Dissimilar Welding of Austenitic stainless steel by Process GTAW

[تهیه کننده: حسین صادقی]

[10/5/1393]

جوشکاری فلز غیر مشابه به فولاد زنگ نزن آستنیتی توسط فرآیندGTAW

Dissimilar Welding of Austenitic stainless steel by Process GTAW

تهیه شده در واحد تحقیق و توسعه شرکت بهسازان پوشش آتروات

تاریخ:مرداد ۹۳

www.atropatweld.ir
atropat.weld@gmail.com
B.P.Atropat

شماره تماس ۴۲۳۴۵۷۱۵
فارس آباده کیلومتر یک جاده آباده اصفهان مرکز رشد و فناوری واحد ۲۰۹

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

فهرست مطالب ۳

فهرست شکل ها ۵

فهرست جدول ها ۶

چکیده ۸

مقدمه ۹

۱- مروری بر منابع ۱۰

۱-۱ کاربردهای جوش های غیر مشابه ۱۰

۱-۲ فولاد های کربنی یا کم آلیاژ به فولاد زنگ نزن آستنیتی ۱۲

۱-۲-۱ تعیین ساختار فلز جوش ۱۳

۱-۲-۲ ناحیه انتقال مرز ذوب ۱۶

۱-۲-۳ ماهیت مرزهای نوع
II ۱۹

۱-۳ جوش پذیری ۲۲

۱-۳-۱ ترک خوردن انجمادی ۲۲

۱-۳-۲ جدا شدن روکش ۲۴

۱-۳-۳ شکست خزشی در HAZ فولادکربنی یا فولاد کم آلیاژ ۲۵

۱-۴ سایر اتصالات غیر مشابه ۲۷

۱-۴-۱ آلیاژهای اسما آستنیتی که انتظار می رود ناحیه ذوب شده آنها شامل مقداری

فریت باشد یا بصورت فریت اولیه انجماد یابند...۲۷

۱-۴-۲ آلیاژهای اسما آستنیتی که انتظار می رود ناحیه ذوب شده آنها شامل مقداری

فریت باشد، جوشکار ی شده به فولادهای کاملا آستنیتی...۲۸

۱-۴-۳ اتصال فولاد زنگ نزن آستنیتی به فولاد زنگ نزن دوفازی...۲۸

۱-۴-۴ اتصال فولاد زنگ نزن آستنیتی به فولاد زنگ نزن فریتی..۲۹

۱-۴-۵ اتصال فولاد زنگ نزن آستنیتی به فولاد زنگ نزن مارتنزیتی ۲۹

۱-۴-۶ اتصال فولاد زنگ نزن مارتنزیتی به فولاد زنگ نزن فریتی...۲۹

۱-۴-۷ فلز پرکننده فولاد زنگ نزن برای فولادهای با جوشکاری مشکل...۳۰

۱-۴-۸ اتصال آلیاژهای پایه مس به فولادهای زنگ نزن...۳۴

۱-۴-۹ اتصال آلیاژهای پایه نیکل به فولادهای زنگ نزن... ۳۵

۲ جوشکاری فلز غیر مشابه به فولاد زنگ نزن آستنیتی توسط فرآیندGTAW ۳۶

۲-۱ جوشکاری قوسی تنگستن گاز مس CP به فولاد زنگ نزن 304L توسط مواد مصرفی گوناگون.......................................۳۷

۲-۲ جوشکاری غیر مشابه فولاد سوپر آستنیتی و فولادHSLA برای کاربری ساحلی توسط GTAW ۳۸

۲-۳ خصیصه منطقه متاثر از حرارت و ذوب جزیی جوشه غیر مشابه بین

فولاد زنگ نزن آستنیتیAISI310 و اینکونل ۶۷۵ ....۳۹

۲-۴ ارزیابی جوش پذیری جوشهای غیر مشابه فولاد زنگ نزن AISI347 به فولاد کم آلیاژی ASTM A335 توسط جوشکاری قوسی تنگستن گاز.. ۴۰

۲-۵ ارزیابی ریز ساختاری و جوش پذیری جوش های غیر مشابه بین فولادزنگ نزن و آلیاژهای پایه نیکل................................۴۱

مراجع...۴۲

فهرست شکل ها

عنوان   صفحه

۱–۱ نمودار شیفلر جهت پیش بینی مقدار فریت و نحوه انجماد فلز جوش...............................۱۳

۱–۲ نمودار WRC-1992 همرا مرزهای مارتنزیت برای ۱، ۴ و ۱۰٪ منگنز..............................۱۴

۱–۳ کاربرد نمودار شیفلر جهت پیش بینی ساختار فلز جوش یک جوش غیر مشابه بین
دو فلز 304L و A508 با استفاده از فلز پر کننده 309L و310..............................۱۵

۱–۴ استفاده از نمودار WRC-1992 برای پیش بینی ساختار فلز جوش برای مجموعه 304L/A36 جوشکاری شده با فلز پر کننده نوع 309L..............................۱۶

۱–۵ شکل گیری مرز های نوع II وقتی که فلز جوش آستنیتی در تماس با فلز پایه فریتی انجماد می یابد ۱۷

۱–۶ ناحیه مرز ذوب فولاد A508 مصرفی برای مخزن تحت فشار که با نوع 309L روکش کاری و مورد PWHTقرار گرفته است..............................۱۸

۱–۷ پروفیل سختی در مرز ذوب نوع A508/309L بعد از PWHT..............................۱۹

۱–۸ ریز ساختار مرز ذوب بین فولاد ساختاری A36 و فلز پرکننده ۲۲۰۹..............................۱۹

۱–۹ مکانیزمی برای تشکیل مرز نوع II در طی جوشکاری غیر مشابه بین یک فلز جوش آستنیتی و یک فولاد کربن............۲۱

۱–۱۰ ناحیه انتقالی روکش 70%Ni-30%Cu بر روی آهن خالص ۲۲

۱–۱۱ ترک خوردن انجمادی در یک جوش گوشه ای قوسی زیر پودری 309L بین فولاد A36 و فولاد زنگ نزن 304L....۲۳

۱–۱۲ ترک خوردن انجمادی در یک جوش غیر مشابه بین فولاد زنگ نزن نوع ۳۴۷ و یک فولاد مخزن تحت فشار A508 که از فلز پرکننده نوع 308L استفاده کرده است. توجه کنید که رقت بیش از حد بوسیله فولاد A508 انجماد را از فریت اولیه به آستنیت اولیه تغیر داده است..............................۲۴

۱–۱۳ روکش جدا شده 309L از فولاد مخزم تحت فشارA508 ....۲۵

۱–۱۴ ناحیه مرز ذوب بین فلز پایه 2.25Cr-1Mo و فلز پر کننده نوع 309L بعد از PWHT در دمای 720˚C به مدت ۱۰ ساعت. مقادیر سختی در مقیاس ویکرز می باشند..............................۲۶

۱–۱۵ شکست در مرز ذوب در جوش غیر مشابه بین فولاد 2.25Cr-1Mo و فولاد زنگ نزن فولاد زنگ نزن نوع ۳۴۷ ایجاد شده توسط فلز پرکننده نوع ۳۰۹. شکست در HAZ فولاد مخزن تحت فشار میباشد..............................۲۶

۱–۱۶ نمودار ساختاری بالمفورث همراه با محدوده ترکیبات فولاد زنگ نزن از نوع ۴۱۰ و ۴۲۰..............................۳۰

۱–۱۷ نمودار شیفلر، نشان دهنده موقعیت اتصال فولاد ساختمانی A36 به ورق AR با فلز پرکننده 18-8Mn..................۳۲

۱-۱۸ نمودار WRC-1992 نشان دهنده موقعیت اتصال فولاد ساختمانی به ورق AR با فلز پرکننده 18-8Mn...............۳۳

۱-۱۹ جوش گوشه ای تک پاسه بین فولاد ساختمانی A36 و فولاد مقاوم به سایش با استفاده از فلز پرکننده 18-8Mn. ۳۴

فهرست جدول ها

عنوان صفحه

۱-۱ ترکیب شیمیایی برای مثال جوشکاری صفحه مقاوم به سایش AR به ورق A36 با فلز پرکننده 18-8Mn با رقت ۳۰٪........۳۳
۱-۲ حد تقریبی رقت عناصر(درصد وزنی) در جوش های غیر مشابه ایجاد شده توسط فلزات پرکننده پایه نیکلی...........................۳۵

خلاصه:

از سری مسائل مهم در صنایع مختلف برای اتصال دهی به روش جوشکاری مبحث جوشکاری فلزات غیر مشابه می باشد. در تحقیق حاضر به بررسی مسائل و مشکلات پیرامون جوشکاری فلزات غیر مشابه پرداخته می شود. در قسمت اول از این تحقیق به بررسی کلی پیرامون جوشکاری فلزات غیر مشابه که بخش اعظم آن مربوط به فولادهای زنگ نزن آستنیتی می باشد پرداخته می شود. مسائلی از قبیل، بررسی چگونگی اتصال فولادهای کربنی یا کم آلیاژ به فولاد زنگ نزن آستنیتی که می توان از آن به عنوان بنیادی ترین بحث در رابطه با جوشکاری غیر مشابه در رابطه با فولادهای زنگ نزن نام برد. چرا که به علت خواص مطلوبی که در ناحیه مرز ذوب ایجاد میکنند، کاربردهای فراوانی نیز در اکثر موارد دارند. همچنین به مسائلی همچون جوش پذیری در این نوع اتصالات و سایر اتصالات غیر مشابه پرداخته شده است. در قسمت دوم نیز به بررسی شش مقاله تحت عنوان کلیدی، جوشکاری فلز غیر مشابه به فولاد زنگ نزن آستنیتی توسط فرایند GTAW پرداخته شده است.

مقدمه:

یکی از فرایندهای پرکاربرد برای جوشکاری آلیاژهای فلزی آهنی و غیر آهنی قوس الکتریکی تنگستنی می باشد. در این فرایند قوس الکتریکی ما بین قطعه مورد جوشکاری و یک الکترود تنگستنی برقرار می شود که در حضور یک گاز خنثی پایدار می ماند. این فرایند به خاطر چگالی حرارتی بالا منطقه متاثر از حرارت کمی از خود به جای می گذارد. از آنجایی که چگالی حرارتی این فرایند در حد بالایی مابین فرایندهای قوس الکتریکی قرار دارد، پس می توان پیش بینی کرد که انجماد حوضچه جوش تسریع شود. با این حال به علت پایین بودن راندمان قوس ،فلز جوش راسب شده به حد کافی نمی باشد. به همین علت معمول است تا در حین جوشکاری از یک فیلر بصورت سرد یا گرم استفاده می کنند.در حالت فیلر سرد فرایند بایستی به صورت دستی و توسط شخص جوشکار به انجام برسد. اما در حالت فیلر گرم فرایند بفرم اتوماتیک انجام می شود. در زمینه صنعتی موضوجوشکاری فلزات غیر مشابه در اغلب موارد برای خانواده فولادهای زنگ نزن بخصوص مجموعه آستنیتی تعریف می شود. جوشکاری فلز غیر مشابه از جنبه های گوناگونی مورد توجه است. از جمله این موارد می توان به جنبه اقتصادی، کاربردی، نوع محیط و امکانات و دیگر مسائل اشاره کرد. به عنوان مثال در صنعت تولید برق به طور وسیعی از DMW[1] جهت کاهش هزینه مواد و افزایش عملکرد در کاربردهای دما بالا استفاده می کنند. موضوع DMW که بطور وسیعی جهت جوشکاری فولادهای زنگ نزن به سایر فلزات استفاده می شود از لحاظ کاربردی به دو گروه تقسیم می شود. کاربرد اول (نه از حیث برتری) در اصال دادن یک فولاد زنگ نزن به یک فلز آهنی یا غیر آهنی می باشد. کاربرد دوم در بحث روکش کاری فلزات مختلف توسط یک نوع قولاد زنگ نزن، که در اکثر موارد به خاطر خواص مطلوبی که در ریز ساختار ایجاد میکند مطرح می باشد. از آنجایی که فولاد های آستنیتی بیشترین کاربرد را برای جوشکاری فلزات غیر مشابه دارند از نظر متالورژیکی سه موضوع بایستی مورد ارزیابی قرار گیرد. موضوع اول تعیین ریز ساختار منطقه ذوب و انجماد، سپس ناحیه انقال و در آخر تعیین مرز ذوب و تشخیص آن می باشد. این سه موضوع به طور مفصل در قسمت بعد تشریح می شود.در پژوهش حاضر تلاش شده تا با در نظر داشتن منابع و

---

[1] -Dissimilar Metal Welding

مقالات حاضر به طور مبسوت موضوع جوشکاری غیر مشابه فولاد زنگ نزن آستنیتی توسط فرایند GTAW بررسی شود. همچنین در تحقیق حاضر سعی شده با مطالعه مقالات موجود، انواع فلز های مصرفی برای این نوع اتصال دهی استنتاج شود.

