش CMT کاهش یافت.



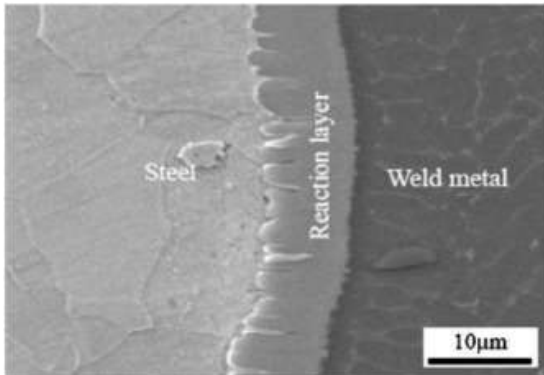
شکل ۱۱. ریزساختار جوش در جهت طولی.

۴. جوشکاری CMT فلزات غیر مشابه

جوشکاری CMT همچنین به طور گسترده برای جوشکاری فلزات غیر مشابه مانند آلومینیوم و فولاد استفاده می شود. در زیر به جوش های متفاوتی که با استفاده از CMT تهیه شده اند، پرداخته شده است.

۴/۱. فولاد با روکش روی (Q235) و آلومینیوم فرفورژه (6061)

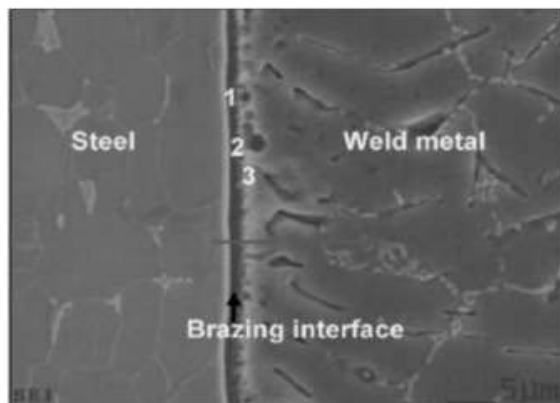
لایه های بین فلزی تشکیل شده در سطح مشترک بین فولاد روکش شده روی و آلومینیوم فرفورژه عمدتاً فاز $FeAl_3$ هستند. ژانگ و همکاران دریافته اند که CMT با کاهش ضخامت ترکیب بین فلزی شکننده در سطح مشترک بین آلومینیوم و فولاد، استحکام اتصال لبه فلزی غیر مشابه را افزایش می دهد. ساختار دندانه ای که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، عمدتاً در طول انجماد ایجاد می شود، عمدتاً توسط انتشار اتم های Fe و Al در سطح مشترک بین آلومینیوم مذاب و فولاد جامد کنترل می شود.



شکل ۱۲. رابط بین فلز جوش و فولاد.

جوشکاری CMT Q235 با Al6061-T6. استحکامی برابر با جوشکاری CMT Al6061-T6 با Al6061-T6 ایجاد کرد.

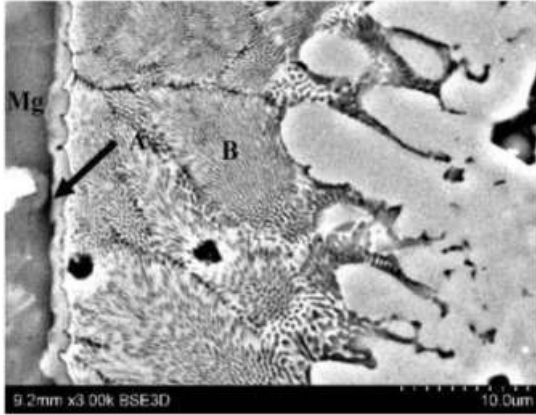
مشخص شد که استحکام اتصال به ضخامت لایه بین فلزی نشان داده شده در شکل ۱۳ و نرم شدن ناحیه متاثر از حرارت آلومینیوم بستگی دارد.



شکل ۱۳. ریزساختار رابط لحیم کاری.

۲- ۴ - منیزیم AZ31 و آلیاژ آلومینیوم ۱۰۶۰

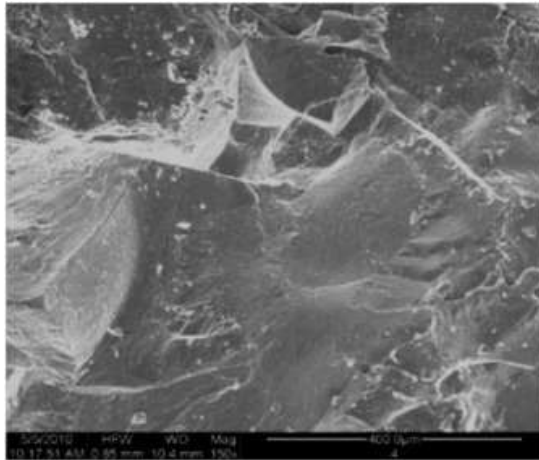
وانگ و همکاران هیچ نقصی در جوش مشاهده نشد زیرا حرارت ورودی کم و افزودن Si به جوش به طور موثری از ایجاد ترکیبات بین فلزی شکننده جلوگیری می کند که با استفاده از پراش اشعه ایکس بررسی می شود. شکل ۱۴ ناحیه همجوشی نزدیک زیر لایه منیزیم است که استحکام اتصال و ریزساختار آن را دیکته می کند. چهار لایه پیوسته شامل لایه محلول جامد، لایه ساختار یوتکتیک، لایه $Mg_{17}Al_{12}$ و لایه $Mg_{2}Al_3$ مشاهده می شود. ریزسختی در ناحیه همجوشی نزدیک سمت منیزیم حدود ۲۳۰-۲۴۰ HM بیشتر از فلز جوش ۱۲۰ HM و بستر منیزیم ۶۰ HM است.



شکل ۱۴. میکروگراف ناحیه همجوشی.

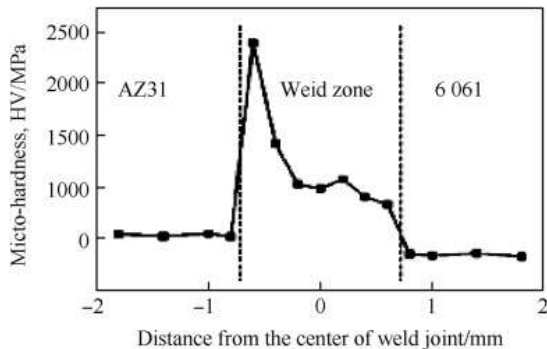
۳- ۴ - نوار منیزیم AZ31 و آلیاژ $Al_{60.61}$

وقتی از مس خالص به عنوان فلز پرکننده استفاده شد، ترکیبات بین فلزی $AlCu$ ، $CuAl_2$ ، Cu_9Al_4 در ناحیه همجوشی سمت Al وجود داشتند، و محلول جامد مبتنی بر Cu در ناحیه جوش تولید شد، در حالی که ساختار یوتکتیک سه تایی Cu_2Mg و $Al-Cu-Mg$ تشکیل شد. منطقه همجوشی سمت منیزیم استحکام باند اتصال ۳۴/۷ مگاپاسکال بود. شکل ۱۵ مورفولوژی شکستگی را نشان می دهد. شکستگی در ناحیه همجوشی سمت منیزیم رخ داد که در آن مقدار ریز سختی به دلیل مقدار زیاد ترکیب بین فلزی Cu_2Mg بالاترین بود.

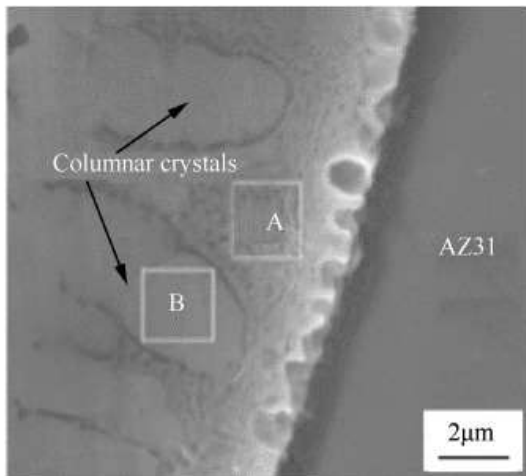


شکل ۱۵. مورفولوژی شکستگی.

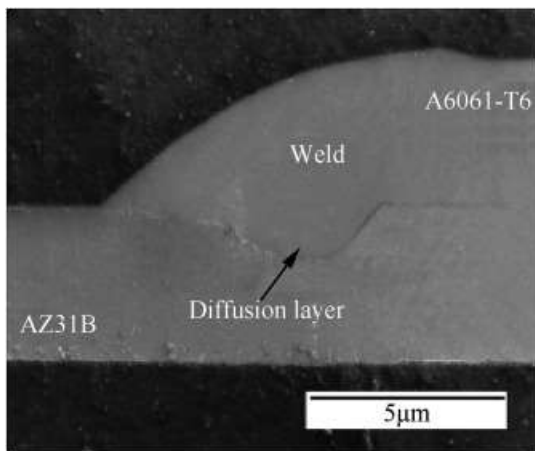
با ER4043 به عنوان فلز پرکننده، جوش CMT منیزیم AZ31B و آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۱ که توسط Shang Jing و همکاران توسعه یافته است. دارای ریزسختی یکنواخت در هر دو طرف بستر، حدود ۵۴۰ مگاپاسکال در سمت منیزیم و ۳۵۰ مگاپاسکال در سمت Al همانطور که در شکل ۱۶ مشاهده می شود. بالاترین مقدار ریزسختی ۲۳۸۰ مگاپاسکال در ناحیه همجوشی سمت منیزیم بود. ریزسختی در جوش از سمت منیزیم به سمت Al با کاهش ترکیبات بین فلزی روند کاهشی نشان داد. اتصال با استحکام پیوند کم در لایه ترکیبی بین فلزی ناحیه همجوشی سمت منیزیم شکسته شد. ترکیبات بین فلزی Mg_2Si ، $Mg_{2}Al_3$ و $Mg_{17}Al_{12}$ که به طور پیوسته در ناحیه همجوشی ارائه شده در شکل ۱۷ توزیع شده اند، مسئول شکستگی هستند.



شکل ۱۶. توزیع ریزسختی اتصال.



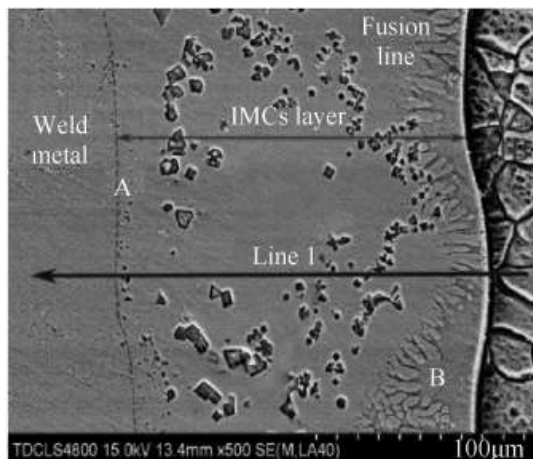
شکل ۱۷. منطقه همجوشی.



در حضور Al-5%Si به عنوان فلز پرکننده، حداکثر استحکام کششی ۳۶۰ نیوتن بر میلی متر توسط مدهاوان و همکاران به دست آمد. افزایش استحکام کششی به حداقل تنش کششی و رسوبات ریزتر نسبت داده شد. بهبود مقاومت در برابر خوردگی حفره ای به دلیل تشکیل Mg_2Si و Al_6Mn در لایه سطحی مشاهده شد. میکروگراف کل بخش جوش را می توان در شکل ۱۸ مشاهده کرد.

