

جوشکاری فولادهای ماراجینگ

خلاصه: فولادهای ماراجینگ آلیاژهای آهن- نیکل هستند که برای ترکیب استحکام بالا و چقرمگی شکست خوب، طراحی شده اند. خواص این نوع فولادها از طریق پیر سختی مازنتریت کم کربن هنگامی که از دماهای آستینه سرد می شود ایجاد می شود. تشکیل مازنتریت مستقل از سرسخت کردن بوده و نسبتاً نرم است (حدود RC ۳۰). اما هنگامی در دمای حدود 900°F پیر شود از طریق رسوب ترکیبات بین فلزی به طور قابل ملاحظه ای سخت می شود.

از نقطه نظر جوش پذیری، ویژگی مهم فولادهای ماراجینگ این نکته است که آنها بعد از سرد شدن از دماهای آستینه نسبتاً نرم هستند. این بدین معنی است که نواحی تحت تأثیر گرمای جوش نرم شده، که منجر شده تنش دمای پسماند کاهش یافته و تمایل به ترک برداری سرد هیدروژن کاهش پیدا کند. یک عملیات پیرسازی بعد از جوش استحکام اتصال را افزایش می دهد و چقرمگی منطقه تحت تأثیر گرما معمولاً فلز ما در مطابقت پیدا می کند. سیم های پرکننده استفاده شده جهت جوشکاری فولادهای ماراجینگ ترکیبات خیلی نزدیکی به صفحات پایه دارند. استحکام جوشها بستگی خیلی کمی به فرآیند استفاده شده جهت ساخت آنها دارد، اغلب فرآیندهای می توانند جوشهای با بازده اتصال بالای ۹۰٪ تولید کنند.

با این حال، چقرمگی جوش با فرآیند جوشکاری تغییر می کند. فرآیند قوس گاز تنگستنی بهترین چقرمگی جوش را در فولادهای ماراجینگ ایجاد می کند. مقادیر کمتری از جوش های ساخته شده با فرآیندهای قوس گاز فلزی، پرتو الکترونی و فرآیند پوشیده شده با فلاکس دیده شده است.

به منظور حصول بهترین خواص توصیه می شود در حین جوشکاری .

(۱) باید از دماهای بالا از زمانهای طولانی پرهیز شود.

(۲) باید از پیشگرم کردن پرهیز شود و دماهای بین پاسها را زیر 250°F نگه داشت

(۳) استفاده از حداقل انرژی ورودی جوش

(۴) باید از شرایطی که موجب سرعت های سرد کردن آهسته می شوند پرهیز شود.

به علاوه بسیاری از اقدامات احتیاطی باید برای تمیز نگه داشتن جوش ها تا حد امکان به کار رود، زیرا با افزایش ناخالصی ها چقرمگی کاهش می یابد.

در این گزارش یک شرح کلی از شرایط متالوژیکی شامل شده در جوشکاری فولادهای ماراجینگ با شرح جزئی فایده انواع فرآیندها دنبال شده است. عوامل مهم بحث شده، روشهای توصیه شده و خواصی که از اتصال انتظار می رود خلاصه شده است.

I. مقدمه:

تولید اولین فولادهای ماراجینگ در سال ۱۹۶۰ علاقه زیادی را ایجاد کرد، زیرا آنها چقرمگی خوب و سهولت تولید با استحکام خیلی را ترکیب کرده اند. سایر فولادهای مارخبیک با این خواص بعد از آن گسترش یافته اند و همچنین توجه زیادی را به خود جلب کرده اند. در اواخر سال ۱۹۶۷ آن برآورد شد که بیش از ۱۰۰ مقاله علمی در مطبوعات چاپ شده است.

جدول ۱، انواع، ترکیبات و خواص مکانیکی فولاد هایی که اکنون وجود دارد را نشان داده است. ۵ آلیاژ اول فهرست شده از کبالت و مولیبدن که با تیتانیوم استحکام دهی شده به عنوان یک مکمل سخت کننده استفاده شده است. ششمی (۳-۵-۱۲) با کاربرد های هسته ای طراحی شده و کبالت به صورت عمده ای حذف شده است. این آلیاژ با کرم، مولیبدن، تیتانیوم و آلومینوم سخت شده است.