مروری بر منابع

۱-۱ کاربردهای جوش های غیر متشابه

جوشکاری فلز غیر مشابه (DMW)[1] به طور وسیعی جهت اتصال فولاد های زنگ نزنبه مواد دیگر استفاده می شود. این روش اغلب اوقات در جایی به کار می رود که تغییر حالتی در خواص مکانیکی و یا کارایی در سرویس لازم باشد. برای مثال، لوله کشی فولاد زنگ نزن آستنیتی اغلب جهت سیستم های بخار با دمای بالا در تاسیسات تولید برق استفاده می شود. به هر حال زیر دما و فشار معینی، فولاد های کربنی یا فولاد های کم آلیاژی به خوبی عمل می کنند و از نظر اقتصادی از سایر فولاد ها در مقایسه با فولاد های زنگ نزن استفاده می شود(فولاد های کربنی، یا فولاد کم آلیاژ بسیار ارزانتر از فولاد زنگ نزن می باشد).

روکش کاری[2] نوع متداول دیگری از DMW است. مخازن بزرگ تحت فشار از نوع فولاد کربنی یا فولاد کم آلیاژ اغلب با فولادهای زنگ نزن روکش داده می شوند تا حفاظت در برابر خوردگی با هزینه کمتر فراهم کنند. همچنین لوله ممکن است از درون روکش داده شود تا محافظت مشابهی ایجاد کند. بخش عمده DMW فولاد های زنگ نزن در اتصال فولادهای کربنی و فولاد های کم آلیاژ می باشد. صنعت تولید برق به طور وسیعی از DMW جهت کاهش هزینه مواد و افزایش عملکرد در کاربرد های دما بالا استفاده می کند.

ممکن است یک فولاد زنگ نزن به فولاد زنگ نزن دیگری اتصال داده شود و درجات متغیری از عدم تشابه محتمل می باشد. برای مثال، فولاد های با مقادیر آلیاژی متفاوت اما با ریز ساختار مشابه ممکن است اتصال داده شوند، یا فولادهای با مقادیر آلیاژی و ریزساختار متفاوت ممکن است اتصال داده شوند. چون فولاد های زنگ نزن می توانند دارای ریز ساختار مارتنزیتی، فریتی، آستنیتی و یا دو فازی باشند، مجموعه های ریز ساختاری متعدد وجود خواهد شد. علت انتخاب این مجموعه ها ممکن است ملاحضات اقتصادی و یا خواص مورد انتظار باشد و یا گاهی اوقات فقط سهولت باشد. یک مورد از سهولت تعیین یک فلز پر کننده منفرد مناسب برای کاری شامل بیش از یک مجموعه از فلزات پایه جهت حذف خطر عوض شدن فلزات پرکننده یا کاهش هزینه ها بوسیله کاهش موجودی فلزات پر کننده می باشد.

[1] -Dissimilar Metal Welding
[2] -Cladding

همچنین ممکن است که در بسیاری از مواردی که یک انتقال جهت سازش با محیطهای خورنده تر یا استحکام عالی در دماهای بالا لازم است، فولادهای زنگ نزن به آلیاژ های پایه نیکلی جوش داده شوند. از نظر اقتصادی جایگزینی آلیاژهای پایه نیکلی با فولادهای زنگ نزن هر جایی که امکان پذیر باشد غالبا عامل کنترل کننده است.(آلیاژهایپایه نیکلی ممکن است که ۳تا ۱۰ بربر گرانتر باشند). گاهی اوقات فولاد های زنگ نزن به دیگر سیستم های آلیاژی غیر آهنی، از قبیل آلومینیوم و مس اتصال داده می شوند. این جوش ها به علت مشکلات ترک خوردن یا تشکیل فازهای بین فلزی در طی انجماد یا در حالت جامد که می تواند اتصال را ترد کند، معمولا با یک فرایند جوشکاری حالت جامد ایجاد می شوند.

به علت امکان تغییر زیاد در ترکیب و خواص که می توان در سرتاسر جوشهای ذوبی فلزات نامشابه روی دهد، تعدادی مسائل خاص و کارایی بایستی در نظر قرار گیرند. شاید تعجب آور نباشد که که تعدادی از مکانیزم های مختلف شکست[۱] همراه با این نوع اتصالات باشد.

۱-۲-فولادهای کربنی با کم آلیاژ به فولاد زنگ نزن آستنیتی:

DMW فولاد های زنگ نزن به فولاد های کربنی یا فولاد های کم آلیاژ تعدادی چالش های مهندسی و متالورژیکی را از خود بروز می دهد. کنترل ریز ساختار فلز جوش مخصوصا در پاس اول یا پاسه ریشه به طور معمول از اهمیت ویژه ای برخوردار است. زیرا فلز جوش می تواند از ساختار کامل مارتنزیتی تا کاملا آستنیتی تغییر کند یا ممکن است مخلوط های از آستنیت، فریت و مارتنزیت باشد. علاوه بر این یک ناحیه انتقال ترکیب شیمیایی[۲] بین فلز جوش و فلز پایه وجود خواهد داشت. ممکن است این ناحیه باریک، ریز ساختارها و خواص کاملا متفاوتی نسبت به نواحی مجاور داشته باشد. چون بسیاری از فولادهای کربنی و کم آلیاژ بعد از جوشکاری طبق کد نیاز به عملیات حرارتی دارند، تغیرات بعدی در ساختار های فلز جوش در پاسخ به عملیات حرارتی بایستی مد نظر باشد .

دامنه ای از مطالب مهندسی که بیشترین ارتباط را با ماهیت متالورژیکی قطعات جوش خورده دارند، مورد توجه می باشند. تفاوت های موجود در خواص فیزیکی و مکانیکی بین فلز جوش و فلزات پایه در واقع به طور حتم وجود خواهد داشت. مثلا تفاوت های در ضریب انبساط حرارتی ممکن است منجر به تنش های موضعی بالا شود که می تواند تخریب در حین سرویس دهی به ویژه به علت سیکل حرارتی از دماها پایین به دما های بالا را

---

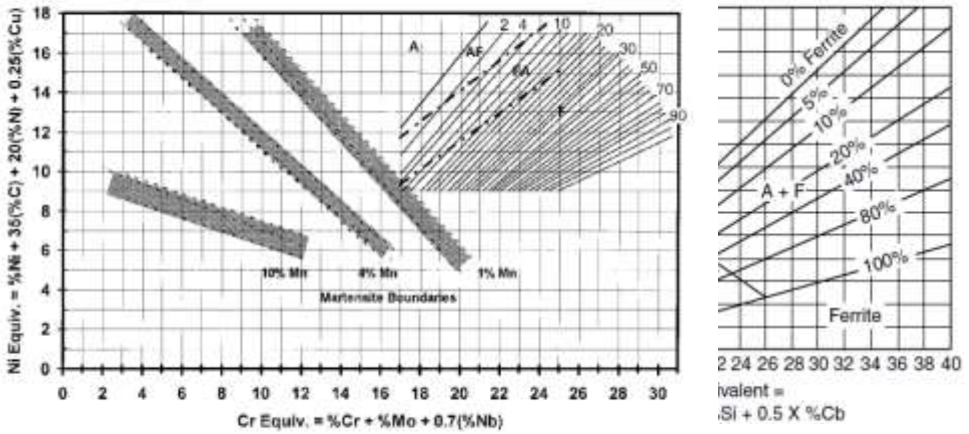
[1] -Failure
[2] -Composition Transition Region

ترغیب نمایید. مقاومت خوردگی نیز ممکن است هم در فغلز جوش و هم در ناحیه انتقال با یکدیگر متفاوت باشد، که این امر ناشی از تفاوت در ترکیب و ریز ساختار می باشد.

۱-۲-۱ تعیین ساختار فلز جوش

توجهات در مورد ساختار فلز جوش DMW پیرامون اولین پاس جوش یا پاسه ریشه می باشد و عمدتا به دلیل آن است که اثرات رقیق سازی در این پاس بیشترین مقدار را دارد. در بسیاری از موارد DMW، یک هدف بسیار مناسب در انتخاب فلز پر کننده، دستیابی به آستنیت پایدار با میزان کمی فریت در اولین پاس جوش می باشد. اگر این ریز ساختار بدست آید، ترک خوردن انجمادی فلز جوش بسیار غیر محتمل خواهد بود و فلز جوش بطور قابل ملاحضه انعطاف پذیر خواهد شد تا در آزمایش خمش قبول شود. نظیر انچه توسط کد ASME مورد نیاز است. این آزمایش خمش بیشتر شامل یک نمونه از فلز جوش،HAZ [1] و فلز پایه می باشد که اطراف سنبه ای خم می شود که شعاع آن دو برابر ضخامت نمونه خمش می باشد(معمولا به آزمون خمش 2T ارجاع داده می شود). نمودار شیفلر و در بسیاری موارد نمودار WRC-1992 برای پیش بینی ریز ساختار فلز جوش و ناحیه انتقالی طی DMW فولادهای زنگ نزن می توان مورد استفاده قرار گیرد. نمودار شیفلر (شکل ۱-۱) تصویر بزرگی را فراهم کرده و اجازه داده است که انواع مختلف فولاد زنگ نزن و فولاد های کربنی در فضای یکسانی نشان داده شود. به هر حال این نمودار در زمانی که فلز پرکننده پر منگنز استفاده شده باشد، پیشگویی نادرستی می کند. نسخ گسترش یافته نمودار WRC-1992نیز قابل استفاده است اما تنها ریز ساختاری را پیش بینی خواهد کرد که ترکیب شیمیایی فلز جوش داخل مناطق آستنیت، آستنیت+فریت، آستنیت+ مارتنزیت و یا هر سه این فازها قرار گیرد.نسخه اصلاح شده این نمودارکه شامل مرزهای برای تشکیل مارتنزیت است، قابلیت پیش بینی نمودار جهت مورد توجه قرار دادن تقریبا همه حالت های DMW فولاد های زنگ نزن را گسترش داده است. (مطابق شکل ۱-۲)

[1] -Heat Effected zone



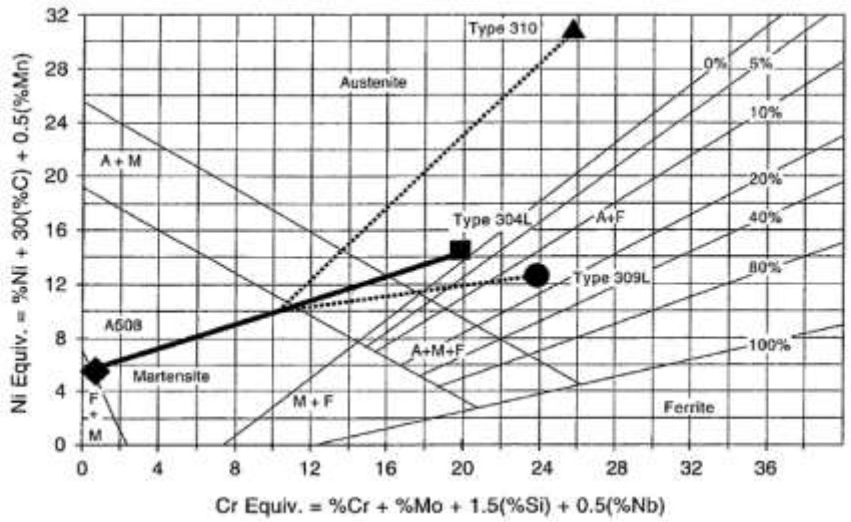
شکل۱-۱ نمودار شیفلر جهت پیش بینی مقدار فریت و نحوه انجماد فلز جوش.

شکل ۱-۲ نمودار WRC-1992 همرا مرزهای مارتنزیت برای ۱، ۴ و ۱۰٪ منگنز.

نمودار شیفلر در فراهم آوردن یک تقریب ریز ساختاری برای جوش های غیر مشابه مفید می باشد و این به علت رسم نمودار بر اساس ساختار های فولاد های زنگ نزن، فولاد های کربنی و فولاد های کم آلیاژی می باشد و پیش بینی ریز ساختار برای همه این آلیاژها می تواند انجام شود. در مثال نشان داده شده در شکل ۱-۳، یک فولاد کم آلیاژ مانند ASTM A508 به نوع 304L جوش شده است(علامت مربع)، فلز پرکننده نوع ۳۱۰(علامت مثلثی) یا نوع 309L (علامت گرد)استفاده شده است. تقاطع خطوط نقطه چین با خط رابط بین دو فلز پایه، سهم (رقت) برابری را برای فلزات پایه در ترکیب فلز جوش نشان می دهد. ترکیب نشان داده شده در محل تقاطع می تواند به عنوان یک ترکیب فلز پایه ترکیبی[1] در نظر گرفته شود. ترکیب نهایی فلز جوش

[1] -Synthetic Base Metal

پاسه اول، در طول خط رابط نقطه چین قرار می گیرد که این نقطه را به ترکیب فلز پر کننده متصل مـی کنـد (اگر رقت فلز پایه برابر باشد). اگر کل رقت فلز پایه در پاس اول فلز پرکننده ۳۰ درصد باشد، که برای جوشکاری با الکترود های روکش دارمعمول است، ترکیب فلزجوش در طول دومین خط رابط قـرار مـی گیـرد، ۳۰ درصـد فاصله از نقطه 309L ، به سمت ترکیب فلز پایه ترکیبی. ترکیب فلز جوش تقریبا در مکانی است که خط رابـط دوم، خطایزو فریت حاوی (۵۰٪فریت) را قطع می کند. پاس های بعدی به ترکیب فلز پرکننه نزدیـک خواهنـد بود. توجه اینکه برای فلز پر کننده 309L ، رقت معمولی فلز پر کننده توسط فلز پایه منجر به یک ریز سـاختار دو فازی آستنیت+فریت می شود، که معمولا در برابر ترک خوردنانجمادی جوش بسیار مقاوم است.