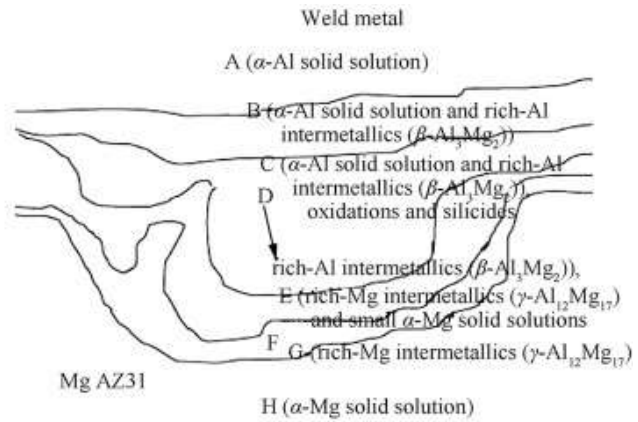
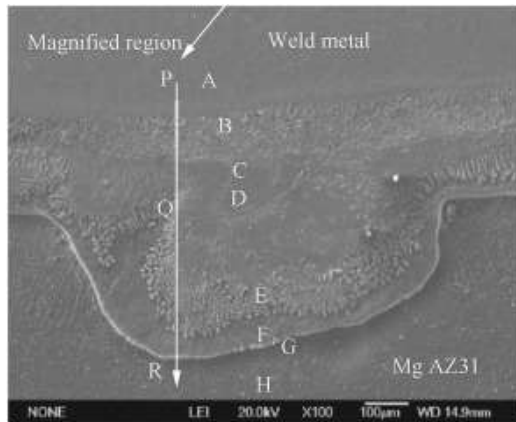
شکل ۱۸. مقطع جوش.

آلیاژ منیزیم AZ31B و Al 6061 با جوشکاری CMT با قطبیت متغیر (VPCMT) توسط پنگ وانگ و همکاران جوش داده شد. لایه های IMC Mg-Al در فصل مشترک جوش، نزدیک سمت AZ31B اتصالات جوش داده شده تشکیل شده و از سه لایه میانی تشکیل شده است: لایه Mg_2Al_3 ، لایه $Mg_{17}Al_{12}$ ، و لایه یوتکتیک محلول جامد $Mg_{17}Al_{12} + \alpha-Mg$ (بسیار نازک) همانطور که نشان داده شده است. در شکل ۱۹. با کاهش نسبت EP/EN از ۴:۱ به ۱:۴، ضخامت کل لایه IMC ها به تدریج افزایش یافت و استحکام کششی به طور قابل توجهی افزایش یافت. همه نمونه ها در لایه IMC های شکننده سخت شکسته شدند.



شکل ۱۹. رابط جوش.

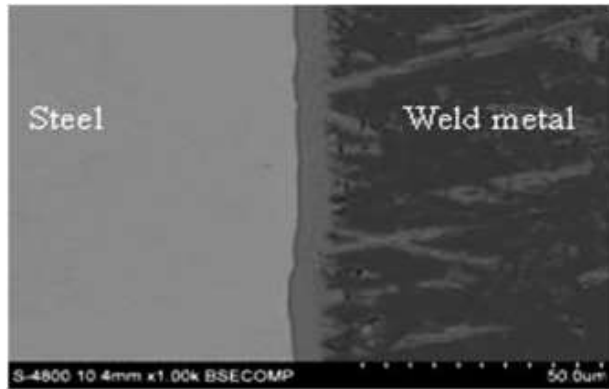
جوشکاری ورق های منیزیم AZ31B و Al 6061-T6 مقدار قابل توجهی از ترکیبات بین فلزی غنی از منیزیم را به دست آورد که در شکل ۲۰ نشان داده شده است که استحکام جوش را در کنار فلز پایه آلیاژ منیزیم کاهش می دهد. مدهاوان و همکاران هر دو. و کائو و همکاران نتایج مشابهی را برای جوش فوق به دست آورد.



شکل ۲۰. نمای بزرگ شده مقطع جوش و توزیع فاز شماتیک مربوطه.

۴-۴ - فولاد گالوانیزه گرم و آلیاژ آلومینیوم ۱۰۶۰

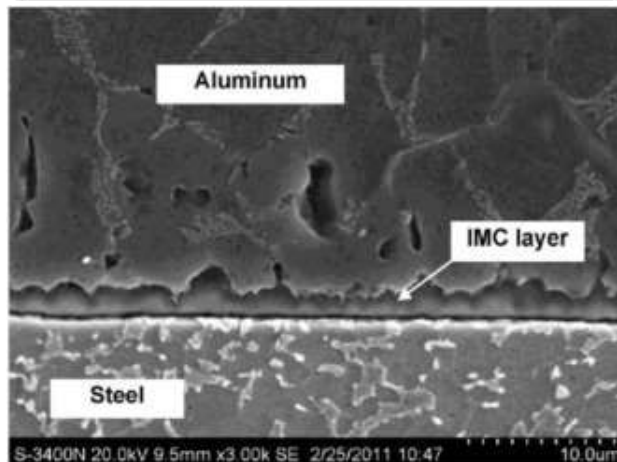
لایه مرکب در سطح مشترک بین فولاد و فلز جوش عمدتاً از فاز FeAl₃ و Fe₂Al₅ تشکیل شده است. شکل ۲۱ یک تصویر SEM از رابط فلزی جوش فولادی را نشان می دهد. ضخامت لایه ترکیبی بین فلزی زیر ۵ میکرومتر کنترل شد که استحکام اتصال را تضمین می کند. استحکام کششی به ۸۳ مگاپاسکال رسید.



شکل ۲۱. رابط فلزی جوش فولادی.

۴-۵ - آلومینیوم (AA6061) و آلیاژ فولاد کم کربن

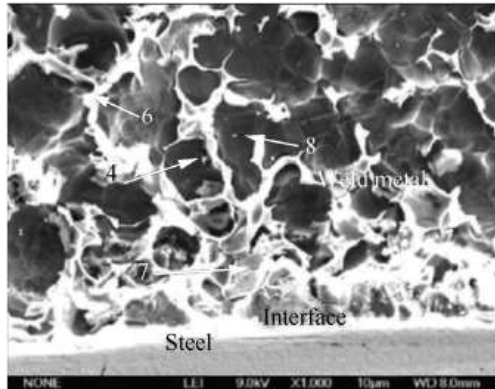
استحکام برشی بالاتر و شکست خط همجوشی توسط Jian Lin و همکاران ثبت شد. زمانی که پوشش روی به ورق فولادی ارائه شد. در غیر این صورت، منجر به کاهش مقاومت برشی و شکست رابط شد. حداکثر تنش اصلی و انرژی تغییر شکل به عنوان معیار برای شکست رابط و کرنش پلاستیک به عنوان معیاری برای شکست خط همجوشی پیشنهاد شد. شکل ۲۲ رابط بین فولاد و آلومینیوم را نشان می دهد.



شکل ۲۲. رابط آلومینیومی فولادی.

۶-۴ - منیزیم AZ31 و فولاد ملایم گالوانیزه گرم

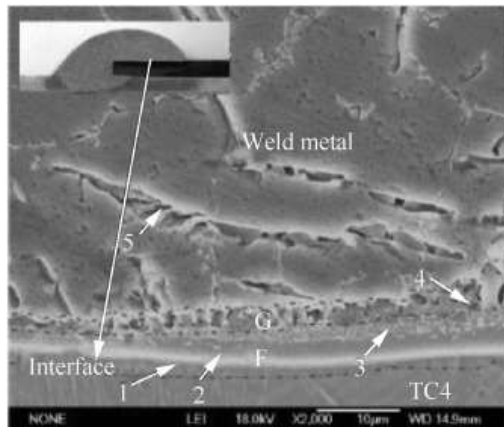
در پوشش روی روی سطح فولاد برای یک جوش سالم ضروری است. شکل ۲۳ رابط لحیم کاری را نشان می دهد که از ترکیبات و اکسیدهای بین فلزی (Zn، Al، Mg) یعنی $MgFeAlO_4$ ، Fe_2O_3 و Mg_2Zn_{11} و محلول جامد منیزیم تشکیل شده است. آلومینیوم در سیم جوش منیزیم AZ61 ترشوندگی یک فلز جوش غنی از منیزیم را بر روی ورق فولادی پوشش داده شده با روی افزایش می دهد.



شکل ۲۳. جوش فلز نزدیک لحیم کاری.

۶-۷ - آلیاژهای آلومینیوم A6061-T6 و تیتانیوم Ti-6Al-4V

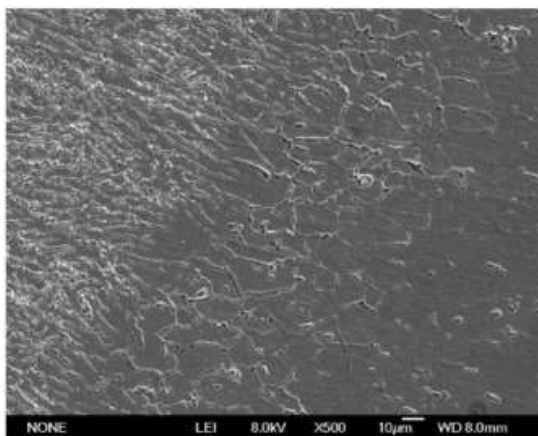
IMCها در رابط لحیم کاری نشان داده شده در شکل ۲۴ عمدتاً از دو لایه تشکیل شده اند: لایه پیوسته که از Ti_3Al و $TiAl$ نزدیک به آلیاژ Ti جامد تشکیل شده است، و دندانان ناپیوسته به شکل لایه $TiAl_3$ در کنار فلز جوش. کائو و همکاران شکستگی های مشاهده شده در رابط جوش / لحیم کاری و فلز جوش، و در HAZ Al با اکثر اتصالات در حالت دوم شکسته شده است. استحکام کششی اتصال تا ۱۹۴ نیوتن بر میلی متر بالاست.



شکل ۲۴. رابط لحیم کاری بین اتصال همجوشی و ماتریس آلیاژ Ti.

۶-۸ - آلومینیوم AA6061-T6 به آلیاژ فولاد گالوانیزه

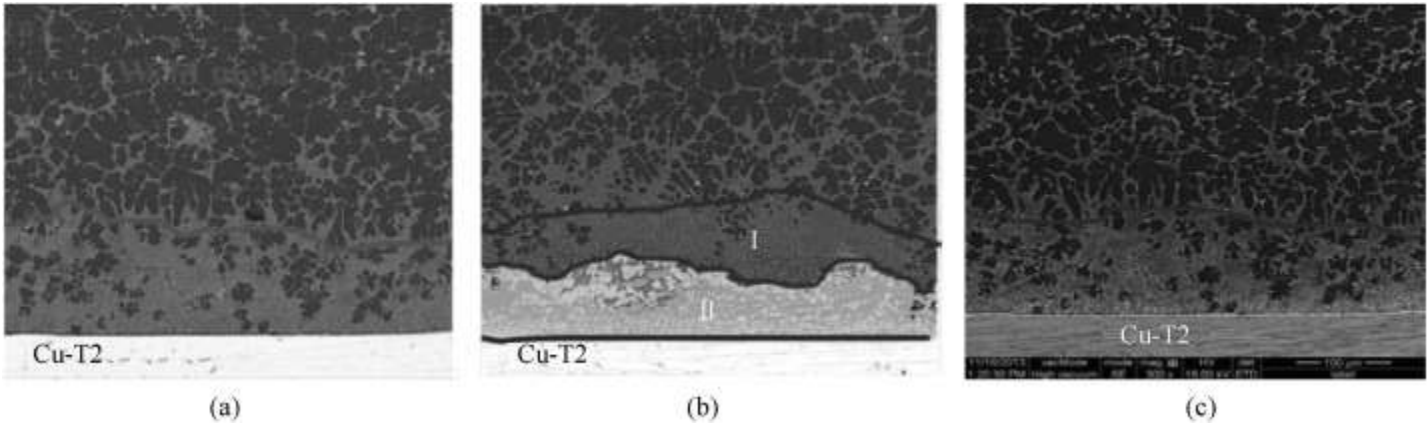
اگر سرعت فیدر سیم به درستی کنترل شود، می توان یک اتصال صوتی به دست آورد. فصل مشترک لحیم کاری بین فلز جوش Al و فولاد نرم گالوانیزه از نوع بین فلزی $FeAl_3$ با ضخامت حدود ۵-۸ میکرومتر تشکیل شده است. ریزساختار ناحیه همجوشی در شکل ۲۵ نشان داده شده است. علاوه بر این، توالی انباشته شدن مواد بر استحکام اتصالات جوش داده شده با پلاگ نقطه ای CMT تأثیر می گذارد. استحکام اتصالات AA6061 جوش داده شده نقطه ای کمتر از اتصالات فولادی نرم AA6061 به گالوانیزه است.