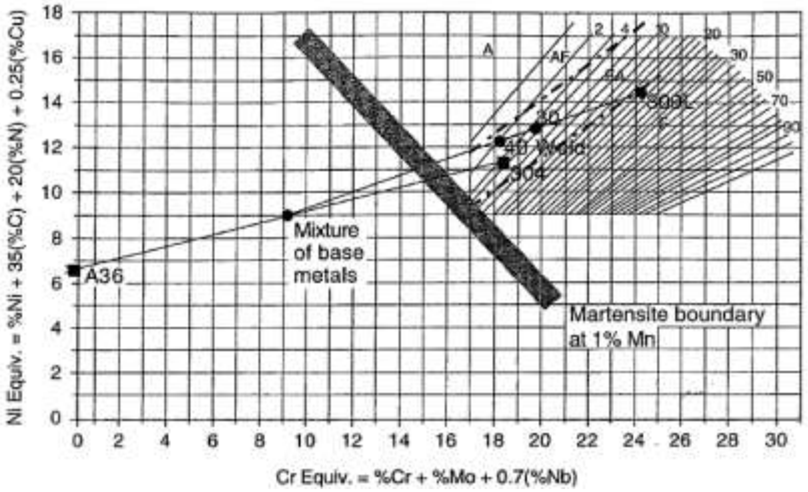
شکل ۱-۳ کاربرد نمودار شیفلر جهت پیش بینی ساختار فلز جوش یک جوش غیر مشابه بین دو فلز 304L و A508 با استفاده از فلز پر کننده 309L و 310.

در صورت استفاده از فلز پرکننده ۳۱۰ روش مشابهی جهت پیش بینی ریز ساختار پاس اول جوش قابل پیگیری است. هیچ بخشی از خط رابط از ترکیب ۳۱۰ در شکل ۱-۳ تا ترکیب فلز پایـه ترکیبـی در داخـل ناحیـه ای از نمودار قرار ندارد که مشخص کننده این باشد که فریت وجود خواهد داشت. با فلز پر کننـده نـوع ۳۱۰، رسـوب جوش تقریبا به طور حتم کاملا آستنیتی خواهد بود، مگر اینکه رقت بوسیله فلز پایه بسیار بالا باشد، که در ایـن

حالت مارتنزیت، نه فریت، ظاهر میگردد. در حالتی که فلز پرکننده ۳۱۰ باشد، قدری حساسیت نسبت به ترک خوردن انجمادی در فلز جوش وجود دارد.

خط رابط بین ترکیب فلز پر کننده و خط رابط فلز پایه نیز قابل استفاده برای پیش بینی ریز ساختار ناحیه انتقال در مرز ذوب می باشد. برای مثال خط رابط برای نوع 309L ناحیه های مارتنزیت، آستنیت+ مارتنزیت و آستنیت + فریت را قط می کند. همه این ریز ساختارها در یک ناحیه باریک بین HAZ فلز پایه و فلز جوش کاملا مخلوط شده، قابل انتظار می باشد. به طور مشابه، خط رابط بین فلز پایه ترکیبی و فلز پرکننده ۳۱۰، ناحیه های مارتنزیت، آستنیت+ مارتنزیت و آستنیت را قطع می کند. همه این ریز ساختار ها در ناحیه انتقالی باریکی در طول مرز ذوب در مجموعه 310/304L قابل انتظار هستند. این مورد به گسترده ای در زیر بررسی شده است.

با استفاده از مثالی مشابه با مثال نمودار شیفلر که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است، شکل ۱-۴ مجموع 304L و ASTM A 36 جوش شده را با فلز پر کننده 309L در نمودار اصلاح شده WRC-1992 را نشان می دهد تا در بر گیرنده مرز مارتنزیتی در1%Mn، میزان معمولی Mn در فلز جوش 309L، باشد. توجه کنید که در رقت کمتر از حدود ۴۵ درصد فلز پر کننده بوسیله فلزات پایه (خط رابط بین نقاط علامت زده شده 309L و مخلوط فلزات پایه)، ترکیب فلز جوش در ناحیه آستنیت +فریت با انجماد فریت اولیه (FA) قرار گرفته است. علاوه بر این، بیش از ۶۰٪ رقت لازم خواهد بود قبل از اینکه مارتنزیت در فلز جوش پاس اول ظاهر شود. بوسیله تخمین زدن یا کنترل کردن این رقت، FN فلز جوش قابل پیش بینی است.



شکل ۱-۴ استفاده از نمودار WRC-1992 برای پیش بینی ساختار فلز جوش برای مجموعه 304L/A36 جوشکاری شده با فلز پر کننده نوع 309L.

۱-۲-۲ ناحیه انتقال مرز ذوب

پیش بینی ریز ساختار ناحیه انتقال می تواند سخت و دشوار باشد، زیرا ممکن است در یک فاصله بسیار کوتاه به طور چشمگیری تغییر کند [در حدود 1mm (0.04in)]. در داخل این ناحیه، ریز ساختار ممکن است هم از فلز جوش و هم HAZ به طور قابل ملاحظه ای متفاوت باشد و در معرض گرادیان های ترکیبی موضعی و اثرات نفوذی قرار گیرد. مثلا، فلز پایه دارای کربن بالاتری نسبت به فلز جوش باشد (که معمولا این چنین است) طی جوشکاری یا عملیات حرارتی پس گرم[1] کربن از HAZ به ناحیه ذوب نفوذ خواهد کرد. این موضوع می تواند منجر به یک ناحیه مارتنزیتی باریک در مرز ذوب شود که سختی بالایی را نشان می دهد. اگر فلز جوش دارای میزان کروم بالایی باشد و فلز پایهدارای مقدار کمی کروم یا فاقد کروم باشد، تمایل کربن برای محاجرت از HAZ به فلز جوش طی PWHTبسیار زیاد است.

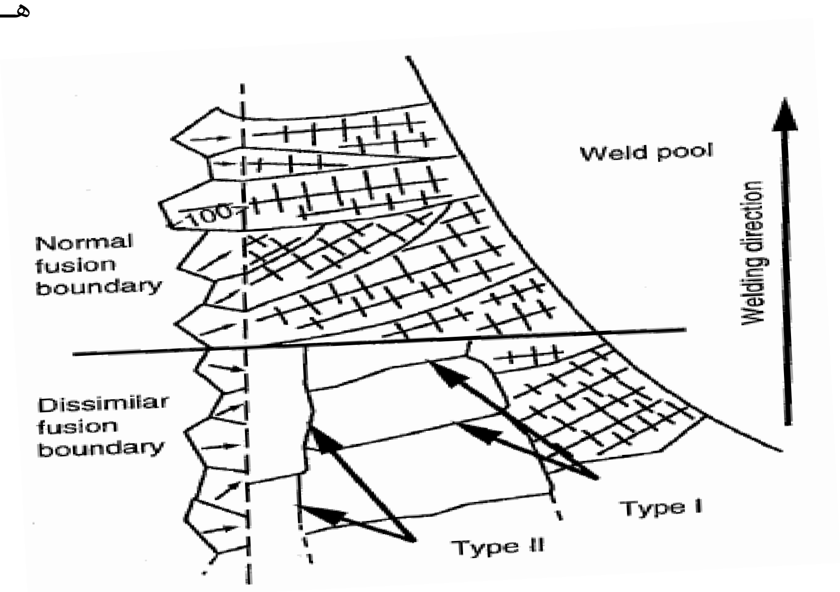
ارزیابی ریز ساختار در طول مرز ذوب در جوش های فلز غیر مشابه حاصل از فولاد زنگ نزن می تواند بسیار پیچیده باشد. در شرایطی که فلز پایه در دمای های نزدیکنقطه ذوب فریتی است(مانند فولاد های کربنی و کم آلیاژی) و فلز جوش آستنیتی است، ممکن است رشد اپی تکسیال[2] نرمال متوقف شود. این موضوع می تواند منجر به شکل گیری آنچه گردد که مرزهای نوع II نامیده می شود، مرزهای که تقریبا موازی با مرز ذوب قرار دارند. این گونه مرز ها عمود به مرز های نوع I، که حاصل رشد ستونی از دانه های فلز پایه به داخل فلز جوش می باشد قرار دارند.شماتیکی از مرز ذوب جوش تحت شرایط نرمال (بالا)و موقعیتی که در آن فلز پایه و فلز جوش در دمای انجماد دارای ساختارهای کریستالی متفاوت(BCC در مقابل FCC) هستند، در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.

---

[1] -PWHT, post weld heatreetment
[2] -Epitaxial Growth

شکل ۱-۵ شکل گیری مرز های نوع II وقتی که فلز جوش آستنیتی

در تماس با فلز پایه فریتی انجماد می یابد.

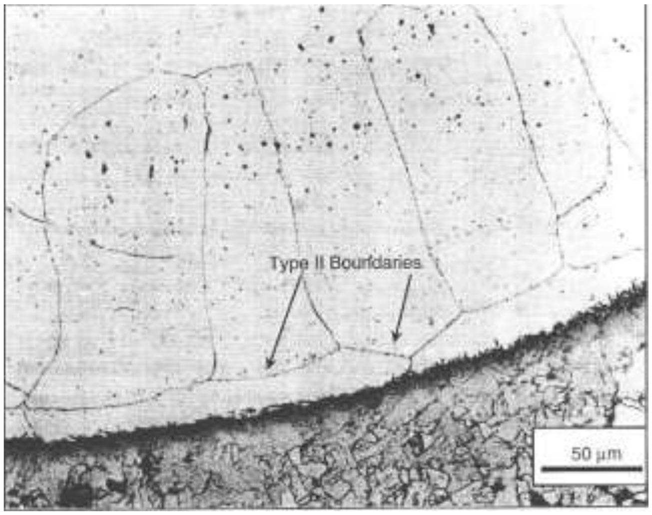


توجه کنید که مرز های قابل تشخیصی در جوش غیرمشابه وجود دارند، مرز های نوع I تقریبا عمود بر مرز ذوب هستند (در راستای انجماد اصلی) و مرزهای نوع II موازی با مرز ذوب هستند. مرزهای نوع II غیر از این شرایط انجمادی وجود ندارند.در بعضی از اتصالات غیر مشابه، ممکن است مارتنزیت به علت انتقال در ترکیب بین فولادکربنی یا فولاد کم آلیاژ و فولاد زنگ نزن یا آلیاژ پایه نیکل، در طول مرز ذوب حضور داشته باشد.همانطوری که قبلا شره داده شد نمودار شیفلر با نمودار -WRC 1992 می تواند جهت پیش بینی حضور مارتنزیت مورد استفاده قرار گیرد. رو[1] و همکاران نشان دادند که

---

[1] -Rowe

هیدروژن در قوس می تواندبه این مطقه رسیده و ترک هیدروژنی را ایجاد کند. شکل۱-۶ ناحیه مرز ذوب فولاد A508 مصرفی برای مخزن تحت فشار که با نوع 309L روکش کاری شده را نشان می دهد. پس از روکش کاری مخزن تحت فشار در معرض PWHT در دمای (1125˚F) قرار گرفته است. به تغییر چشمگیر در ریز ساختار در عرض مرز ذوب توجه کنید. مرزهای نوعII آشکار و مجاور مرز ذوب در فلز جوش هستند. این مرزها در حالت جامد و در طی سرد شدن جوش شکل میگیرند وقتی که هم فلز جوش و هم HAZ آستنیتی هستند و به آستنیت اجازه داده رشد در سرتاسر مرز ذوب را می دهند. ممکن است این مرزها، مکان های برای رسوب کاربید باشند، مخصوصا اگر مهاجرت قابل توجه کربن از فلز پایه رخ داده باشد.



روکش نوع 309L

فولاد A508

شکل ۱-۶ ناحیه مرز ذوب فولاد A508 مصرفی برای مخزن تحت فشار که با نوع 309L روکش کاری و مورد PWHTقرار گرفته است.

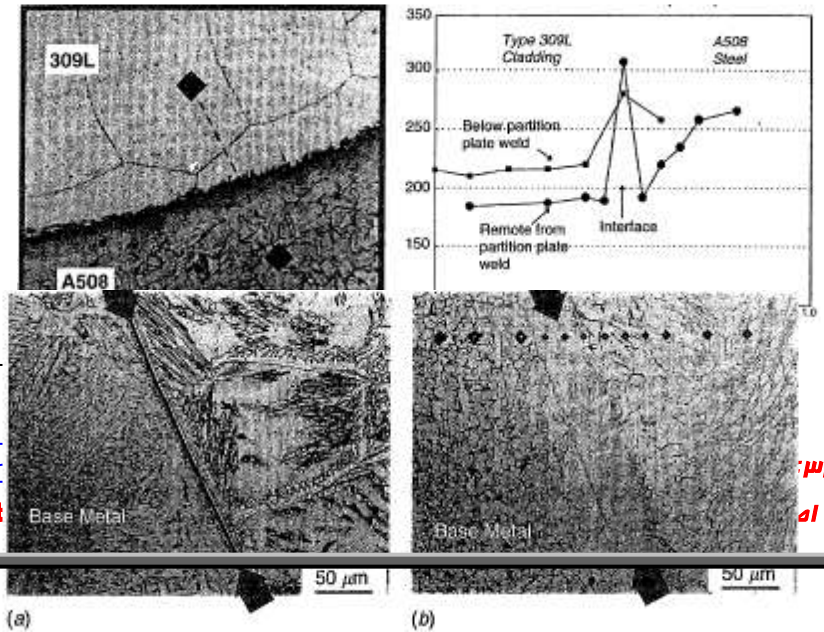
مهاجرت کربن از فلزات پایه فولاد کربنی در سراسر مرز ذوب به داخل ناحیه انتقال مشاهده شده است. این موضوع ناشی از گرادیان کربن (Cبالاتر در فلز پایه) و میل ترکیبی کربن برای فلز جوش با کروم زیادتر می باشد. این محاجرت می تواند منجر به تغییرات ریز ساختاری موضعی هم در ناحیه HAZ و هم در ناحیه انتقال شود. یک ناحیه تهی از کربن[1] در HAZ، بلافاصله مجاور مرز ذوب ایجاد می شود. فریت نرمی در این ناحیه تهی از کربن شکل می گیرد که منجر به شکست زود هنگام در خزش می شود.

[1] -Carbon Depleted Zone

به علت تغییر ترکیب شیمیایی بین فولاد A508 و فلز پرکننده 309L رقیق شده، ناحیه باریکی از مارتنزیت می تواند در طول مرز ذوب وجود داشته باشد. این موضوع بوسیله نمودار شیفلر در شکل ۱-۳ پیش بینی شده است. همانطور که در شکل1-7 نشان داده شده است این امر منجر به افزایش شدید در سختی شده که در سرتاسر ناحیه مرز رخ می دهد. توجه کنید که این منطقه سخت بعد از PWHT هنوز وجود دارد. ریز ساختارهای مرز ذوبی مشابهی می تواند در دیگر اتصالات غیر مشابه تشکیل شود. شکل ۱-8 مثالی از جوش چند پاسی غیر مشابه بین فولاد A36 و فولاد زنگ نزن دوفازی 2205 با استفاده از فلز جوش پر کننده ۲۲۰۹ می باشد. در پایان جوش، یک باند (نوار) مارتنزیتی واضحی در طول مرز ذوب مشهود است، در حالیکه در بالای جوش، ناحیه انتقال باریکتر است چونکه رقت کمتر است. دوباره نمودار شیفلر یا نمودار WRC-1992 می تواند جهت پیش بینی ریز ساختار های فلز جوش و ناحیه انتقال استفاده شود. نمودار دومی تخمین FN را ممکن می سازد.

۱-۲-۳ ماهیت مرز های نوع II

مرز های نوع II مورد توجه خاصی هستند زیرا تعدادی از نمونه های ترک خوردن در حین کار، که گاهی اوقات جدا شدن [1] نامیده می شوند، با آنها ارتباط داشته اند. همانطور که در شکل ۱-۵ و۱-۶ نشان داده شده است، مرز نوع II، در اصل یک مرز دانه است که تقریبا موازی با مرز ذوب حرکت می کند اما در چند میکرونی ناحیه ذوب قرار دارد. چنانچه در در شکل ۱-6 دیده می شود، این نوع مرز در در سرتاسر دانه های زیادی ادامه داشته و تقریبا موازی با مرز ذوب قرار دارد. گزارش شده است که ترک خوردن یا جدا شدن در طول این مرزها می تواند رخ دهد، به ویژه در مواردی که روکشی از فولاد زنگ نزن بر روی فولادهای کربنی اعمال شده است.



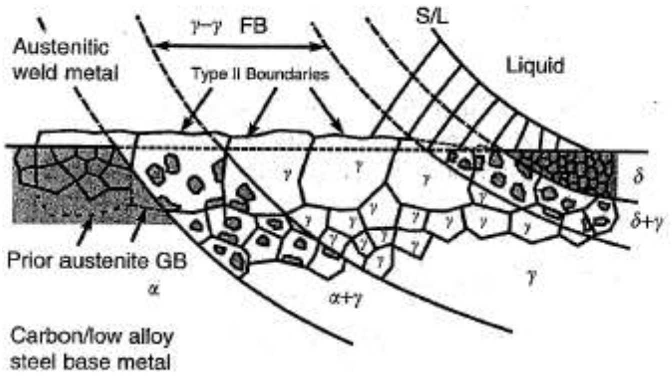
[1] -Disbonding

شکل ۱-۷ پروفیل سختی در مرز ذوب نوع A508/309L بعد از PWHT

شکل ۱-۸ ریز ساختار مرز ذوب بین فولاد ساختاری A36 و فلز پرکننده ۲۲۰۹.

نلسون و همکاران مکانیزم مرز نوع II در روکش کاری فولادهای فریتی با آستنیتی یا دیگر آلیاژهای FCC را مورد مطالعه قرار دادند. آنها پی بردند که چنین مرزهایی زمانی تشکیل می شوند که در دمایی که آلیاژ روکش FCC در حال انجماد می باشد آلیاژ زمینه (فولاد ساده یا فولاد کم آلیاژ) به صورت فریت دلتا است. این موضوع مانعی برای جوانه زنی اپی تکسیال معمولی در مرز ذوب شده و جوانه زنی غیر همگن فلز جوش FCC را لازم می سازد. کمی بعد از انجماد، سرد شدن باعث استحاله زمینه فولاد کربنی به زمینه آستنیت می شود. پس از آن مرز ذوب، که در ابتدا یک فصل مشترک BCC به FCC بوده، یک فصل مشترک FCC به FCC با عدم تطابق جهت گیری قابل توجهی در سراسر فصل مشترک می شود. پس خط ذوب، یک مرز با انرژی بالا و متحرک است. مرز به داخل لایه روکش با شبکه FCC و در فاصله کوتاهی مهاجرت می نماید، نیروی محرکه این مهاجرت گرادیان دمایی، گرادیان ترکیب شیمیایی و انرژی کرنشی حاصل از تفاوت بین پارامتر ها شبکه لایه روکش با شبکه FCC و فلز پایه با شبکه FCC می باشد.سپس این مرز در محل طی سرد شدن قفل می شود. نمای این مکانیزم از تحقیقات نلسون و همکاران در شکل 1-9 نشان داده شده است. توجه کنید که مرزهای نوع II در محدوده دمایی شکا میگیرد که فولاد کربنی، یا آلیاژ فلز پایه، در محدوده فاز آستنیت است. بنابراین در در محدوده فاز آستنیت است. بنابر این حرارت ورودی جوش و گرادیان دمایی در HAZ، بر تشکیل بر تشکیل مرز نوع II تاثیراتی خواهد داشت، زیرا این عوامل مدت زمانی را تعیین می کنند که در آن هم فلز جوش و هم HAZ دارای شبکه FCC هستند و مهاجرت مرز می تواند رخ دهد. نلسون و همکاران این موضوع

را بوسیله اتصالات غیرمشابه دیگر اعتبار سنجی کرند، نظیر فلز پر کننده مونل[1] (70Ni-30Cu) بر آهن خالص و مونل بر فولاد زنگ نزن فریتی نوع 409. در مورد اولی، مرزهای نوع II وجود داشتند تا هنگامی که رقت فلز پایه برای انجماد فلز جوش به صورت فریتی کافی نبوده است. در مورد دوم مرز های نوع II تشکیل نشده است زیرا نوع 409 از دمای محیط تا دما ذوب کاملا فریتی می باشد. به علت اینکه آستینیت هرگز در زمینه فلز پایه حضور ندارد، مکانیزم توضیح داده شده در شکل ۱-۹غیر قابل استفاده است.

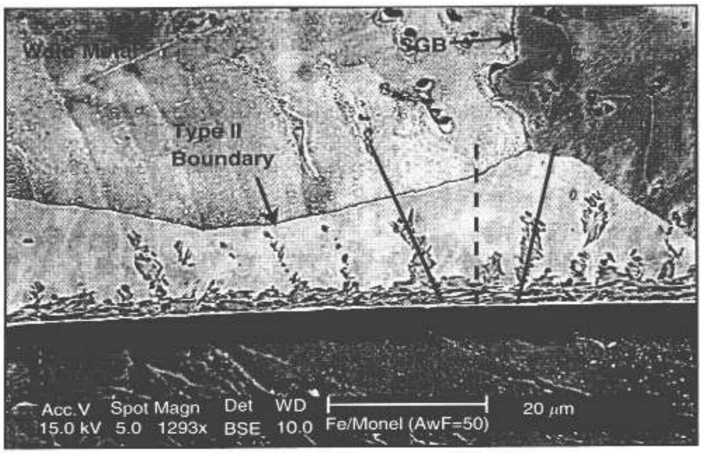


شکل ۱-۹ مکانیزمی برای تشکیل مرز نوع II در طی جوشکاری غیر مشابه
بین یک فلز جوش آستنیتی و یک فولاد کربنی.

پس از تشکیل مرز نوع II، فلز پایه به فریت یا دیگر محصولات استحاله یافته و منطقه انتقالی ترکیبی یا قسمتی از آن به مارتنزیت تغییر حالت می دهد. ممکن است مارتنزیت به مرز نوع IIکشیده شود یا در فاصله ای کوتاه از آن متوقف شود. شکل ۱-۱۰ مثالی از توقف مارتنزیت در قبل از مرز نوع II را نشان می دهد. یک عدم تطابق در ضریب انبساط حرارتی بین BCC یا سمت مارتنزیتی ناحیه انتقال و سمت روکش داده شده FCC وجود دارد. سیکل حرارتی در این ناحیه کرنشی را وارد می نماید. ومرز نوع II یک فصل مشترک صفحه ای تقریبا ضعیف می باشد که آن را ترجیحی برای ترک خوردن می کند. علاوه بر این، اگر محط سر ویس دهی، هیدروژن ایجاد کند، مارتنزیت بالقوه ای بر ترک خوردن هیدروژن می باشد.

---

[1] -Monel



شکل ۱-۱۰ ناحیه انتقالی روکش 70%Ni-30%Cu بر روی آهن خالص

(۵۶٪رقت فلز پایه)

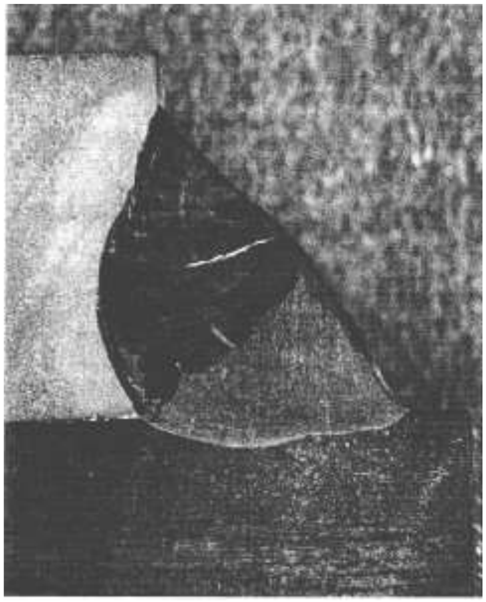
۳-۱ جوش پذیری

تعدادی از مکانیزم های ترک خوردن در ارتباط با جوش های فلزی غیر مشابه بین فولاد های کربنی و فولادهای زنگ نزن می باشد. اینها شامل ترک خوردن انجمادی، جداشده روکش در طول مرز های نوع II، شکست خزشی در HAZ فولاد کربنی و ترک بازگرمایشی یا PWHT می باشد.