شکل ۲۵. منطقه همجوشی/AA6061-T6 فولاد.

۹- ۴- آلیاژ منیزیم AZ31B و آلیاژ مس خالص T2

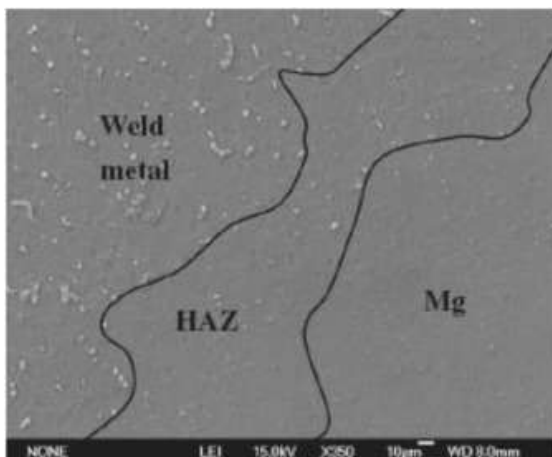
ناحیه لحیم کاری نوک جوش و ناحیه لحیم کاری ریشه جوش نشان داده شده در شکل ۲۶ (a) و (c) به ترتیب مشابه بودند و فقط از یک لایه IMC ($Mg_{17}Al_{12} + Al_6Cu_4Mg_5 + \alpha-Mg$) تشکیل شده بودند. با این حال، منطقه لحیم کاری میانی مشاهده شده در شکل ۲۶ (b) از دو لایه IMC ($Mg_{17}Al_{12} + Al_6Cu_4Mg_5$ و $Mg_2Cu + MgCu_2 + Al_6Cu_4Mg_5$) تشکیل شده است. هنگامی که ضخامت لایه های رابط لحیم کاری بین فلز جوش منیزیم و پایه مس در محدوده ۳۵۰-۸۰ میلی متر بود، اتصال لحیم شده می تواند به استحکام بالاتر ۱۷۲/۵ نیوتن بر میلی متر برسد. توسط کائو و همکاران به پایان رسید. که در این محدوده ضخامت لایه های رابط لحیم کاری بین فلزی هیچ تاثیر آشکاری بر مقاومت برشی کششی ندارد. h از مفصل لبه دار.



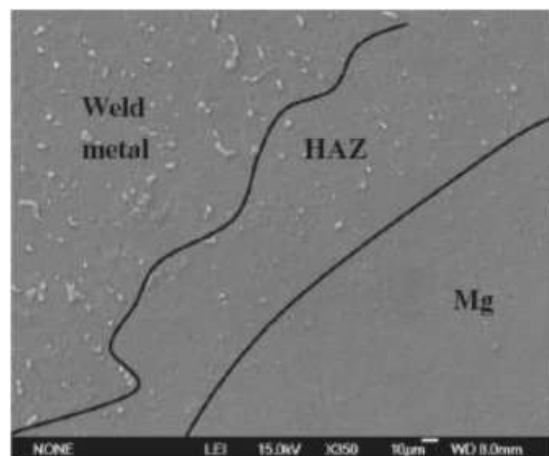
شکل ۲۶. ریزساختار الف) ناحیه لحیم کاری انگشتی ب) ناحیه لحیم کاری ریشه و ج) ناحیه میانی.

۱۰- ۴- تیتانیوم خالص TA2 به آلیاژ منیزیم AZ31B

برای اتصال Mg-Ti، ظاهر جوش راضی و بار کششی بالاتر ۲/۱۰ کیلو نیوتن به دست آمد. برای اتصال Ti-Mg، بار کششی ۱/۸۳ کیلو نیوتن تشخیص داده شد. رابط لحیم کاری توسعه یافته توسط کائو و همکاران. عمدتاً از Ti_3Al ، $Mg_{17}Al_{12}$ و $Mg_{0.97}Zn_{0.03}$ بین فلزی تشکیل شده بود. عناصر Al و Zn در فلز پایه منیزیم و سیم منیزیم برای پیوستن موفقیت آمیز به فلزات پایه منیزیم و تیتانیوم ضروری هستند. رابط جوش اتصال Mg/Ti و اتصال Ti/Mg به ترتیب در شکل ۲۷، شکل ۲۸ نشان داده شده است.

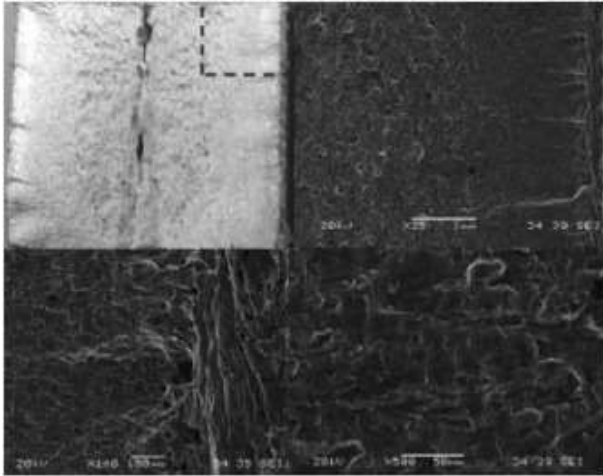


شکل ۲۸. رابط جوش اتصال Ti/Mg.



شکل ۲۷. رابط جوش اتصال Mg/Ti.

۱۱- ۴- آلیاژهای آلومینیوم 5083-H111 and 6082-T651 aluminium alloys

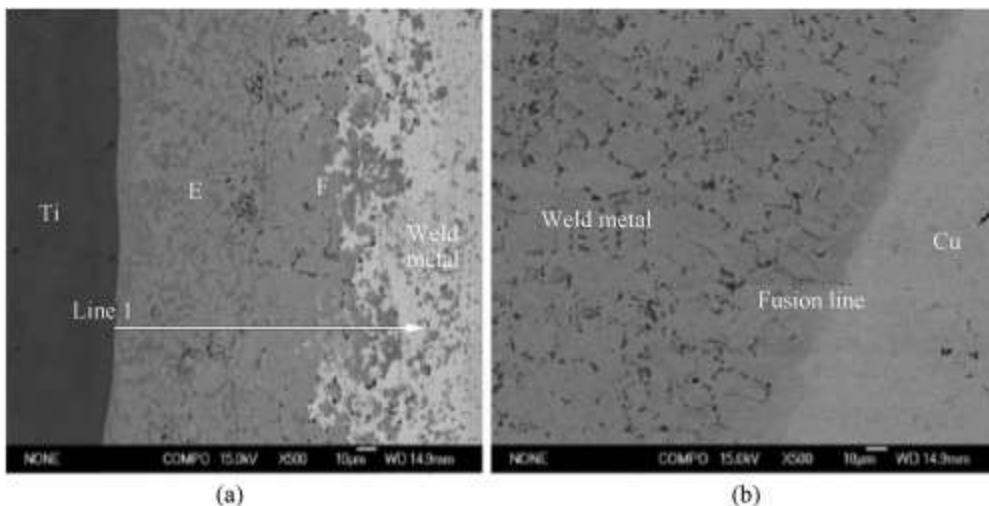


ریزسختی اتصالات جوش داده شده مشابه با سختی مشخصه عبوری در سراسر جوش بود، افت سختی کمی نزدیک به فلز پایه بود. اتصالات جوش و فلز پایه دارای استحکام کششی مناسبی بودند. شکل ۲۹ عکس های ماکروگراف و SEM از سطوح شکستگی نمونه خستگی را نشان می دهد. توسط بیت الله گونگر و همکاران ذکر شده است. که نتایج جوشکاری CMT به FSW نزدیکتر بود و مقادیر استحکام تسلیم بالاتری نسبت به سایر روش های جوشکاری داشت .

شکل ۲۹. سطح شکست نمونه های خستگی.

۱۲- ۴- تیتانیوم TA2 تا آلیاژ مس خالص T2

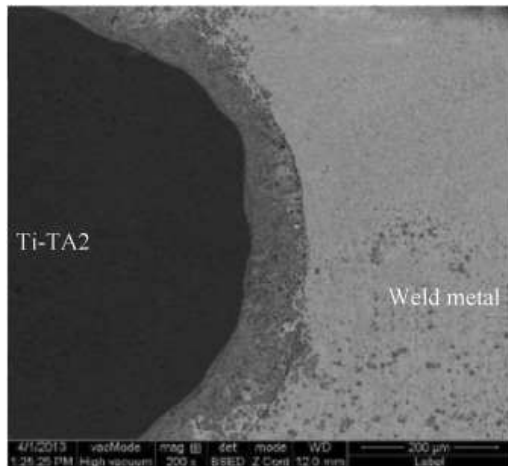
کائو و همکاران اتصالات لبه جوشی رضایت بخشی با ظاهر جوشی مطلوب و ترشوندگی و پخش پذیری خوب فلز پرکننده بر روی سطح هر دو آلیاژ به دست آمد. لایه ای از IMC ها، یعنی Ti_2Cu ، $TiCu$ و $AlCu_2Ti$ در رابط جوش تیتانیوم وجود داشت. ریزساختار رابط جوش تیتانیوم و رابط جوش مس در شکل ۳۰ نشان داده شده است. استحکام برشی کششی اتصال I (ورق مس بالا-ورق Ti پایین) به $197/5$ نیوتن بر میلی متر رسید در حالی که مقاومت برشی کششی اتصال II (ورق Ti بالا – ورق مس پایین) می تواند به $205/8$ نیوتن بر میلی متر برسد. Joint II و I دارای استحکام قابل مقایسه با CMT Lap جوش داده شده Cu-T2 به Cu-T2 با مقاومت کششی 194 N/mm بود. مفاصل همگی در HAZ Cu با حالت شکستگی پلاستیکی شکستند .



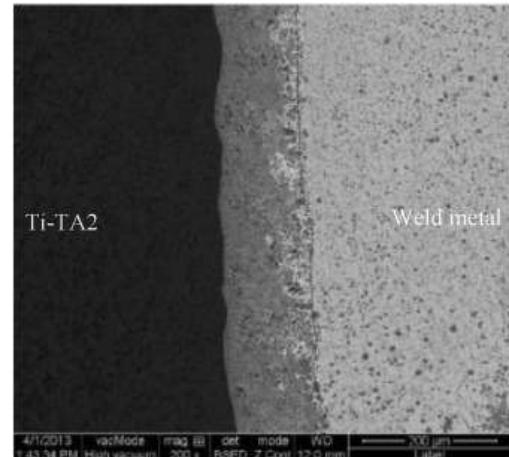
شکل ۳۰. ریزساختار الف) رابط Ti-weld و b) رابط Cu-Weld.