۱-۳-۱ ترک خوردن انجمادی

ترک خوردن انجمادی غالبا هنگامی رخ می دهد که فلزات پر کننده آستنیتی نظیر انـواع 308L و 309L اگـر پاس جوش ریشه یا دیگر جوش ها، به شدت بوسیله فولاد کربنی رقیق شده باشند، بصورت آستنیت اوله منجمد خواهد شد زیرا پتانسیل فریت ناکافی در فلز پر کننده وجود داشته و یا رقت بیش از حد بوده است. شکل ۱-۱۱ نمونه از ترک خوردن انجمادی در یک جوش گوشه ای قوسی زیر پودری بین فولاد سـاختمانی A36 و فـولاد زنگ نزن نوع 304L را نشان می دهد. به ظاهر اچ شده متفاوت بین بخشی از فلز جوش که در تماس با 304L می باشد در مقایسه با آن بخش از فلز جوش که در تماس با فولاد A36 می باشد توجه کنید. ظـاهر روشـن اچ شده، فلزی که به صورت اولیه منجمد شده است را بین می کند. ظاهر تیره تـر اچ شـده، فلـزی را کـه بصـورت آستنیت اولیه منجمد شده را نشان می دهد. یک ترک انجمادی در طول خطر مرکزی وجود دارد، اما نه در همه

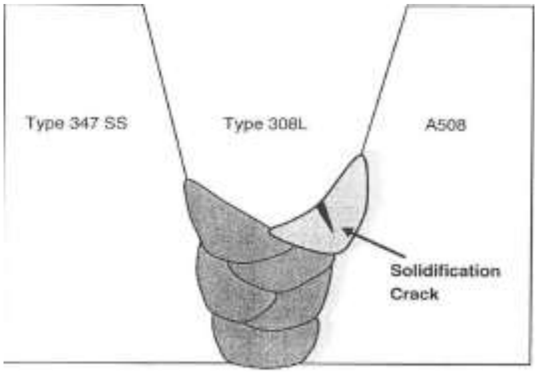
جوش، بلکه در ناحیه انجماد آستنیتی اولیه است. در کل جوش به علت رقت بیش از اندازه، 0.8FN اندازه گیری شده است.



شکل ۱-۱۱ ترک خوردن انجمادی در یک جوش گوشه ای قوسی زیر پودری 309L بین فولاد A36 و فولاد زنگ نزن 304L.

مثال دیگری از ترک خوردن انجمادی در طی جوشکاری غیر مشابه به طور شماتیک در شکل ۱-۱۲ نشان داده شده است. این مورد، دارای جوشی با مقطع ضخیم بین یک فولاد مخزن تحت فشار A508 و فولاد زنگ نزن نوع 347 بوده که با استفاده از پر کننده نوع 308L و فرایند تیگ [1] اتصال داده شده اند. توده فلز جوش در حالت انجماد FA انجماد یافته و شامل فریت در محدوده 8-6FN بوده است. جوش نهایی که در شکل ۱-۱۲ بوسیله فلز پایه A508 بشدت رقیق شده است، که منجر به انجماد در حالت A شده است. این موضوع منجر به ترک خوردن انجمادی خط مرکزی شده است. کنترل بهتر فرایند جوشکاری (موقعیت مشعل و حرارت ورودی) با به حداقل رساندن رقت و حذف ترک خوردن بوسیله مطمئن شدن از انجماد FA موفقیت آمیز خواهد بود.

1 - Tungsten Inert Gas



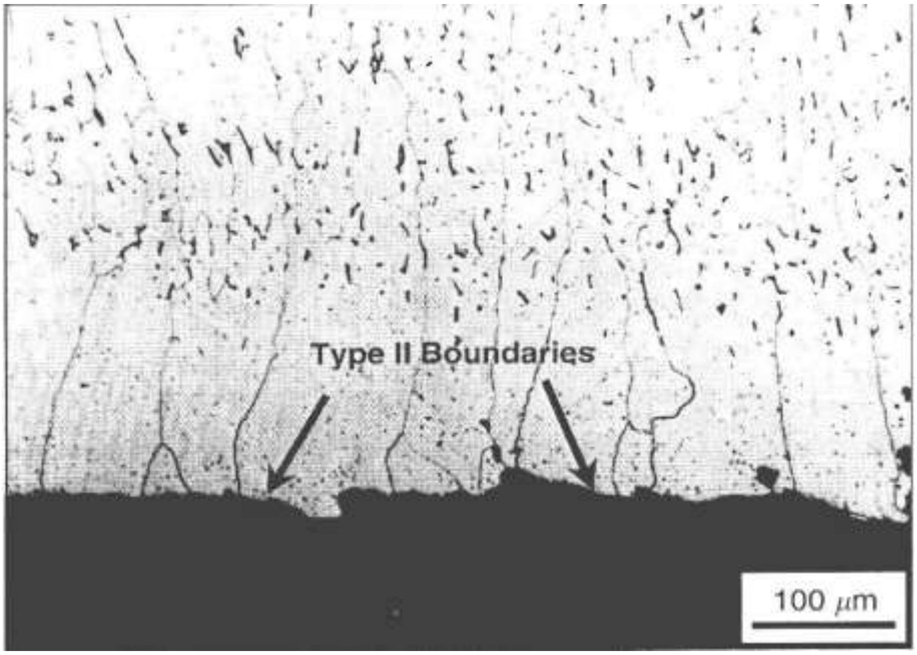
شکل ۱-۱۲ ترک خوردن انجمادی در یک جوش غیر مشابه بین فولاد زنگ نزن نوع ۳۴۷ و یک فولاد مخزن تحت فشار A508 که از فلز پرکننده نوع 308L استفاده کرده است. توجه کنید که رقت بیش از حد بوسیله فولاد A508 انجماد را از فریت اولیه به آستنیت اولیه تغیر داده است.

۱-۳-۲ جدا شدن روکش:

جدا شدن روکش بخصوص در طول مرزهای نوع II در لایه روکش رخ می دهد. مکانیزم دقیق این نوع تخریب شناخته نشده است، اما ممکن است شامل رسوب کاربید، جدایش ناخالصی، جهت گیری عمودی مرز نسبت به جهت تنش اصلی، ترک خوردن خوردن هیدروژنی در یک ناحیه نازک مارتنزیتی در منطقه انتقال ترکیبی، یا مجموعه ای از این ها باشد. مقطع متالوگرافی در شکل ۱-۱۳ سطح شکست ناشی از جدا شدن روکش را در روکشی از نوع 309L بر سطح فولاد A508 نشان می دهد. شکست در سمت A508 قابل نشان دادن نمی باشد. زیرا هنوز به یک مخزن تحت فشار 2000lb متصل است. بر اساس موقعیت و جهت گیری واضحاست که شکست در طول مرز های نوع II در لایه پوشش رخ داده است. اگر چه مکانیزم دقیق این نوع شکست شناخته نشده است، اما واضح است که ماهیت این مرز و حضور آن در یک ناحیه انتقال ریز ساختاری و نیز انتقال ترکیبی منجر به این نوع شکست می شود. لایه های جوشی که شامل مرز های نوعII نمی باشند در برابر این نوع تخریب مصون می باشند.

جدا شدن ممکن است طی عملیات روکش دهی واقعی،طی عملیات متوالی حرارتی پس گرم یا در سرویس رخ دهد. دانستن اینکه چه زمانی تخریب واقعی طی ساخت رخ می دهد مشکل است، زیرا معمولا انجام نمی گیرد

تا بعد از اینکه PWHT کامل شود. متاسفانه هیچ راهی بـرای اجتنـاب از تشـکیل مـرز نـوع II در بسـیاری از اتصالات رایج غیر مشابه مورد استفاده در صنعت تولید برق و در جاهای دیگر وجود ندارد.



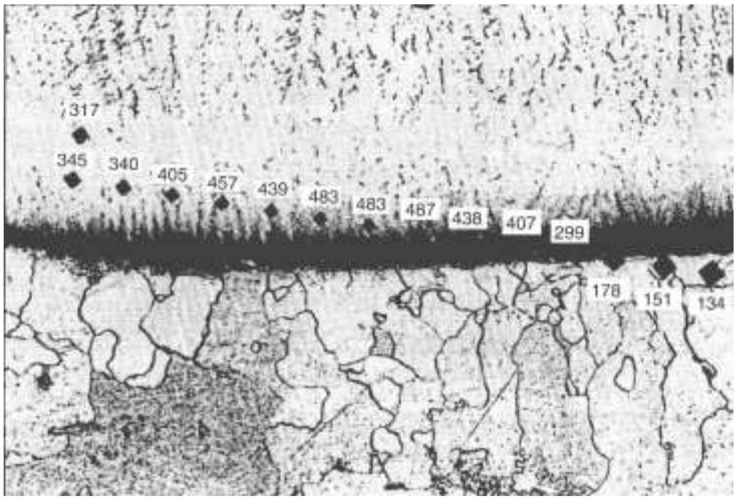
شکل ۱-۱۳ روکش جدا شده 309L از فولاد مخزن تحت فشار A508.

۱-۳-۳ شکست خزشی در HAZ فولاد کربنی یا فولاد کم آلیاژی

شکست در HAZ فولاد، مجاور مرز ذوب در جوش های ساختمانی دارای مقاطع ضخیم مشـاهده شـده اسـت. مهاجرت کربن از HAZ به فلز جوش طی عملیات جوشکاری، PWHT یا سرویس دهـی منجـر بـه یـک ریـز ساختار HAZ فریتی نرم می شود. تحت تنش های پس ماند و حرارتی ایجاد شـده (عـدم تطـابق CTE[1] بـین HAZ و فلز جوش)، ترک های خزشی در طول مرز دانه های فریتی می تواند رخ دهـد. در شـکل ۱-۱۴ ریـز ساختار در طول مرز ذوب روکش فولاد 2.25Cr-1Mo با فلز پر کننده نوع 309L نشان داده شده است. ایـن ساختار تحت عملیات PWHT در دمای 720˚C به مدت ۱۰ ساعت قرار گرفته است. اثرهای سـختی سـنجی (بر حسب VHN) بیان کننده سختی باقیمانده بالا در نوار مارتنزیتی در نوار ذوب می باشد. در مقابـل، HAZ فولاد2.25Cr-1Mo فوق العاده نرم است و متشکل از دانه های بزرگ فریت می باشد. تحت شرایط قرار گیری

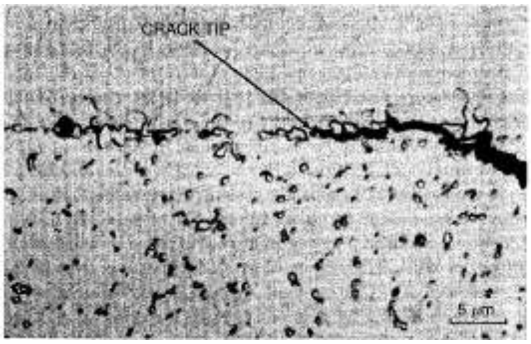
[1] -Coefficient of Thermal Expansion

در معرض دمای بالا، این ناحیه است که در معرض شکست خزشی قرار می گیرد. این موضوع در شکل ۱-۱۵ نشان داده شده است که مربوط به کار کلوه و کینگ می باشد. آنها شکست یک اتصال انتقالی بین فولاد 2.25Cr-1Mo و نوع ۳۲۱ ایجاد شده توسط فلز پر کننده اینکونل ۱۸۲ پایه نیکل را مورد مطالعه قرار دادند. این شکست ها نوعا بعد از ۱۰ تا ۱۵ سال سرویس دهی در دمای بالا رخ داده است. مقدار متوسط خطی CTE برای فولاد کربنی در محدوده دمایی ۲۰ تا 600˚C در حدود 7.5-8 µin/in-˚F است، در حالی که برای فولاد زنگ نزن آستنیتی 9.5-10 µin/in-˚F می باشد. این در زمانی که یک جوش غیر مشابه تا دمای بالا حرارت داده می شود می تواند منجر کرنش زیادی شود. به علت اینکه فولاد کربنی، CTE پایین تری دارد، سعی می کند تا از انبساط جوش فولاد زنگ نزن جلوگیری کند. این امر منجر به تنشهای موضعی بالا در فصل مشترک می شود. مهاجرت کربن منجر به شکل گیری یک ناحیه فریتی بسیار نرم بین فلز جوش قوی تر و فلز پایه می شود و کرنش های موضعی بالایی در این ناحیه متمرکز می شوند. در زمانی طولانی، لغزش مرز دانه رخ می دهد، که نهایتا منجر به شکست خزشی در یا گسیختگی تنشی، در HAZ فولاد کربنی می شود.



شکل ۱-۱۴ ناحیه مرز ذوب بین فلز پایه 2.25Cr-1Mo و فلز پر کننده نوع 309L

بعد از PWHT در دمای 720˚C به مدت ۱۰ ساعت. مقادیر سختی در مقیاس ویکرز می باشند.



شکل ۱-۱۵ شکست در مرز ذوب در جوش غیر مشابه بین فولاد 2.25Cr-1Mo و فولاد زنگ نزن

فولاد زنگ نزن نوع ۳۴۷ ایجاد شده توسط فلز پرکننده نوع ۳۰۹. شکست در HAZ فولاد مخزن تحت فشار میباشد.