در اتصال لب به لب جوش و لحیم کاری CMT تیتانیوم TA2 به آلیاژ مس خالص T2 ضخامت لایه IMCs یکنواخت نبود: $117-129$ میکرومتر در سطح شیار میانی و $80-100$ میکرومتر در سطح شیار ریشه، به ترتیب در شکل ۳۱، شکل ۳۲

ارائه شده است. لایه های IMCs در رابط لحیم کاری عمدتاً از Ti_2Cu ، $TiCu$ و $AlCu_2Ti$ به ترتیب از فلز پایه Ti تا فلز جوش تشکیل شده است. بارهای کششی ۵/۱۰ کیلونیوتن بدست آمد و شکست در Cu HAZ رخ داد.



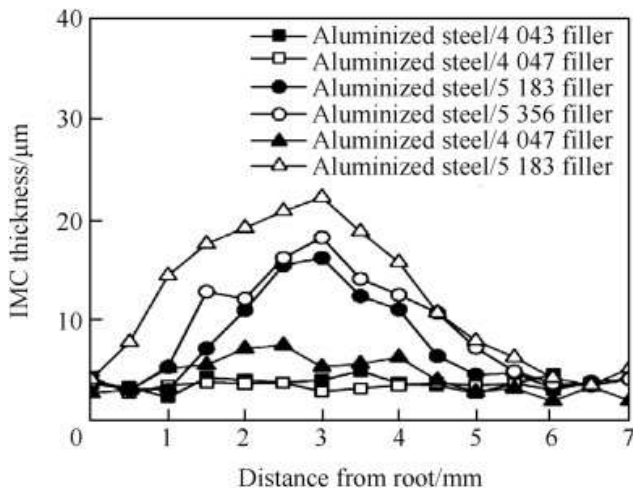
شکل ۳۲. سطح ریشه رابط لحیم کاری.



شکل ۳۱. سطح میانی رابط لحیم کاری.

۱۳- ۴- ورق فولادی گالوانیزه گرم و آلیاژ آلومینیوم ۵۰۵۲

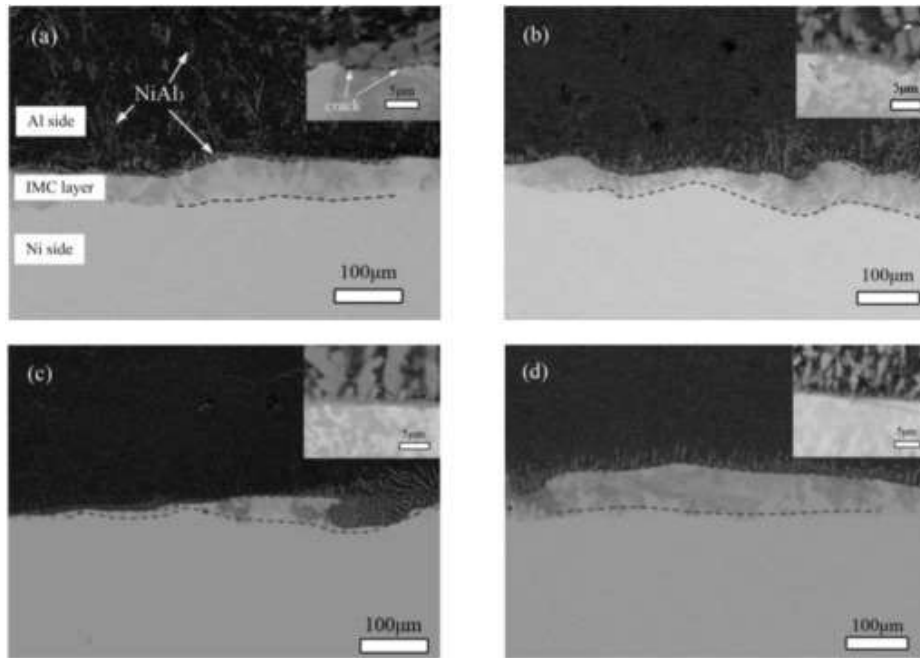
Cheolhee Kim و Minjung Kang به این نتیجه رسیدند که ترکیب Si فلز پرکننده در درجه اول بر ضخامت لایه IMC تأثیر می گذارد. با استفاده از سیم پرکننده AISi (Al 4043) و (Al 4047) ، رشد لایه دوزنقه ای Fe_2Al_5 به مواد پایه فولادی محدود شد و یک رابط تقریباً صاف بین لایه IMC و فولاد مشاهده شد. نمونه ها در HAZ آلیاژ AI 5052 شکسته شدند. شکل ۳۳ تغییر ضخامت IMC را از ریشه نشان می دهد .



شکل ۳۳. تغییر ضخامت بر اساس IMC.

۱۴- ۴- آلومینیوم Aluminium 5A06 with pure Ni N6 plates

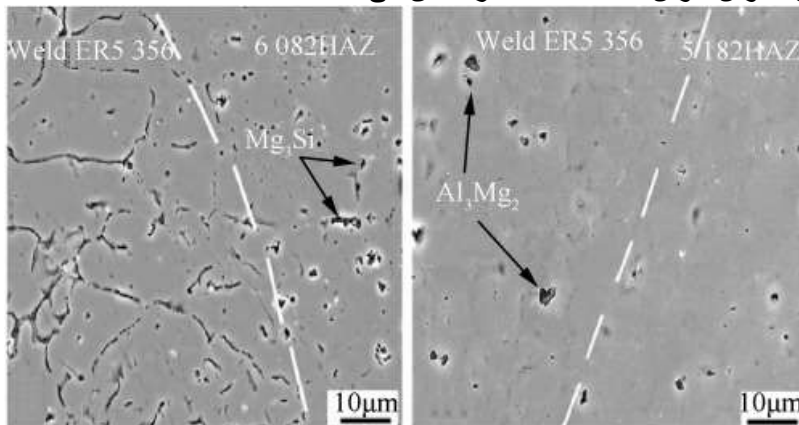
اتصال جوش را می توان به چهار بخش تقسیم کرد: فلز پایه نیکل. لایه Ni_3Al ، $Ni_0.9Al_{1.1}$ و Ni_2Al_3 لایه ستونی $NiAl_3$ ؛ و جوش محلول جامد Al-Si ، همانطور که به طور متوالی از سمت نیکل به سمت آلومینیوم تشکیل می شود. با افزایش سرعت جوش، ضخامت لایه IMC ابتدا کاهش و سپس رشد کرد. این در شکل ۳۴ نشان داده شده است. بیشترین مقاومت برشی به دست آمده ۴۲ مگاپاسکال بود. با ضخیم شدن لایه IMC ، استحکام مفصل به کاهش ادامه داد. شکستگی ها عمدتاً در لایه $NiAl$ و $NiAl_3$ قرار داشتند .



شکل ۳۴. اثر سرعت جوش بر روی ریزساختار اتصال 9 mm/s a) Al-Ni ، 11 mm/s b) ، 15 mm/s c) ، d) mm/s 7.

۱۵ - ۴ - ورق های آلایژ آلومینیوم 5182-O and 6082-T4

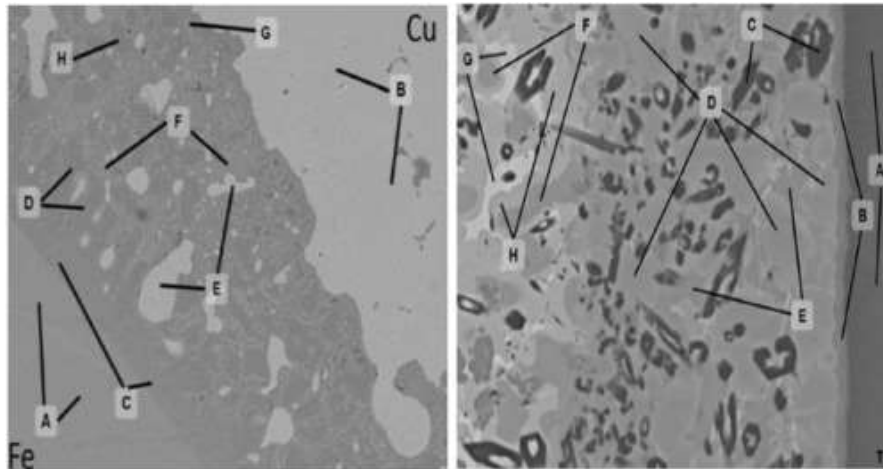
در ۵۱۸۲ ورق، ریزساختار HAZ رسوبات ریز فاز دوم و درشت شدن رسوبات Mg_2Al_3 در ماتریس آلومینیوم را نشان داد. به طور کلی، جوشکاری CMT آلایژ ۵۱۸۲-۶۰۸۲ خواص مکانیکی بدتری را در مقایسه با اتصالات ۵۱۸۲/۵۱۸۲ و ۶۰۸۲/۶۰۸۲ نشان نداد. شکل ۳۵ تصاویر ناحیه جوش ۶۰۸۲/۵۱۸۲ را نشان می دهد.



شکل ۳۵ WM/6082 HAZ و WM/5182HAZ.

۱۶ - ۴ - تیتانیوم AMS4911L با فولاد ضد زنگ ۳۱۶ L

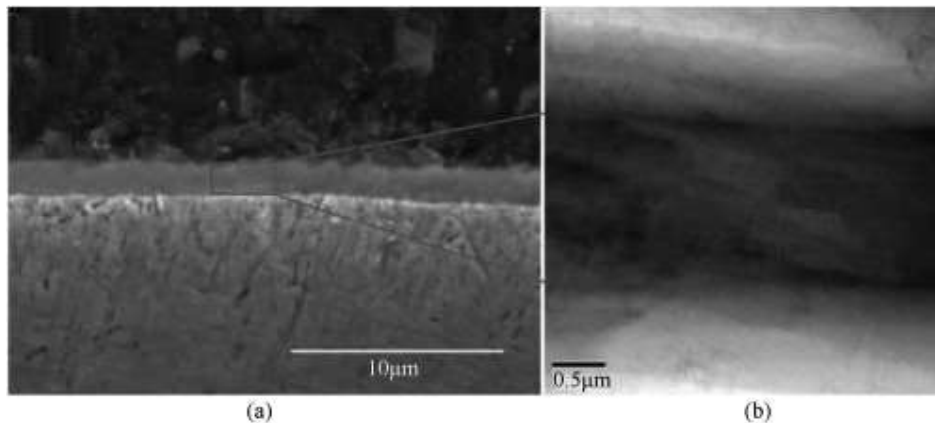
حداکثر خواص کششی را در گرمای ورودی بالاتر به دست آورد، IMC های تشکیل شده در مقایسه با IMC های Fe-Ti ماهیت انعطاف پذیری بیشتری دارند و عمدتاً در رابط بین فلزات اصلی و Cu (سیم پرکننده) قرار داشتند. حداکثر سختی اندازه گیری شده ۱۰۰۰ HV0.1 بود. رابط های جوش در شکل ۳۶ ارائه شده است.



شکل ۳۶. رابط جوش فولاد/مس و مس/تیتانیوم.