استفاده از فلزات پرکننده پایه نیکلی، یا قطعه الحاقی[1] در کاهش تنش های حرارتی ناشی از عدم انطباق CTE موثر بوده است، در نتیجه از ترک خوردن اجتناب می شود. استفاده از فلزات پرکننده پایه نیکلی پایه نیکلی برای دماهای کاری بیشتر از 425˚C توصیه می شود. این موضوع مفید بوده زیرا آلیاژهای پایه نیکلی دارای CTE یی هستند که حد واسطه بین فولادهای کربنی و فولادهای زنگ نزن آستنیتی است و این مقدار حدود 8-9µin/in-˚F در محدوده دمایی مشابه آنچه در بالا ذکر شد می باشد.

بنابراین، یک انتقال تدریجی در CTE سراسر اتصال جوش در مقایسه با یک تغییر ناگهانی در مرز ذوب رخ میدهد. به علت اینکه فلزات پر کننده پایه نیکلی هم با فولاد های کربنی و هم با فولادهای زنگ نزن آستنیتی سازگار هستند، ممکن است استفاده از فلزات پرکننده از قبیل ENiCrFe-2(INCO A) یا آلیاژ(۸۲) ERNiCr-3 در جلوگیری از شکست های خزشی در سرویس دهی مفید باشد. این نوع جوش ها کاملا آستنیتی خواهند بود، بنابراین تمهیدات لازم جهت جلوگیری از ترک خوردن انجمادی جوش بایستی در نطر گرفته شود.

۱-۴ سایر اتصالات غیر مشابه:

ممکن است که فولادهای زنگ نزن در اتصالات با درجات مختلفی از تشابه به کار روند. هر موقعیت نیاز به آنالیز از طرف مهندس یا شخص مسئول جهت ارزیابی درستی اتصال دارد. این نکته خصوصا از این جهت حایز اهمیت می باشد که باید یک انتخاب درست برای فلز پرکننده انجام شود تا اتصالی بی عیب با کارایی رضایت بخشی ارایه کند.

۱-۴-۱ آلیاژهای اسما آستنیتی که انتظار می رود ناحیه ذوب شده آنها شامل مقداری فریت باشد یا بصورت فریت اولیه منجمد شود:

[1] -Insert

احتمالا این اتصال کمترین عدم تشابه و کمترین مشکل بالقوه را دارا است. مثال های از این نوع شامل اتصال 304L به 316L یا 304H به ۳۴۷ می باشد. آزادی زیادی برای انتخاب فلز پر کننده وجود دارد. ارزانترین یا در دسترس ترین فلز پرکننده که با یکی از فلزات پایه تطابق داشته باشد کاملا مناسب است. از نقطه نظر قابلیت سرویس دهی اتصال، این موضوع که فلزات پرکننده 308L یا 316L جهت اتصال 304L به 316L مه کار رود اهمیت کمی دارد. به طور مشابه جهت اتصال 304L به 347 این موضوع که فلز پرکننده 308H یا 347 باشد اهمیت کمی دارد. علاوه بر این یک فلز پر کننده پر آلیاژ مانند 309L نیز برای اتصال 304L به 316L مناسب می باشد. ترک خوردن انجمادی جوش در چنین اتصالاتی نبایستی بوجود آید.

۱-۴-۲ آلیاژهای اسما آستنیتی که انتظار می رود ناحیه ذوب شده آنها شامل مقداری فریت باشد، جوشکاری شده به فولاد زنگ نزن کاملا آستنیتی:

مثال های از این نوع جوشکاری شامل 316L به فولاد زنگ نزن سوپر آستنیتی ۶درصد مولیبدن یا جوشکاری 304H به فولاد زنگ نزن ۳۱۰ می باشد. در این حالت ترک خوردن انجمادی جوش وجود دارد، در صورتی که ترکیب فلز جوش به نحوی باشد.که به صورت آستنیت اولیه انجماد یابد، اما ممکن است که ترکیب فلز جوش با فریت زیاد قابل قبول نباشد و این امر به علت ملاحضات خوردگی در مثال اولی یا تشکیل فاز سیگما در دمای بالا در مثال دوم می باشد. اگر فریت جوش در اتصال 316L به فولاد زنگ نزن 6%Mo قابل قبول باشد، یک فلز پرکننده آلیاژی مانند 309L معمولا بهترین انتخاب می باشد. اما اگر فریت قابل قبول نیست، یک فلز پرکننده 316L کم فریت یا فلز پرکننده نوع ۳۸۵ که هر دوی آنها علی رغم فقدان فریت مقاومت به ترک خوردن انجمادی خوبی دارند، احتمالا بهترین انتخاب است. در اتصال 304H به 310، ممکن است یک فلز پر کننده 308H یا 309 قابل قبول باشد البته اگر سرویس دهی دمای بالا مورد انتظار نباشد، اما این فلزات پایه احتمالا در دمای بالا استفاده می شوند. یک فلز پر کننده ۳۱۰ معمولا انتخاب بهتری نسبت به یک فلز پر کننده 308H می باشد زیرا فلز جوش بدون فریت اکر به درستی بکار رود مقاومت به ترک انجمادی خوبی را نشان می دهد. در مواردی که انتظار می رود فلز جوش کاملا آستنیتی باشد، کاربرد صحیح شامل (۱) خط جوش های کوچک با حرارت ورودی پایین (۲) پروفیل محدب و (۳) اهمیت دادن به چاله های جوش می باشد.

۱-۴-۳ اتصال فولاد زنگ نزن آستنیتی به فولاد زنگ نزن دوفازی:

مثالی از این حالت، اتصال فولاد زنگ نزن 316L به فولاد دوفازی ۲۲۰۵ می باشد. در این حالت انتخاب فلز پرکننده جهت بدس آوردن مقدار فریت مناسب آسان می باشد. فلز پرکننده 316L یا فلز پرکننده ۲۲۰۹ قابل قبول می باشد و انتخاب براساس هزینه و دردسترس بودن ملاک می باشد. از طرف دیگر، انتظار می رود فلز پر کننده 309L نیز فریت را تامین نمایید، اما به علت اینکه 309L حاوی مولیبدن نمی باشد، ممکن است انتخاب نامناسبی باشد. هر دو فلز پایه شامل مولیبدن می باشند که آنها را در برابر خوردگی موضعی (مخصوصا حفره دار شدن) در بعضی محیط ها نسبت به 309L بدون Mo مقاومتر می کند.

۱-۴-۴ اتصال فولاد زنگ نزن آستنیتی به فولاد زنگ نزن فریتی

مثالی از این حالت اتصال فولاد زنگ نزن ۴۴۴ به فولاد زنگ نزن 316L می باشد. به علت اینکه فلزات پرکننده فولاد زنگ نزن فریتی به راحتی در دسترس نمی باشند، رایجترین انتخاب، با نتایج قابل قبول، فلز پرکننده ای است که برای فلز پایه آستنیتی مناسب است که در این مورد 316L می باشد.

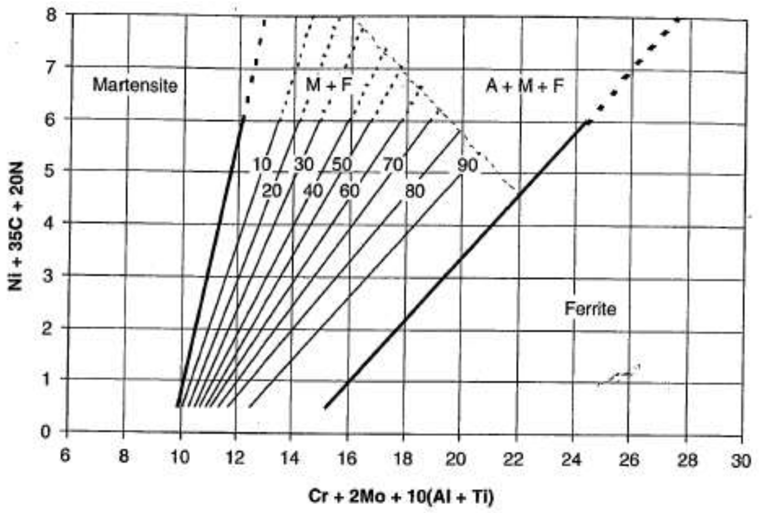
۱-۴-۵ اتصال فولاد زنگ نزن آستنیتی به فولاد زنگ نزن مارتنزیتی

انتخاب فلز پرکننده بستگی به آن دارد که آیا قطعات جوش خورده متعاقبا تحت PWHT یا سرویس دهی دما بالا قرار می گیرند یا نه. اگر قرار گیری در دمای بالا پس از جوشکاری مورد انتظار نباشد فلز پرکننده ای که انتظار می رود که فلز جوشی با انجماد فریت اولیه ایجاد کند، معمولا قابل قبول است. برای مثال ممکن است فولاد زنگ نزن ۴۱۰ به فولاد زنگ نزن ۳۰۴ با فلز پرکننده ۳۰۹ اتصال داده شود. به هرحال، اگر قرار گیری در معرض دمای بالا مورد انتظار باشد، فلز پرکننده کاملا آستنیتی مقاوم در برابر ترک خوردن مانند ۳۱۰، انتخاب مناسبتری خواهد بود.

۱-۴-۶ اتصال فولاد زنگ نزن آستنیتی به فولاد زنگ نزن فریتی

مثالی از این می توان به جوش فولاد های زنگ نزن ۴۱۰ به ۴۰۹ باشد. یک انتخاب ، استفاده از فز پرکننده فولاد زنگ نزن فریتی یا یک فلز پرکننده فولاد زنگ نزن مارتنزیتی است. اگر خواص مکانیکی مورد انتظار از جوش بالا نباشد این انتخاب قابل قبول است. رقت فلز پرکننده با هر دو فلز پرکننده احتمالا یک فلز جوش با ریز ساختار فریت- مارتنزیت مخلوط شده ایجاد می کند. نمودار بالمفورث شکل ۱-۱۶ می تواند جهت تخمین ریزساختار جوش استفاده شود. معمولا یک ریز ساختار فلز جوش فریتی-مارتنزیتی مخلوط شده دارای انعطافپذیری ضعیفی می باشد و اگر یک جوش انعطافپذیر نیاز نباشد ممکن است یمک فلز پر کننده فولاد زنگ

نزن آستنیتی مانند 309L یا یک فلز پرکننده آلیاژی پایه نیکلی مانند NiCr-3 مناسب باشد. اگر احتمال سیکل حرارتی دما بالا وجود دارد، ممکن است فلز پایه پرکننده آلیاژی پایه نیکلی انتخاب بهتری نسبت به 309L باشد و این به خاطر تطابق بهتر در ضریب انبساط حرارتی می باشد.



شکل ۱-۱۶ نمودار ساختاری بالمفورث همراه با محدوده

ترکیبات فولاد زنگ نزن از نوع ۴۱۰ و ۴۲۰.

۱-۴-۷ فلز پرکننده فولاد زنگ نزن برای برای فولادهایی با جوشکاری مشکل

فاز آستنیت در فلزات پرکننده از نوع فولاد زنگ نزن آستنیتی اسما آستنیتی، یا در فلزات پرکننده از نوع فریتی آستنیتی، قادر است به حد زیادی نفوذ هیدروژن از فلز جوش به HAZ یک فلز پایه مارتنزیتی یا فریتی را محدود نماید. علاوه بر این معمولا چنین فلز جوشی در مقایسه با فلز جوش فولاد پرکربن، انعطاف پذیری و چغرمتر است. در نتیجه،فلزات پرکننده فولاد زنگ نزن اسما آستنیتی و فلزات پرکننده زنگ نزن فریتی آستنیتی جهت غلبه بر مشکلات ترک خوردن HAZ در جوشکاری تعدادی از فولادهای با جوشکاری مشکل[1] استفاده شده اند. مثالهای از فولادهای با جوشکاری مشکل، فولادهای آلیاژی با بیش از 0.25%C، شامل فولادهای ذره[2] مورد استفاده در سخت افزار های نظامی از قبیل تانک ها، فولادهای مقاوم به سایش مورد

[1] -Difficult to weld steels
[2]- Armors Steel

استفاده برای حمل کانی ها در صنایع معدنی و فرآوری مواد معدنی، فولادهای قالب و ابزار مورد استفاده در صنعت فلزکاری و مشابه آن می باشد. فلزات پرکننده از نوع فولاد زنگ نزن شامل نوع ۳۰۷، 308HMo، 309Mo، 310، 312، و ترکیب 18 8 Mn اروپایی که اغلب در اروپا اشتباها به آن ۳۰۷ گویند برای این کاربردها استفاده شده است. ترکیب 18 8Mn با ترکیب ۳۰۷ از جهت تفاوت دارد که ۳۰۷ شامل Mo می باشد در حالی که 18 8 Mn حاوی Mo نیست و اینکه ۳۰۷ دارای Mn کمتری نسبت به 18 8Mn می باشد.