۱۷- ۴- آلیاژ آلومینیوم A6061-T6 به فولاد دو فاز ۸۰۰

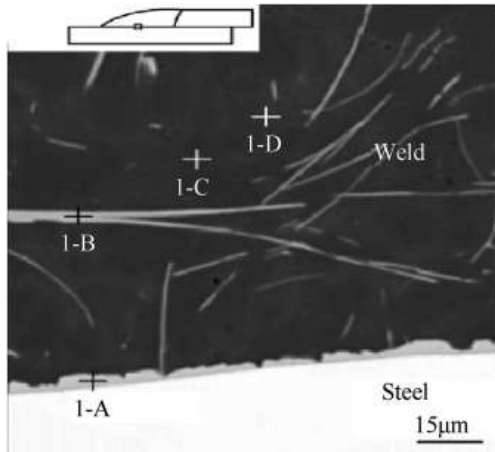
دانه‌ها در ناحیه ناگت نزدیک HAZ درشت شدند و فاز Mg_2Si حل شد که منجر به نرم شدن Al و در نتیجه استحکام مفصل کاهش یافت. مدهاوان و همکاران حضور فازهای Fe_2Al_5 و Fe_3Al در قطعه جوش را از تجزیه و تحلیل XRD و میکروسکوپ الکترونی کشف کردند. ضخامت لایه IM که در شکل ۳۷ مشاهده می‌شود از $1/49$ تا 3 میلی متر برای فرآیندهای P-CMT و CMT به ترتیب متغیر است. در فصل مشترک، فازهای $g-Fe_2Al_5$ و $fi-FeAl_3$ تشکیل شد. جوش های CMT و P-CMT در HAZ Al شکست خوردند. این حالت شکست دارای ویژگی های شکست انعطاف پذیر با فرورفتگی و حفره است.



شکل ۳۷. الف SEM (ب) تصویر TEM لایه IM.

۱۸- ۴- آلیاژ آلومینیوم AC 170 PX و ورق های فولادی گالوانیزه ST06 Z

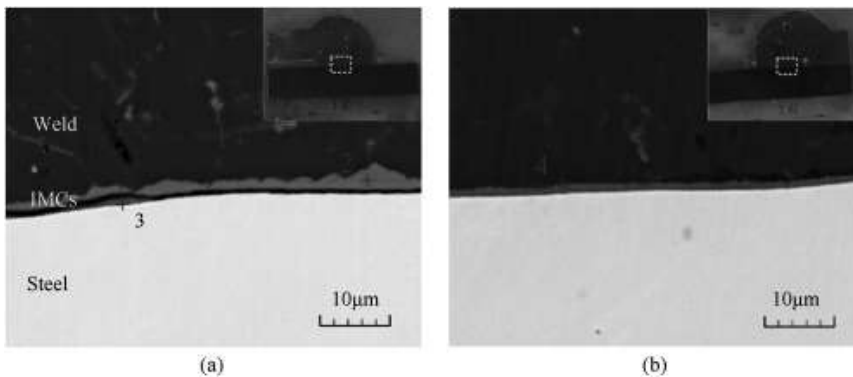
ضخامت لایه سطحی تنها $0/6$ میکرومتر بود. مقاومت برشی کششی به 189 مگاپاسکال رسید که 89 درصد از فلز پایه آلیاژ آلومینیوم است IMC. های سوزنی مانند که در شکل ۳۸ دیده می‌شوند به عنوان ترکیبات بین فلزی سه تایی Al-Fe-Zn توسط سانگ نیو و همکاران تایید شدند که تأثیر منفی بر استحکام کششی اتصال داشتند. با افزایش جریان جوشکاری، IMC های سوزنی مانند طولانی تر شدند و بیشتر به داخل جوش گسترش یافتند و مقاومت برشی کششی اتصال را کاهش دادند.



شکل ۳۸. اتصال جوش فولادی. Z. Al/STO6

۱۹- ۲- فولاد ضد زنگ ۳۰۴ و ورق آلومینیوم 5A06

تحت تأثیر یک EMF محوری، هر دو قوس جوش و مذاب در عملیات توسط نیروی لورنز چرخانده شد. رشد لایه های IMC Al/Fe در طول جوشکاری Al/Feel تحت تأثیر قرار داد. تحت کاربرد EMF، انتشار Fe به جوش سرکوب شد و محتوای Si در لایه های IMC افزایش یافت، که رشد فازهای IMC Al/Fe شکننده را مهار کرد. شکل ۳۹ تفاوت مشاهده شده در هنگام اعمال یک EMF محوری را در طول فرآیند CMT مقایسه می کند. بیبو لیو و همکاران دریافتند که استفاده از EMF نیروی برشی کششی اتصال جوش را افزایش می دهد. در فرکانس های 0 EMF هرتز و ۵ هرتز، اتصالات قوی تری به دست آمد و با کاهش جریان سیم پیچ، استحکام مفصل حتی بیشتر شد.



شکل ۳۹. ریزساختار رابط مشترک دامی Al/فولاد (a) بدون EMF با EMF.

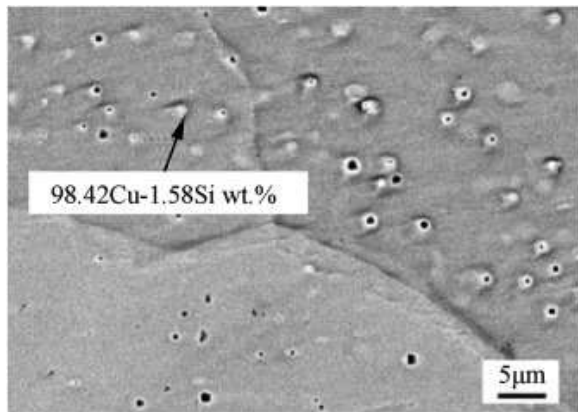
۵- مقایسه جوشکاری CMT و گاز بی اثر فلز

آزمایش های انجام شده توسط Jerzy Jakubowski و Mateusz Grzybicki نشان می دهد که در مقایسه با نوع سنتی جوشکاری MIG، روش CMT مزایای متعددی مانند انرژی کم، بدون پاشش، سرعت جوش بالا دارد. همچنین امکان جوشکاری ورق های نازک فلز را فراهم می کند. با این حال، خطر بزرگی از همجوشی ناقص وجود دارد، به ویژه برای مفاصل لبه که می توان با افزایش طول قوس از آن جلوگیری کرد. جوشکاری CMT توسط Jair Carlos Dutra و همکاران. پایداری بیشتری نشان داد و ریشه تولید شده در مقایسه با جوشکاری MIG معمولی، روکش خوبی را هم در سطح و هم در پشت اتصال نشان داد.

۶- جوشکاری هیبریدی قوس الکتریکی با لیزر CMT-فلزات

۱-۶ - جوشکاری هیبریدی قوس لیزری CMT-مس T2

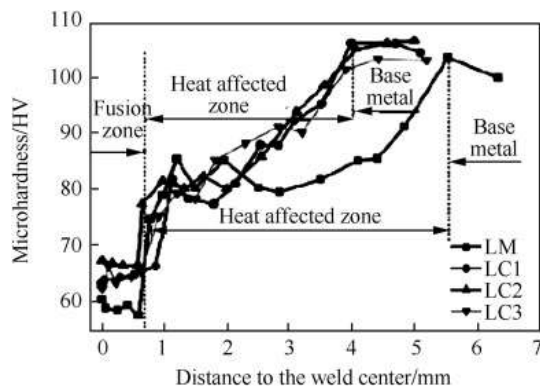
جوش های پیوسته و منظم در حداقل توان ۲ کیلو وات به دست آورد که بسیار کمتر از حداقل سطح توان جوش لیزری (حدود ۵ کیلو وات) است. مقدار زیادی از رسوبات غنی از Si در دانه های ناحیه فیوژن (FZ) جوش های هیبریدی یافت شد که باعث شد FZ جوش های هیبریدی سخت تر از جوش های لیزری باشد. شکل ۴۰ رسوبات غنی از Si را در FZ جوش های هیبریدی نشان می دهد. UTS، σ_s و ازدیاد طول جوش هیبریدی با بهترین عملکرد به ترتیب تا ۲۲۷ مگاپاسکال، ۲۰۱ مگاپاسکال و ۲۱/۵ درصد بودند. کاهش تخلخل دلیل اصلی تقویت جوش هیبریدی بود.



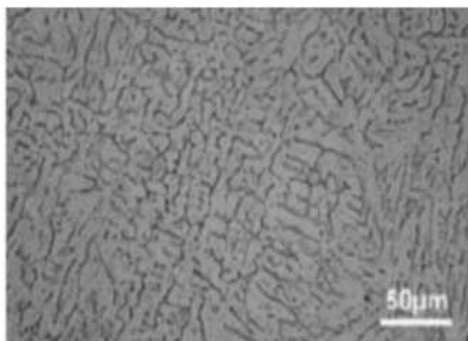
شکل ۴۰. در FZ جوش هیبریدی رسوب می کند.

۲-۶ - جوشکاری هیبریدی قوس لیزری CMT-از آلیاژ AA6061

جوشکاری هیبریدی لیزر CMT-برای اتصال آلیاژ AA6061 Al با ضخامت ۲ میلی متر توسط Zhang و همکاران توسعه داده شد. اتصالات قابل قبول بدون نقص متالورژی به دست آمد. استحکام کششی جوش متقاطع جوش های هیبریدی لیزر- CMT تا ۲۲۳ مگاپاسکال، ۱۰ درصد بیشتر از جوش هیبریدی لیزر PMIG-بود. شکل ۴۱ توزیع ریزسختی اتصالات عرضی را نشان می دهد. نتایج نشان داد که جوشکاری هیبریدی لیزر CMT-می تواند به طور بالقوه به ورق های نازک آلیاژ آلومینیوم بیوندد. شکل ۴۲ دندریت های هم محور را در مرکز ناحیه همجوشی جوش نشان می دهد.



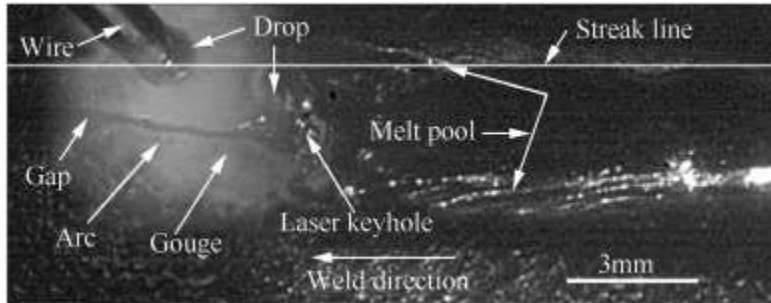
شکل ۴۱. توزیع میکروسختی.



شکل ۴۲. دندریت های هم محور در مرکز FZ.

۳- ۶- جوشکاری CMT هیبریدی قوسی لیزری S420 MC D

جوش ترکیبی را با یک تنظیم نزدیک به تولید برای نرخ رسوب سیم کم و متوسط مقایسه کرد. شکل ۴۳ تصویر پرسرعت حوضچه جوش هیبریدی قوس لیزری را نشان می دهد. آنها به این نتیجه رسیدند که CMT برای جوشکاری هیبریدی لیزری ورق های ضخیم تر مناسب است، مشروط بر اینکه شکاف به اندازه کافی باریک باشد تا با نرخ تغذیه محدود سیم پر شود. جوش ترکیبی مزایای پایداری بیشتر مهره ها، کاهش زیر برش، کاهش قدرت تامین، کاهش عرض جوش HAZ و حساسیت کمتر به تغییرات سرعت را نشان داد.