نمودار شیفلر و نمودار WRC-1992،اصلاح شده شامل مرزهای مارتنزیتی، می تواند جهت پیشگویی اینکه آیا فلز جوش پاس ریشه شامل فریت خواهد بود یا نه و اینکه آیا فلز جوش پاس ریشه به مارتنزیت استحاله خواهد داد یا نه، قابل استفاده می باشند. از فلزات پرکننده بیان شده، تنها ۳۱۲ برای اتصال فولادهای با جوشکاری مشکل مناسب است تا پاس ریشه ای حاوی فریت ایجاد نماید. اما دیگر ترکیبات حتی با حتی بدون فریت در برابر ترک خوردن انجمادی به حد کافی مقاومند، بنابراین کاربردهای زیادی دارند. پیش بینی نمودار شیفلر و نمودار WRC-1992 در مورد اتصال A508 یا فولاد A36 به 304L مشابه می باشد. اما این دو نمودار همیشه پیش بینی یکسانی ندارند. نمونه ای از آن، اتصال صفحه ای فولادی مقاوم به سایش به فولاد ساختمانی با استفاده از فلز پرکننده فولاد زنگ نزن می باشد. انتخاب این فلز پرکننده اغلب برای تجهیزات حمل سنگ معدن در محل های معدن کاری می باشد تا از پیش گرم بالا اجتناب شود، زیرا در صورت استفاده از فلز پرکننده فریتی فولاد مقاوم به سایش حساسیت زیادی به ترک خوردن هیدروژنی HAZ دارد. فلز پرکننده آستنیتی از رسیدن هیدروژن فلز جوش به HAZ جلوگیری می کند، بنابراین لزوم پیش گرم را به شدت کاهش می دهد. دو نوع رایج از فلزات پرکننده مورد استفاده برای این هدف، ۳۰۷ و ترکیب 18 8Mn اروپایی می باشد، تا جوش های گوشه ای تک پاسه ایجاد نماید.

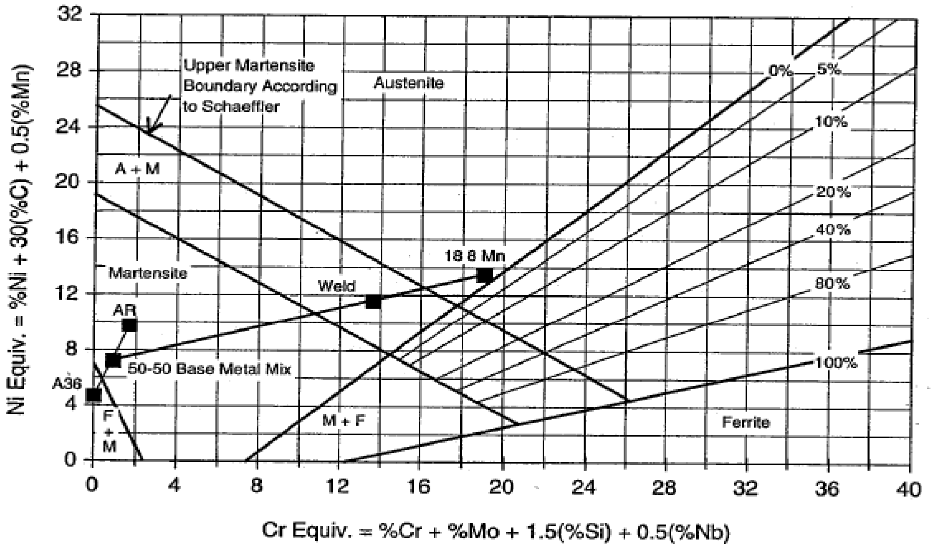
جدول ۱-۱ ترکیب فولاد ساختمانی A36، ورق مقاوم به سایدگی AR و فلز پرکننده 18-8Mn را نشان می دهد. این جدول همچنین فلز پایه ترکیبی شامل مخلوط ۵۰/۵۰ از دو فلز پایه اصلی و ترکیب پاس ریشه با رقت۳۰٪ شامل ۱۵٪ فولاد A36، ۱۵٪ فولاد AR و ۷۰٪ فلز پرکننده 18-8Mn را فهرست کرده است. نیکل و کروم معادل شیفلر و WRC-1992 در جدول محاسبه شده اند. نتایج در نمودار شیفلر در شکل ۱-۱۷ رسم شده است. ترکیب پیش بینی شده فلز جوش در وسط محدوده آستنیت+مارتنزیت نمودار ظاهر شده است. نتیجه این پیش بینی آن است که فلز جوش، نیمه مارتنزیتی و در نهایت ترد خواهد بود.

جدول ۱–۱ ترکیب شیمیایی برای مثال جوشکاری صفحه مقاوم به سایش AR

به ورق A36 با فلز پرکننده 18-8Mn با رقت ۳۰٪.

Element	A36	AR	50/50 Mixture	18 8 Mn	Fillet Weld
C	0.15	0.3	0.225	0.05	0.103
Mn	0.4	1.4	0.9	6.0	4.47
Si	0.2	0.2	0.2	0.3	0.27
Cr	—	1.4	0.7	19.0	13.5
Ni	—	—	—	9.0	6.3
Mo	—	0.3	0.15	—	0.04
N	—	—	—	0.05	0.035
Schaeffler Cr_{eq}	0.3	2.0	1.15	19.45	13.95
Schaeffler Ni_{eq}	4.7	9.7	7.2	13.5	11.62
WRC-1992 Cr_{eq}	0.0	1.7	0.85	19.0	13.56
WRC-1992 Ni_{eq}	5.25	10.5	7.88	11.75	10.59

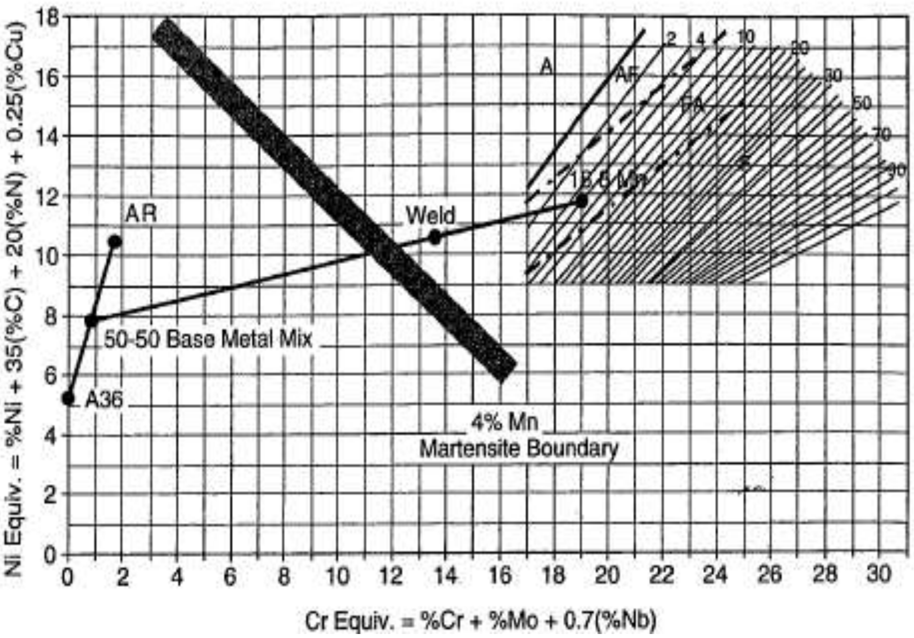
Source: Kotecki [6].



شکل ۱-۱۷ نمودار شیفلر، نشان دهنده موقعیت اتصال فولاد ساختمانی A36

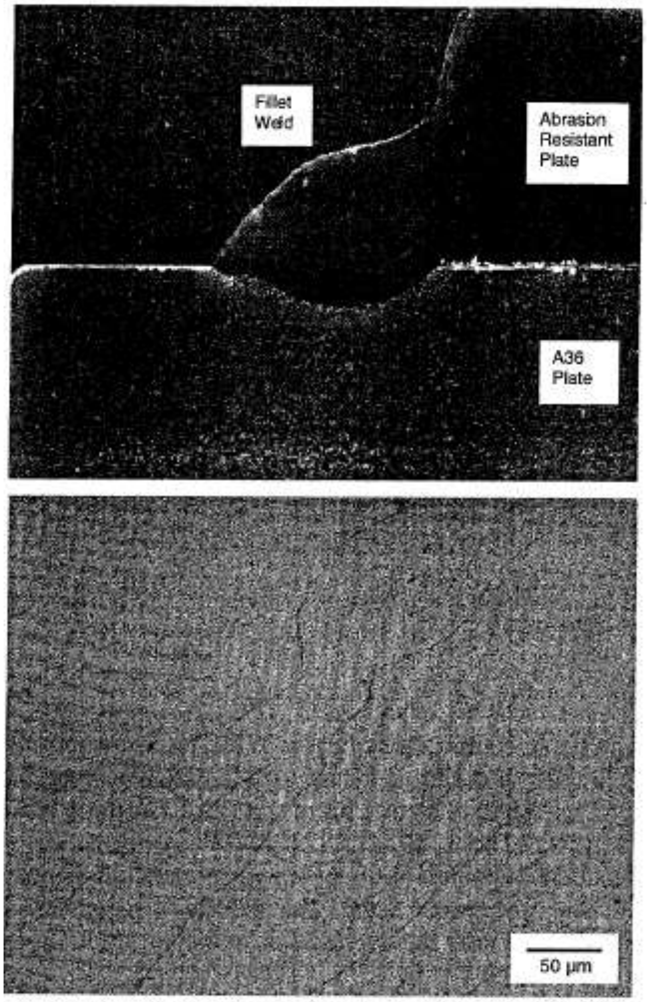
به ورق AR با فلز پرکننده 18-8Mn.

شکل ۱-۱۸ نتایج ترکیب شیمیایی بر روی نمودار WRC-1992 اصلاح شده با محورهای توصعه یافته و دارای مرز مارتنزیتی را برای 4%Mn رسم کرده است. توجه کنید که جدول ۱-۱ دلالت بر آن دارد که جوش گوشه ای شامل کمی بیشتر از 4%Mn خواهد بود، بنابراین مرز مارتنزیتی 4%Mn مناسب می باشد.ترکیب فلز جوش پیش بینی شده، در بالا و سمت راست مرز مارتنزیتی قرار دارد، بنابراین پیش بینی ریزساختار آن است که هیچ مارتنزیتی در فلز جوش نخواهد بود. پیش بینی شده است که فلز جوش کاملا آستنیتی است. این ترکیب بدون فریت بسیار در برابر ترک انجمادی مقاوم می باشد.نمودار شیفلر پیش بینی می کند که جوش تقریبا ۵۰٪ مارتنزیتی خواهد بود، در حالی که نمودار WRC-1992 اصلاح شده، هیچ مارتنزیتی را پیش بینی نمی کند. کدام صحیح است؟ شکل ۱-19 جوش گوشه ای واقعی بین ورق AR به ضخامت $\frac{1}{2}in$ و فولاد ساختمانی A36 به ضخامت 1in را نشان می دهد. ریز ساختار فلز جوش بدست آمده کاملا آستنیتی است. بنابراین نمودار WRC-1992 در این حالت نشان داده است که پیش گویی صحیح تری کرده است.



شکل ۱–۱۸ نمودار WRC-1992 نشان دهنده موقعیت اتصال فولاد ساختمانی

به ورق AR با فلز پرکننده 18-8Mn.



شکل ۱–۱۹ جوش گوشه ای تک پاسه بین فولاد ساختمانی A36 و فولاد مقاوم به سایش

با استفاده از فلز پرکننده 18-8Mn.

۱–۴–۸ اتصال آلیاژ های پایه مس به فولادهای زنگ نزن

مس تمایل به خیس کردن مرز دانه های آستنیت در فولادهای زنگ نزن را دارد که این موضوع می تواند منجر به مشکلات ترک خوردن شدید شود. البته در صورتی که فولاد زنگ نزن روی مس رسوب داده شـود و یـا اگـر

مس بر روی فولاد زنگ نزن رسوب داده شود. در نتیجه معمولا برای چنین اتصالاتی یک فلز پرکننده غی منطبق انتخاب می شود. احتمالا رایجترین آنها فلزات پرکننده حاوی بیشتر از 90%Ni و بر اساس استاندارد AWS از نوع ENi-1 (الکترود روپوش دار) یا ERNi-1 (مفتول یا سیم لخت) می باشد. معمولا خط جوش محدب کوچک، با توجه به پر شدن چاله جوش توصیه می شود.