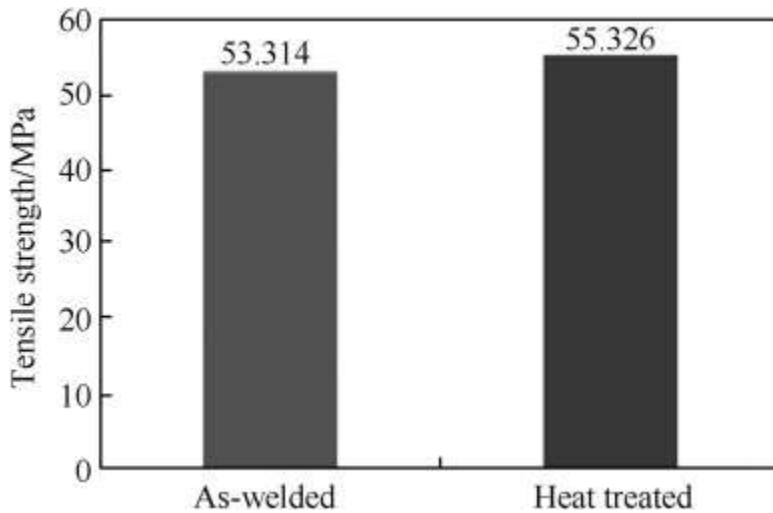
شکل ۴۳. تصویر با سرعت بالا از حوضچه جوش هیبریدی قوس لیزری.

۷- اثر عملیات جوش فلز پایه و CMT

۱- ۷- عملیات حرارتی پس از جوش (PWHT) جوش CMT

اثر PWHT بر خواص مکانیکی و ریزساختاری AA6061 جوش داده شده با استفاده از CMT GMAW توسط احمد و باکار تجزیه و تحلیل شد. در بررسی آنها، ۳/۸٪ افزایش برای استحکام کششی ثبت شد، همانطور که در شکل ۴۴ مشاهده شده، استحکام سختی ۲۵/۶٪ افزایش یافت و ۲۱/۵٪ از دیاد طول بیشتر به دست آمد. نتایج نشان داد که PWHT قادر است استحکام سختی و خواص کششی اتصالات جوشی AA6061 را با استفاده از روش CMT GMAW افزایش دهد. اینها به

این واقعیت نسبت داده می شوند که PWHT توزیع ریز و یکنواختی از رسوبات را در اتصالات جوش ایجاد می کند.

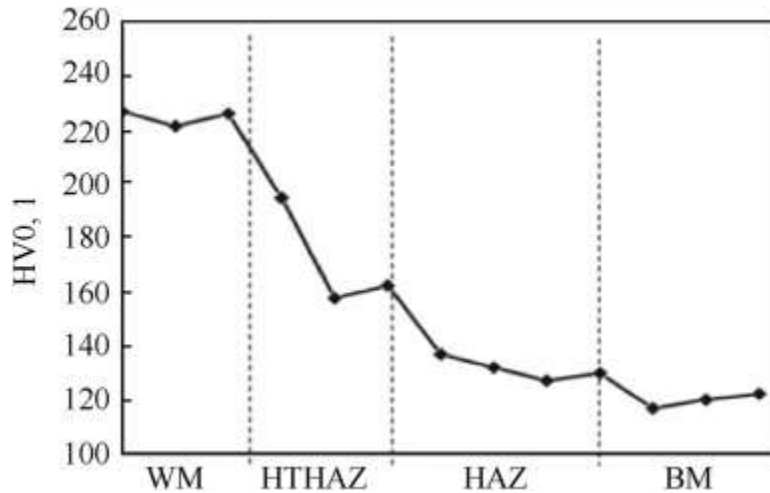


شکل ۴۴. استحکام کششی نمونه های جوش داده شده و عملیات حرارتی شده.

۲- ۷- جوشکاری ورق های فولادی که توسط اکسیداسیون نیترو با استفاده از فرآیند CMT انجام می شود

ورودی حرارت محدود و انتقال کنترل شده فلز که به عنوان مزیت اصلی فرآیند CMT در نظر گرفته می شود، تأثیر منفی بر کیفیت اتصال جوش داشت. مقدار بیش از حد تخلخل مشاهده شد که احتمالاً به دلیل محتوای بالای نیتروژن و اکسیژن در لایه سطحی ماده و سرعت سرد شدن سریع حوضچه جوش است. نتایج نشان می دهد که برای ورق های فولادی تیمار شده با اکسیداسیون نیترو، افزایش شدیدی در مقادیر میکروسختی تا ۴۷ درصد در مقایسه با مقادیر همان ماده بدون عملیات سطحی وجود دارد. پس از جوشکاری CMT، مشاهده شد که مقادیر ریزسختی به تدریج از فلز جوش تا ناحیه تحت تأثیر حرارت کاهش یافت و در فلز پایه همانطور که در شکل ۴۵ مشاهده می شود تثبیت شد. پارامترهای فرآیند CMT انجام

شده توسط Michalec و Maronek برای این فلز مناسب نبود جوشکاری ورق های فولادی که به دلیل سطح بالای تخلخل با نیترو اکسیداسیون درمان می شوند



شکل ۴۵. روند مقادیر میکروسختی.

۸ - کاربردهای جایگزین فرآیند انتقال فلز سرد

۱- ۸ - روکش کم رقت سوپرآلیاژ INCONEL 718

مطالعه ریزساختاری روکش سوپرآلیاژ INCONEL 718 توسط Ola و Doern نشان داد که روکش‌ها عاری از تخلخل و ترک هستند و اتصال کامل روکش‌ها با زیرلایه در همه جوش‌ها حاصل شد. نتیجه این کار نشان داد که فرآیند نسبتاً جدید CMT، با انتخاب پارامترهای جوشکاری مناسب، برای ترمیم ایجاد مناطق آسیب‌دیده از قطعات فرسوده و آسیب‌دیده توربین‌های گاز و سایر تجهیزات با دمای بالا مفید است. ساخته شده از پایه نیکل sup آلیاژها.

۲- ۸ - روکش فلزی از آلیاژ Al 6061

بنوا و همکاران روکش های Al 6061 را با استفاده از گاز بی اثر فلزی (MIG)، MIG پالسی، MIG انتقال فلز سرد (CMT) و گاز بی اثر تنگستن (TIG) انجام داد. عملیات روکش‌دهی با تکنیک تصویربرداری حرارتی مادون قرمز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و دانه‌ها با رادیوگرافی اشعه ایکس، پراش نوترون و نقشه‌برداری میکروسختی مشخص شدند. فرآیند Pulse-Mix CMT به دمای اوج بالاتری رسید و دانه‌های با کیفیت بهتری نسبت به سایر فرآیندهای MIG تولید کرد. سطح تنش پسماند موجود در HAZ نمونه CMT بالاترین بود.

۳- ۸ - روکش آلیاژ منیزیم AZ31 با انتقال فلز سرد

انتقال فلز سرد (CMT) با ورودی حرارت کم، پتانسیل زیادی برای جوشکاری آلیاژهای منیزیم نشان می‌دهد، زیرا در هنگام جوشکاری در برابر درشت شدن دانه، منافذ و ترک‌خوردگی داغ حساس هستند. در این مقاله، هنگ ژانگ و همکاران. اثر سرعت جوش بر روی ریزساختارهای CMT رسوب‌شده با آلیاژ منیزیم AZ31 مشاهده شد. نتایج نشان داد که برای به دست آوردن یک روکش واجد شرایط از آلیاژ منیزیم AZ31، پالس CMT-، با سرعت جوشکاری بهینه ۱۲ میلی متر بر ثانیه، ترجیح داده می‌شود.

۴- ۸ - پوشش آلیاژ Al-Si-Mn روی صفحه Al خالص تجاری

فرآیند CMT می‌تواند به عنوان یک تکنیک کارآمد انرژی برای رسوب گذاری پوشش های ضخیم استفاده شود و در تعمیر جوش اجزای آلیاژ آلومینیوم مفید است. راجیف و همکاران گزارش داد که زاویه مهره، سرعت رسوب و رقت، توابع غیرخطی سرعت جوشکاری هستند. پوشش آنها دارای ضخامت بیشتر از ۲/۵ میلی متر بود که در یک پاس تولید می‌شد که در مقایسه با فرآیندهای اسپری حرارتی بسیار زیاد است.

۵- ۸ - خیس شدن فولاد گالوانیزه توسط آلیاژهای AI 4043

Qiaoli Lin و Yanlin Zhou خیساندن فولاد گالوانیزه را با آلیاژهای AI-Si 4043 تحت شرایط CMT انجام دادند و ساختار سطحی را مورد مطالعه قرار دادند. ترشوندگی نهایی این سیستم عمدتاً با ترشوندگی Fe توسط AI یا فولاد توسط AI تعیین می‌شد. لایه روی مایع باقیمانده پس از تبخیر نمی‌تواند ترشوندگی نهایی را بهبود بخشد و همچنین نباید نیروی محرکه ای برای پخش شدن باشد اما ممکن است عاملی برای پسماند زاویه تماس باشد. علاوه بر این، حرکت خط سه گانه (یعنی گسترش) در این سیستم توسط ویسکوزیته خود مایع محدود شد [۶۳]. نقش مفید پوشش روی کاهش گرمای ورودی است و می‌توان یک لایه بین فلزی نازک تری به دست آورد [۶۴]. کیائولی لین و همکاران دریافتند که برای سرعت تغذیه سیم کوچک، اثر Leidenfrost ناشی از تبخیر روی است که باعث ایجاد پاشش غیر خیس و جوشکاری می‌شود. ترشوندگی با استفاده از WFS بزرگ بهبود یافت.

۶- ۸ - خیس شدن منیزیم آلیاژ/AZ61 فولاد گالوانیزه در فرآیند انتقال فلز سرد

روش آفت بدون نشست پویا توسط Qiaoli Lin و همکاران استفاده شد. بررسی رفتار خیس شدن فولاد گالوانیزه توسط آلیاژ مذاب Mg AZ61 تحت شرایط انتقال فلز سرد. نتایج مشاهده شده نشان داد که رفتار خیس شدن مستقیماً توسط سرعت تغذیه سیم (یا گرمای ورودی) تعیین می‌شود.

۷- ۸ - ساخت افزودنی آلیاژ مس 6.3% AI با فرآیند CMT

Baoqiang Cong مقاله ای در مورد تأثیر حالت قوس در فرآیند انتقال فلز سرد (CMT) بر مشخصه تخلخل آلیاژ-AI-Cu 6.3% تولید شده با مواد افزودنی ارائه کرد. آزمایش‌ها بر روی نهشته‌های تک لایه و نهشته‌های چند لایه انجام شد. انواع CMT انجام شده در آزمایش عبارت بودند از CMT معمولی، پالس (CMT-P)، CMT پیشرفته (CMT-ADV) و CMT پالس پیشرفته (CMT-PADV). ثابت شد که CMT-PADV به دلیل عملکرد عالی در کنترل تخلخل، مناسبترین فرآیند برای رسوبگذاری آلیاژ آلومینیوم است. فاکتورهای کلیدی که این امکان را فراهم می‌کند، حرارت ورودی کم، ساختار دانه هم محور خوب و تمیز کردن اکسید موثر سیم است.

۸- ۸ - اتصالات کامپوزیت-کامپوزیت تقویت شده با پین‌های جوش داده شده انتقال فلز سرد

استلزر و همکاران تست‌های خستگی را بر روی پین‌های Ti CMT و فولاد CMT که برای تقویت ورق‌های پلیمر تقویت شده فیبر کربن (CFRP) استفاده می‌شوند، انجام داد. پین‌های فولادی جوش داده شده انتقال فلز سرد وسیله ای موثر برای تقویت اتصالات CFRP-CFRP SLS در جهت ضخامت هستند. پس از شکست خط اتصال بین دو لپ CFRP، پین‌ها بارها را حمل می‌کنند و سفتی اتصال را تا شکست نهایی حفظ می‌کنند. از طرف دیگر، پین‌های تیتانیوم جوش داده شده CMT در تقویت اتصالات CFRP-CFRP کمتر مؤثر هستند. این را می‌توان تا حدی به فقدان یک هندسه برجسته بال-باله برای پین‌های Ti CMT نسبت داد.

۹- ۸ - جوشکاری تعمیر ترک کیس‌های توربین بخار با لحیم کاری CMT

جوشکاری انتقال فلز سرد توسط کوتا کادوی و همکاران مورد بررسی قرار گرفت. برای توسعه یک فرآیند تعمیر برای ترک‌ها در کیس‌های توربین بخار، ساخته شده از فولاد ریخته‌گری Cr-Mo-V، که به مدت ۱۸۸۵۰۰ ساعت در دمای ۵۶۶ درجه سانتی‌گراد کار می‌کرد. سیم‌های پرکننده لحیم کاری نقره و طلا به عنوان مواد پوششی استفاده شدند. لحیم کاری CMT با استفاده از سیم پرکننده نقطه ذوب پایین به طور کلی باعث کاهش گرمای ورودی و دمای پیک در طول چرخه حرارتی فرآیند می‌شود. خواص خزشی-خستگی جوش‌های تولید شده توسط لحیم کاری CMT با Bag-8 بالاترین میزان بود. بنابراین، لحیم کاری CMT با استفاده از سیم پرکننده با نقطه ذوب پایین مانند Bag-8 یک روش نامزد امیدوارکننده برای تعمیر کیس‌های توربین بخار است.

۹ - نتیجه گیری

فرآیند، ترکیبات جوش و کاربردهای جوشکاری انتقال فلز سرد گزارش شده توسط نویسندگان مختلف مورد بحث قرار گرفته است. نتایج اصلی این مطالعه عبارتند از:

- ✓ جمع شدن سیم در مرحله اتصال کوتاه نقش مهمی ایفا می کند، زیرا منجر به جلوگیری از ایجاد پاشش می شود و همچنین زیبایی مهره جوش را بهتر می کند.
- ✓ جوشکاری هیبریدی Laser-CMT جوش هایی با خواص مکانیکی و زیبایی شناختی بهتری نسبت به جوشکاری لیزری و جوشکاری هیبریدی Laser-MIG تولید می کند.
- ✓ عملیات حرارتی پس از جوش (PWHT) اثر مثبتی بر روی جوش های تهیه شده با توزیع یکنواخت رسوبات ریز ایجاد کرد، در حالی که عملیات اکسیداسیون نیترو فلز پایه قبل از جوشکاری باعث افزایش سطح تخلخل و افزایش شدید در جوش شد. ریزسختی جوش
- ✓ جوشکاری انتقال فلز سرد کاربردهای بسیار متنوعی مانند روکش فلزی، ساخت مواد افزودنی، ساخت پین اتصالات مرکب و جوشکاری تعمیر ترک دارد.

References

1. [1]
K. Furukawa
New CMT arc welding process – welding of steel to aluminium dissimilar metals and welding of super-thin aluminium sheets
Weld Int, 20 (6) (2006), pp. 440-445
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
2. [2]
Robert Talalaev, Renno Veinthal, Andres Laansoo, Martinš Sarkans
Cold metal transfer (CMT) welding of thin sheet metal products
Est J Eng, 18 (2012), pp. 243-250
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
3. [3]
C.G. Pickin, K. Young
Evaluation of cold metal transfer (CMT) for welding aluminium alloy
Sci Technol Weld Join, 11 (5) (2006), pp. 583-585
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
4. [4]
C.G. Pickin, S.W. Williams, M. Lunt
Characterisation of the cold metal transfer (CMT) process and its application for low dilution cladding
J Mater Process Technol, 211 (2011), pp. 496-502
[View PDFView articleView in ScopusGoogle Scholar](#)
5. [5]
P. Kah, R. Suoranta, J. Martikainen
Advanced gas metal arc welding processes
Int J Adv Manufacturing Technol, 67 (1) (2013), pp. 655-674
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
6. [6]
A. Schierl
The CMT-process—a revolution in welding technology
Weld World, 49 (9) (2005), p. 38
[View in ScopusGoogle Scholar](#)
7. [7]
Jicai Feng, Hongtao Zhang, Peng He
The CMT short-circuiting metal transfer process and its use in thin aluminium sheets welding
Mater Design, 30 (2009), pp. 1850-1852
[View PDFView articleView in ScopusGoogle Scholar](#)
8. [8]
H.T. Zhang, J.C. Feng, P. Heb, B.B. Zhang, J.M. Chen, L. Wang
The arc characteristics and metal transfer behaviour of cold metal transfer and its use in joining aluminium to zinc-coated steel
Mater Sci Eng, A499 (2009), pp. 111-113
[View PDFView articleView in ScopusGoogle Scholar](#)
9. [9]
R. Cao, Gang Yua, J.H. Chena, Pei-Chung Wang
Cold metal transfer joining aluminum alloys-to-galvanized mild steel
J Mater Process Technol, 213 (2013), pp. 1753-1763
[View PDFView articleView in ScopusGoogle Scholar](#)
10. [10]
Sónia Meco, Gonçalo Pardal, Alexander Eder, L. Quintino
Software development for prediction of the weld bead in CMT and pulsed MAG process
Int J Adv Manufacturing Technol, 64 (2013), pp. 171-178

- [View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
11. [11]
 Amin S. Azar
 A heat source model for cold metal transfer (CMT) welding
J Therm Analysis Calorim, 122 (2) (2015), pp. 741-746
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
 12. [12]
 Anton S. Tremsin, Supriyo Ganguly, Sonia M. Meco, Goncalo R. Pardal, Takenao Shinoharac, W. Bruce Feller
 Investigation of dissimilar metal welds by energy resolved neutron imaging
J Appl Crystallogr, 49 (2016), pp. 1130-1140
[View PDF](#)
 This article is free to access.
[View in ScopusGoogle Scholar](#)
 13. [13]
 R. Frappier, A. Benoit, P. Paillard, T. Baudin, R. Le Gall, T. Dupuy
 Quantitative infrared analysis of welding process- temperature measurement during RSW and CMT-MIG welding
Sci Technol Weld Join, 19 (2014), pp. 38-43
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
 14. [14]
 Fengyuan Shu, Yaohui Lv, Yuxin Liu, Fujia Xu, Zhe Sun, Peng He, Binshi Xu
 Residual stress modeling of narrow gap welded joint of aluminum alloy by cold metal transferring procedure
Constr Build Mater, 54 (2014), pp. 224-235
[View PDFView articleView in ScopusGoogle Scholar](#)
 15. [15]
 Zhe Sun, Yaohui Lv, Binshi Xu, Yuxin Liu, Jianjun Lin, Kaibo Wang
 Investigation of droplet transfer behaviours in cold metal transfer process on welding Ti-6Al-4V alloy
Int J Adv Manufacturing Technol, 80 (9) (2015), pp. 2007-2014
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
 16. [16]
 B. Mezrag, F. Deschaux-Beaume, M. Benachour
 Control of mass and heat transfer for steel, aluminium joining using cold metal transfer process
Sci Technol Weld Join, 20 (2015), pp. 189-198
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
 17. [17]
 G. Lorenzin, G. Rutili
 The innovative use of low heat input in welding- experiences on 'cladding' and brazing using the CMT process
Weld Int, 23 (8) (2009), pp. 622-632
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
 18. [18]
 A. Benoit, S. Jobez, P. Paillard, V. Klosek, T. Baudin
 Study of Inconel 718 weldability using MIG CMT process
Sci Technol Weld Join, 16 (2011), pp. 477-482
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
 19. [19]
 A. Elrefaey
 Effectiveness of cold metal transfer process for welding 7075 aluminium alloys
Sci Technol Weld Join, 20 (2015), pp. 280-285
[View in ScopusGoogle Scholar](#)
 20. [20]
 N. Pavan Kumar, S. Arungalai Vendan, N. Siva Shanmugam
 Investigations on the parametric effects of cold metal transfer process on the microstructural aspects in AA6061
J Alloys Compd, 658 (2016), pp. 255-264
[View PDFView articleGoogle Scholar](#)
 21. [21]
 A. Magda, M. Popescu, C. Codrean, E.G. Mocuta
 Possibilities of joining galvanized sheet steel using the CMT method (cold metal transfer)
Weld Int, 27 (2013), pp. 665-667
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
 22. [22]
 Md.R.U. Ahsan, Y.R. Kim, C.H. Kim, J.W. Kim, R. Ashiri, Y.D. Park
 Porosity formation mechanisms in cold metal transfer (CMT) gas metal arc welding (GMAW) of zinc coated steels
Sci Technol Weld Join, 21 (2016), pp. 209-215
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
 23. [23]
 Md.R.U. Ahsan, Y.R. Kim, R. Ashiri, Y.J. Cho, C. Jeong, Y.D. Park
 Cold Metal Transfer (CMT) GMAW of zinc coated steel

- Weld J, 95 (2016), pp. 120-132
[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
24. [24]
 Jair Carlos Dutra, Régis Henrique Gonçalves e Silva, Bruna Martinello Savi, Cleber Marques, Orestes Estevam Alarcon
 Metallurgical characterization of the 5083H116 aluminum alloy welded with the cold metal transfer process and two different wire-electrodes (5183 and 5087)
 Weld world, 59 (6) (2015), pp. 797-807
[View article](#)
[CrossRef](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
25. [25]
 Feng-yuan Shu, Ze Tian, Yao-hui Lü, Wen-xiong He, Fei-yang Lü, Jian-jun Lin, Hong-yun Zhao, Bin-shi Xu
 Prediction of vulnerable zones based on residual stress and microstructure in cmt welded aluminium alloy joint
 Trans Nonferrous Met. Soc China, 25 (2015), pp. 2701-2707
[View PDF](#)[View article](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
26. [26]
 Feng-yuan Shu, Yao-hui Lü, Yu-xin Liu, Fu-jia Xu, Zhe Sun, Peng He, Bin-shi Xu
 FEM modeling of softened base metal in narrow-gap joint by CMT+Pmix welding procedure
 Trans Nonferrous Met. Soc China, 24 (2014), pp. 1830-1835
[View PDF](#)[View article](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
27. [27]
 Cong Baoqiang, Ouyang Ruijie, Qi Bojin, Ding Jialuo
 Influence of cold metal transfer process and its heat input on weld bead geometry and porosity of aluminum-copper alloy welds
 Rare Metal Mater Eng, 45 (3) (2016), pp. 606-611
[Google Scholar](#)
28. [28]
 H.T. Zhang, J.C. Feng, P. He
 Interfacial phenomena of cold metal transfer (CMT) welding of zinc coated steel and wrought aluminium
 Mater Sci Technol, 24 (11) (2008), pp. 1346-1349
[View article](#)
[CrossRef](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
29. [29]
 J. Wang, J.C. Feng, Y.X. Wang
 Microstructure of Al-Mg dissimilar weld made by cold metal transfer MIG welding
 Mater Sci Technol, 24 (7) (2008), pp. 827-831
[View article](#)
[CrossRef](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
30. [30]
 Jing Shang, Kehong Wang, Qi Zhou, Deku Zhang, Jun Huang, Guangle Li
 Microstructure characteristics and mechanical properties of cold metal transfer welding Mg/Al dissimilar metals
 Mater Design, 34 (2012), pp. 559-565
[View PDF](#)[View article](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
31. [31]
 Shang Jing, Wang Kehong, Zhou Qi, Zhang Deku, Huang Jun, Li Guangle
 Microstructure characteristics and properties of Mg/Al dissimilar metals made by cold metal transfer welding with ER4043 filler metal
 Rare Metal Mater Eng, 42 (7) (2013), pp. 1337-1341
[View PDF](#)[View article](#)[Google Scholar](#)
32. [32]
 S. Madhavan, M. Kamaraj, L. Vijayaraghavan, K. Srinivasa Rao
 Cold metal transfer welding of dissimilar A6061 aluminium alloy-AZ31B magnesium alloy: effect of heat input on microstructure, residual stress and corrosion behavior
 Trans Indian Inst Metals (2016), pp. 1-8
[View article](#)
[CrossRef](#)[Google Scholar](#)
33. [33]
 Peng Wang, Shengsun Hu, Junqi Shen, Ying Liang, Jie Pang
 Effects of electrode positive/negative ratio on microstructure and mechanical properties of Mg/Al dissimilar variable polarity cold metal transfer welded joints
 Mater Sci Eng, A652 (2016), pp. 127-135
[View PDF](#)[View article](#)[Google Scholar](#)
34. [34]
 R. Cao, B.F. Wena, J.H. Chen, Pei-Chung Wang
 Cold metal transfer joining of magnesium AZ31B-to-aluminum A6061-T6
 Mater Sci Eng, A560 (2013), pp. 256-266
[View PDF](#)[View article](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
35. [35]
 S. Madhavan, M. Kamaraj, L. Vijayaraghavan
 Cold metal transfer welding of aluminium to magnesium: microstructure and mechanical properties
 Sci Technol Weld Join, 21 (4) (2016), pp. 310-316
[View article](#)
[CrossRef](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
36. [36]
 Jian Lin, Ninshu Ma, Yongping Lei, Hidekazu Murakawa
 Shear strength of CMT brazed lap joints between aluminum and zinc-coated steel