۱-۴-۹ اتصال آلیاژهای پایه نیکل به فولادهای زنگ نزن

به علت اینکه فولادهای زنگ نزن و آلیاژهای پایه نیکل زیادی وجود دارند،مجموعه های ممکن از این دو سیستم آلیاژی بسیار متعدد می باشد. مشکلات ترک خوردن انجمادی اغلب وقتی ایجاد می شوند که فلزهای پرکننده فولادی زنگ نزن برای این اتصالات بکار روند. در نتیجه بیشتر اتصالات فولاد زنگ نزن به آلیاژهای پایه نیکل با فلزات پرکننده آلیاژی پایه نیکلی انجام می شود. در بیشتر موارد، فلز پرکننده آلیاژ نیکلی برای اتصال آلیاژ پایه نیکلی به خودش، برای اتصال آلیاژ پایه نیکل به فولاد زنگ نزن نیز مناسب می باشد. فلزات پرکننده پایه نیکلی با عنوان مشخصات الکترودهای جوشکاری نیکلی و آلیاژی نیکلی مورد استفاده در فرایند جوشکاری قوسی فلز روپوش دار در AWS A5.11 و مشخصات الکترود ها و مفتول های جوشکاری بدون روپوش از نوع نیکلی و آلیاژهای نیکلی در AWS A5.14 ارایه شده است.

بنابراین برای مثال اگر آلیاژ Ni-Cr-Mo-W دارای دارای UNS N 10276 (معروف به عنوان آلیاژ C-276) بایستی به فولاد زنگ نزن 316L اتصال داده شود، یک فلز پرکننده مناسب ENiCrMo-4 یا ERNiCrMo-4 خواهد بود که ترکیبی مطابق برای آلیاژ C-276 می باشد. فلزات پرکننده آلیاژی پایه نیکلی خاص، دارای شهرت خوبی به خاطر قابلیت اتصال موفقیت آمیز تعداد زیادی از آلیاژهای پایه نیکلی به تعداد زیادی از فولادهای زنگ نزن می باشند. فلز پرکننده NiCrMo-3 از این قبیل پرکننده ها می باشد. کنترل رقت فلز پرکننده پایه نیکلیجهت جلوگیری از ترک خوردن انجمادی مهم می باشد. جدول ۱-۲ توصیه های برای حدهای رقیق شدن عناصر از فلزات پایه فولاد کربنی یا زنگ نزن جهت جلوگیری از ترک خوردن انجمادی را بیان می کند[1].

جدول۱-۲ حد تقریبی رقت عناصر(درصد وزنی) در جوش های غیر مشابه ایجاد شده

توسط فلزات پرکننده پایه نیکلی.

رقت عنصر

فلز جوش	آهن	نیکل	کروم	مس
نیکل	30	_	30	نامحدود
Ni-Cu	25SMAW	نامحدود	۸	نامحدود
	15GMAW			
Ni-Cr-Fe	25	نامحدود	۳۰	۱۵

جوشکاری فلز غیر مشابه به فولاد زنگ نزن آستنیتی توسط فرآیند GTAW

۲-۱ جوشکاری قوسی تنگستن گاز مس CP بـه فـولاد زنـگ نـزن 304L توسـط مـواد مصـرفی گوناگون:

سجاد غلام شیری و همکارانش طی گزارشی مسائل جوشکاری غیر مشابه فولاد زنگ نزن ۳۰۴ به مس را مـورد بررسی قرار دادند. هدف از این بررسی مقایسه سه ماده مصرفی Ni-Cu-Fe ، SS304 و مس برای جوشکاری این دو فولاد بوده است. طی این بررسی ها آنها نتیجه گرفتند که:

فیلر مصرفی Ni-Cu-Fe و فیلر مسی برای جوشکاری مناسب شناخته شده اند. در این حالت هـیچ یـک از دو فیلر مصرفی Ni-Cu-Fe و فیلر مسی دچار ترک های ماکرو و میکرو نمیگردند، اما فیلر مصـرفی مسـی دچـار ترک های انجمادی می شود. این مورد باعث کاهش خواص مکانیکی محل اتصال می شود.

استفاده از فیلر مسی فلز جوش، با استحکام خیلی پایین تر از فلز پایه ایجاد می کند. اما در زیر آزمـون خمـش 180° هیچگونه عیب میکروسکوپی از خود نشان نمی دهد و انعطاف پذیری قابل قبولی ارائه می دهـد. منطقـه ذوب بیشترین سختی را نشان می دهد و همچنین کامپوزیت آهن- مس در فصل مشترک فولاد زنگ نزن- فیلر مسی سبب بالا ترین سختی در منطقه ذوب می گردد[2] .

۲-۲ جوشکاری غیر مشابه فولاد سوپر آستنیتی و فولادHSLA برای کاربری ساحلی توسط GTAW:

براووایوان و همکارانش در تحقیقی به بررسی رفتار جوش نامشابه فولاد زنگ نزن سوپر دوپلکس و فولاد کم آلیاژی استحکام بالا پرداختند. هدف آنها متعادل کردن ریز ساختار SDSS و تاثیر طراحی جوشکاری بر روی ریز ساختار و خواص مکانیکی این اتصال می باشد. آنها پس از جوشکاری نتیجه گیری کردند که :

نمودار WRC-1992 پیشگویی بهتری برای انتخاب فلز پرکننده انجام می دهد. فلز پرکننده مناسب برای اتصال توسط این نمودار ER25.10.4L معرفی شده است. این به خاطر مولیبدن و منگنز کم و نیتروژن بالا در این فیلر می باشد. همچنین در حین استفاده از فلز مصرفی، آستنیت در بخش های HAZ، FZ افزایش می یابد. علت این چنین پدیده ای به خاطر چرخه حرارتی نامظم حاصل از جوشکاری چند عبوری است که منجر به تشویق باز شکل گیری آستنیت در این مناطق می شود.

این در صورتی است که HAZ فولاد API-X52 به خاطر همین اتفاق، نواحی بینیت بالایی در HAZ تشکیل می شود. اما در صورت آهسته سرد کردن آستنیت از دمای بالا امکان جوانه زنی و رشد فریت چند وجهی در منطقه HAZ وجود دارد[3] .

۲-۳ خصیصه منطقه متاثر از حرارت و ذوب جزیی جوش غیر مشابه بین فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI310 و اینکونل ۶۷۵:

نفاخ و شمعانیان و اشرفی زاده منطقه متاثر از حرارت و منطقه ذوب جزی شده را در اتصال AISI-310 به اینکونل ۶۷۵ را مورد بررسی قرار دادند. آنها در این پژوهش چهار نوع فیلر که سه نوع آن پایه نیکل که عبارتند از اینکونل 82 ,A ,617 و نوع چهارم از خانواده فولادهای زنگ نزن آستنیتی سری ۳۱۰ می باشد. طی بررسی آنها در هر دو طرف اتصال، منطقه غیر ترکیبی مشاهده شده است. همچنین توسط میکرو سختی یک پروفیل سختی از ناحیه HAZتا فلز پایه بدست آورند که نشان از رسوب ذرات α غنی از Cr در این ناحیه در تمام فیلرهای استفاده شده می باشد. همچنین آنها نتیجه گرفتند که در فصل مشترک اینکونل و فلز جوش، ناحیه ای متشکل از دانه های ستونی و محوری وجود دارد. این در حالی است که منطقه ذوب جزیی در فصل مشترک فولاد زنگ نزن و فلز جوش قابل مشاهد نمی باشد[4] .

۴-۲ ارزیابی جوش پذیری جوشهای غیر مشابه فولاد زنگ نزن AISI347 به فولاد کم آلیاژی ASTM A335 توسط جوشکاری قوسی تنگستن گاز:

حاجیان و شمعانیان جوش پذیری دو فولاد زنگ نزن ۳۴۷ و فولاد کم آلیاژ A335 را که توسط فرایند GTAW جوشکاری شده اند را مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق از دو نوع فیلر مصرفی به مشخصه ER309L,ERNiCr-3 استفاده شده است. آنها تمامی مناطق جوش نامشابه حاصله از این دو فولاد را مورد بررسی قرار دادند. فلز جوش حاصل از فیلر ERNiCr-3 تماما بصورت آستنیت با شکل دندریت محوری منجمد شده است. همچنین ریز جدایش های نیوبیوم و رسوبات غنی از کروم در ریز ساختار فلز جوش مشاهده گردید. اما در ریز ساختار حاصل از فیلر 309L انجماد بصورت فریت اولیه با مورفولوژی اسکلتی همراه با آستنیت رخ داده است. رشد اپی تکسیال با هر دو فلز مصرفی در نواحی فصل مشترک بین فلز جوش و فلز پایه مشاهده می شود. در نهایت نیز نتایج حاصل نشان داد که فلز جوش حاصل از فلز مصرفی ERNiCr-3 برای جوشکاری مناسب است[5] .

۵-۲ ارزیابی ریز ساختاری و جوش پذیری جوش های غیر مشابه بین فولادزنگ نزن و آلیاژهای پایه نیکل:

طی تحقیقات دوپوند و ماردر تاثیر ترکیب فلز مصرفی و درجه رقت برروی ریزساختار منطقه ذوب و استعداد به ترک خوردن انجمادی جوش دو آلیاژ AL-6XN و اینکونل ۶۲۲و ۶۲۵ مورد ارزیابی قرار گرفت. فولاد های AL-6XN از انواع فولادهای سوپرآستنیتی هستند که همچون دیگر اعضای این خانواده مقاومت خوبی به محیط های خورنده از خود نشان می دهد. در این آلیاژ مولیبدن نقش بسزای را برای ارتقاع مقاومت به خوردگی دارد چون درصد آن به 6-7%wt میرسد. طی تحقیقات انجام شده مشخص گردید که:

- آهن اضافه شده به فلز جوش (که با افزایش درجه رقت رخ می دهد) منجر به کاهش ضریب پخش مولیبدن و نایابیوم می شود. این حالت به ترتیب با افزایش درجه رقت افزایش می یابد.
- جوش های آماده شده توسط فیلر اینکونل ۶۲۲ به ترتیب دو واکنش انجمادی را نشان می دهد که شامل $L\rightarrow\gamma$ و به دنبال آن $L\rightarrow\gamma+\sigma$ می باشد. اما جوش های آماده شده توسط فیلر اینکونل ۶۲۵ سه مرحله انجماد را بروز می دهند که عبارتند از $L\rightarrow \gamma$ و $L\rightarrow \gamma + NbC$ و $L\rightarrow \gamma + laves$ می باشد.درجه حرارت واکنش $L\rightarrow\gamma+\sigma$ در جوش بین IN622/AL-6XN وابسته به درجه رقت و محدوده دمای این، برای AL-6XN خالص 1345˚C و 1285˚C برای IN622 خالص می باشد. در مقایسه، محدوده دمایی واکنش $L\rightarrow \gamma + laves$ در جوش IN625/AL-6XN بطور قابل توجهی پایین تر می باشد (تقریبا از ۱۱۵۰ تا 1170˚C) و نیز کمتر به درجه رقت وابسته است.
- مجموع مقدار فازهای میانی تشکیل شده در جوش های آماده شده با IN622 معمولاکمتر از 2%vol است و به درجه رقت وابسته نمی باشد. اما در جوش های اماده شده توسط IN625 با افزایش درجه رقت درصد حجمی فازهای میانی کاهش پیدا می کند که با درجه رقت ۰ و 87% به ترتیب درصد حجمی فاز های میانی ۷و۲ درصد حجمی می باشد[6,7] .

مراجع:

1. John c. Lippold, Damian J Kotecki, welding metallurgy and weld ability of stainless steel, John Wiley and sons, Hoboken, new jersey,2005.
2. S. Gholami SHIRI, M. NAZARZADEH, M. SHARIFITABAR, M. Shafiee AFARANI, Gas tungsten arc welding of CP-copper to 304 stainless steel using different filler materials, Nonferrous Met. Soc. China 22,2937−2942, (2012).
3. B.I. Mendoza, Z.C. Maldonado, H.A. Albiter, P.E. Robles, Dissimilar Welding of Superduplex Stainless Steel/HSLA Steel for Offshore Applications Joined by GTAW, Scintific Research, 2, 520-528, 2010.
4. H.Naffakh, M.Shamanian, F.Ashrafizadeh, interface and Heat Affected Zone Features of Dissimilar welds Between AISI 310 Austenitic Stainless steel and Inconel 675, International Journal of ISSI, 5nd , 1, 22-30, 2008.
5. I. Hajiannia, M. Shamanian, M. Kasiri, TheWeldability Evaluation of Dissimilar Welds of AISI 347 Stainless Steel to ASTM A335 Low Alloy Steel by Gas Tungesten Arc Welding, Journal of Advanced Materials and Processing,.1,. 4, 33-40, 2013.
6. J. N. DUPONT, S. W. BANOVIC, AND A. R. MARDER, Microstructural Evolution and Weldability of Dissimilar Welds between a Super Austenitic Stainless Steel and Nickel-Based Alloys, welding journal, JUNE 2003,125-135.
7. S. W. Banovic, J. N. DuPont, and A. R. Marder, Dilution and microsegregation in dissimilar metal welds between superaustenitic stainless steel and nickel base alloys, Science and Technology of Welding and Joining, 6, 7, 2002.

من الله توفیق

حسین صادقی

۱۳۹۳/۵/۱۰