- J Mater Process Technol, 213 (2013), pp. 1303-1310
[View PDF](#)[View article](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
37. [37]
 R. Cao, J.Y. Yu, J.H. Chen, Pei-Chung Wang
 Feasibility of cold-metal-transfer welding magnesium AZ31 to galvanized mild steel
 Weld Res, 92 (2013), pp. 274-282
[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
38. [38]
 R. Cao, J.H. Sun, J.H. Chen
 Mechanisms of joining aluminium A6061-T6 and titanium Ti-6Al-4V alloys by cold metal transfer technology
 Sci Technol Weld Join, 18 (5) (2013), pp. 425-433
[View article](#)
[CrossRef](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
39. [39]
 R. Cao, Q. Huang, J.H. Chen, Pei-Chung Wang
 Cold metal transfer spot plug welding of AA6061-T6-to-galvanized steel for automotive applications
 J Alloys Compd, 585 (2014), pp. 622-632
[View PDF](#)[View article](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
40. [40]
 R. Cao, M. Jing, Z. Feng, J.H. Chen
 Cold metal transfer welding-brazing of magnesium to pure copper
 Sci Technol Weld Join, 19 (6) (2014), pp. 451-460
[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
41. [41]
 R. Cao, T. Wang, C. Wang, Z. Feng, Q. Lin, J.H. Chen
 Cold metal transfer welding-brazing of pure titanium TA2 to magnesium alloy AZ31B
 J Alloys Compd, 605 (2014), pp. 12-20
[View PDF](#)[View article](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
42. [42]
 Beytullah Gungor, Erdinc Kaluc, Emel Taban, S.I.K.S.S. Aydin
 Mechanical and microstructural properties of robotic Cold Metal Transfer (CMT) welded 5083-H111 and 6082-T651 aluminum alloys
 Mater Design, 54 (2014), pp. 207-211
[View PDF](#)[View article](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
43. [43]
 R. Cao, Z. Feng, J.H. Chen
 Microstructures and properties of titanium-copper lap welded joints by cold metal transfer technology
 Mater Design, 53 (2014), pp. 192-201
[View PDF](#)[View article](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
44. [44]
 R. Cao, Z. Feng, Q. Lin, J.H. Chen
 Study on cold metal transfer welding-brazing of titanium to copper
 Mater Design, 56 (2014), pp. 165-173
[View PDF](#)[View article](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
45. [45]
 Minjung Kang, Cheolhee Kim
 Joining Al 5052 alloy to aluminized steel sheet using cold metal transfer process
 Mater Design, 81 (2015), pp. 95-103
[View PDF](#)[View article](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
46. [46]
 Y.B. Liu, Q.J. Sun, H.B. Sang, J.C. Feng
 Microstructure and mechanical properties of cold metal transfer welded aluminium/nickel lap joints
 Sci Technol Weld Join, 20 (4) (2015), pp. 307-312
[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
47. [47]
 Ahmed Elrefaey, Nigel G. Ross
 Microstructure and mechanical properties of cold metal transfer welding similar and dissimilar aluminum alloys
 Acta Metall Sin Engl Lett, 28 (6) (2015), pp. 715-724
[View article](#)
[CrossRef](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
48. [48]
 Gonçalo Pardal, Supriyo Ganguly, Stewart Williams, Jay Vaja
 Dissimilar metal joining of stainless steel and titanium using copper as transition metal
 Int J Adv Manufacturing Technol, 86 (5) (2016), pp. 1139-1150
[View PDF](#)
 This article is free to access.
[CrossRef](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
49. [49]
 S. Madhavan, M. Kamaraj, L. Vijayaraghavan
 Microstructure and mechanical properties of cold metal transfer welded aluminium/dual phase steel
 Sci Technol Weld Join, 21 (3) (2016), pp. 194-200
[View article](#)
[CrossRef](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
50. [50]
 Song Niu, Su Chen, Honggang Dong, Dongsheng Zhao, Xiaosheng Zhang, Xin Guo, Guoqiang Wang

- Microstructure and properties of lap joint between aluminum alloy and galvanized steel by CMT
J Mater Eng Perform, 25 (5) (2016), pp. 1839-1847
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
51. [51]
 Yibo Liu, Qingjie Sun, Jinping Liu, Shijie Wang, Jicai Feng
 Effect of axial external magnetic field on cold metal transfer welds of aluminium alloy and stainless steel
Mater Lett, 152 (2015), pp. 29-31
[View PDFView articleGoogle Scholar](#)
52. [52]
 Mateusz Grzybicki, Jerzy Jakubowski
 Comparative tests of steel car body sheet welds made using CMT and MIG/MAG methods
Weld Int, 27 (8) (2013), pp. 610-615
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
53. [53]
 Jair Carlos Dutra, Régis Henrique Goncalves e Silva, Cleber Marques
 Melting and welding power characteristics of MIG–CMT versus conventional MIG for aluminium 5183
Weld Int, 29 (3) (2015), pp. 181-186
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
54. [54]
 Yulong Chen, Cong Chen, Ming Gao, Xiaoyan Zeng
 Achieving high strength joint of pure copper via laser-cold metal transfer arc hybrid welding
Metallurgical Mater Trans A, 47 (6) (2016), pp. 2866-2874
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
55. [55]
 C. Zhang, G. Li, M. Gao, J. Yan, X.Y. Zeng
 Microstructure and process characterization of laser-cold metal transfer hybrid welding of AA6061 aluminum alloy
Int J Adv Manufacturing Technol, 68 (5) (2013), pp. 1253-1260
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
56. [56]
 Jan Frostevarg, Alexander F.H. Kaplan, Javier Lamas
 Comparison of CMT with other arc modes for laser-arc hybrid welding of steel
Weld World, 58 (5) (2014), pp. 649-660
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
57. [57]
 R. Ahmad, M.A. Bakar
 Effect of a post-weld heat treatment on the mechanical and microstructure properties of AA6061 joints welded by the gas metal arc welding cold metal transfer method
Mater Design, 32 (2011), pp. 5120-5126
[View PDFView articleView in ScopusGoogle Scholar](#)
58. [58]
 I. Michalec, M. Maronek
 Influence of the surface layer when the CMT process is used for welding steel sheets treated by nitrooxidation
Acta Polytech, 52 (2) (2012), pp. 43-47
[View in ScopusGoogle Scholar](#)
59. [59]
 O.T. Ola, F.E. Doern
 A study of cold metal transfer clads in nickel-base INCONEL 718 superalloy
Mater Design, 57 (2014), pp. 51-59
[View PDFView articleView in ScopusGoogle Scholar](#)
60. [60]
 A. Benoit, P. Paillard, T. Baudin, V. Klosek, J.B. Mottin
 Comparison of four arc welding processes used for aluminium alloy cladding
Sci Technol Weld Join, 20 (1) (2015), pp. 75-81
[View in ScopusGoogle Scholar](#)
61. [61]
 Heng Zhang, Shengsun Hu, Zhijiang Wang, Ying Liang
 The effect of welding speed on microstructures of cold metal transfer deposited AZ31 magnesium alloy clad
Mater Design, 86 (2015), pp. 894-901
[View PDFView articleGoogle Scholar](#)
62. [62]
 G.P. Rajeev, M. Kamaraj, S.R. Bakshi
 Al-Si-Mn alloy coating on aluminum substrate using cold metal transfer (CMT) welding technique
JOM, 66 (6) (2014), pp. 1061-1067
[View article](#)
[CrossRefView in ScopusGoogle Scholar](#)
63. [63]
 Yanlin Zhou, Qiaoli Lin
 Wetting of galvanized steel by Al 4043 alloys in the first cycle of CMT process
J Alloys Compd, 589 (2014), pp. 307-313

- View PDFView articleView in ScopusGoogle Scholar
 [64]
 Q. Lin, Y. Zhou, R. Cao, J.H. Chen
 Wetting of steel by Al 4043 alloys in cold metal transfer process
 Sci Technol Weld Join, 20 (6) (2015), pp. 454-459
[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
- [65]
 Qiao-li Lin, Gao-jun Mao, Qian Huang, Rui Cao, Jian-hong Chen
 Effect of Zn vaporization on wetting of Al-galvanized steel in cold metal transfer process
 J Iron Steel Res Int, 23 (6) (2016), pp. 566-572
[View PDF](#)[View article](#)[CrossRef](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
- [66]
 Qiaoli Lin, Chengzong Zeng, Rui Cao, Jianhong Chen
 The spreading simulation of molten Al alloy on Q235 steel in the first cycle of cold metal transfer process
 Int J Heat Mass Transf, 96 (2016), pp. 118-124
[View PDF](#)[View article](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
- [67]
 Qiaoli Lin, Fan Yang, Rui Cao, Jianhong Chen, Tingbiao Guo
 Wetting and interfacial characteristics of Mg AZ61 alloy/galvanized steel in cold metal transfer process
 Metallurgical Mater Trans A, 46 (9) (2015), pp. 3793-3796
[View article](#)
[CrossRef](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
- [68]
 Baoqiang Cong, Jialuo Ding, Stewart Williams
 Effect of arc mode in cold metal transfer process on porosity of additively manufactured Al-6.3%Cu alloy
 Int J Adv Manufacturing Technol, 76 (2015), pp. 1593-1606
[View article](#)
[CrossRef](#)[Google Scholar](#)
- [69]
 S. Stelzer, S. Ucsnik, G. Pinter
 Fatigue behaviour of composite-composite joints reinforced with cold metal transfer welded pins
 Int J Fatigue, 81 (2015), pp. 37-47
[View PDF](#)[View article](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)
- [70]
 Kota Kadoi, Aoi Murakami, Kenji Shinozaki, Motomichi Yamamoto, Hideo Matsumura
 Crack repair welding by CMT brazing using low melting point filler wire for long term used steam turbine cases of Cr-Mo-V cast steels
 Mater Sci Eng, A666 (2016), pp. 11-18
[View PDF](#)[View article](#)[View in Scopus](#)[Google Scholar](#)