برای یک حالت بهینه استحکام و چقرمگی چنین عناصری مانند کربن ، سیلیکون، منگنز، گوگرد و فسفر بادی در حد پایین نگه داشته شوند. مقادیر ماکزیم تعیین در صدد وزنی ، عبارتند از: کربن ۰/۰۳، سیلیکون ۰/۱، منگنز ۰/۱، گوگرد ۰/۰۱ و فسفر ۰/۰۱ . چون اصول متالوژیکی یکسانی برای همه انواع فولادهای اعمال می شود، این فولادها می توانند خانواده ای از آلیاژهای آهن-نیکل کم کربن حاوی مقادیر مختلفی عناصر سخت کننده در نظر گرفته شوند. نامشان (ماراجینگ) از عملیات حرارتی که شامل پیر سختگردانی **ماژننیت** کم کربن است ناشی شده است.

II. متالوژی فیزیکی

بحث های گسترده ای در مورد خواص فیزیکی فولادهای ماراجینگ، با یک مرور کلی و خوب وجود داشته است. در نتیجه، اصول متالوژیکی مطرح در این بحث به آنچه که به جوشکاری فولادهای ماراجینگ مربوط است، محدود شده است .

روش معمول عملیات حرارتی فولادهای ماراجینگ، آنیل کردن در دمای حدود 1500°F ، سرد کردن در هوا تا درجه حرارت اتاق، و سپس پیر کردن در دمای حدود 900°F می باشد. متالوژی فیزیکی فولاد های ماراجینگ را به راحتی می توان در رابطه با ساختار ها و خواصی که همراه این مراحل است بحث کرده است.

فولادهای ماراجینگ آنیل محلول شده:

اگرچه فولادهای ماراجینگ Ni ۱۸٪ در دمای 1350°F کاملاً آستنیه هستند، دمای های آنیل بالاتر معمولاً بالاتر جهت تضمین انحلال رسوبهای و از بین بردن تنشهای باقیمانده استفاده شده اند. در سرد کردن، تبدیلات آستنیت به ما... آهن کم کربن- نیکل که یک ساختار BCC دار بدون آشکار شدن تترائگونالیتته انجام می شود.

این نوع ماژنریت نسبتاً نرم (حدود RC ۳۰) و چقرمگی آن خوب است. چون تبدیل آستنیت به ماژنریت در دماهای نسبتاً پایین انجام می شود (نوع μ_s Ni(۲۵۰) ۱۸٪ حدوداً 310°F است). فرآیندهای کنترل شده با نفوذ مناسب نبوده اند، و تشکیل ماژنریت در تمام به وسیله یک فرآیند برشی بدون نفوذ انجام می شود. یک مزیت عملی این است که ماژنریت در تمام سرعت های تبرید و بنابراین در تمام اندازه های مقاطع تشکیل می شود. مفاهیم معمول قابلیت سخت گردانی برای فولادهای ماراجینگ به کار نمی رود. اگرچه ماژنریت آهن- نیکل در دماهای پایین تشکیل می شود، می تواند تا دماهای نسبتاً بالایی دوباره گرم شود قبل از اینکه به آستنیت تبدیل شود (شکل ۱)

در فولادهای ماراجینگ از این پیر سختگردانی استفاده می شود.

پیرسخت گردانی:

هنگامی که ساختار ماژنریتی در دمای حدود 900°F پیر شود استحکام آن افزایش می یابد.

استحکام فولاد $18\% \text{Ni}(250)$ با پیر سازی در دمای 900°F به مدت ۳ ساعت بیش از دوبرابر می شود. چون رسوبات استحکام دهی کوچک هستند و به سادگی توسط روشهای مستقیم تشخیص داده نمی شوند، در این جا بحث های متفاوتی در مورد مکانیزم استحکام دهی وجود دارد. نظریه ای غالب شده است که فولادهای $18\% \text{Ni}(250)$ توسط رسوبات Ni_3Mo و یک رسوب تیتانیوم ثانویه، احتمالاً Ni_3Ti استحکام دهی شده اند. ذرات Ni_3Mo رسوب اصلی است با Ni_3Ti ثانویه که به صورت یکنواخت توزیع شده است و به صورت کروی در کل زمینه توزیع شده اند. کبالت سرعت رسوب را افزایش می دهد ولی خودش رسوب نمی کند. عقیده بر این است که کبالت قابلیت انحلال مولیبدن در آلیاژهای آهن-نیکل را کاهش می دهد، در نتیجه مقدار زیادی رسوب ریز پراکنده که باعث سختی می شود ایجاد می کند. نقش کبالت مهم است زیرا در کی ترکیب منحصر به فرد با مولیبدن، حفظ چقرمگی خوب در استحکام های بالای 300ksi را ممکن می سازد.

آلیاژهایی که یان ترکیب را به کار نبرند در حدود 200ksi شکننده می شوند(شکل ۲).

آلیاژهای تجاری که حاوی کبالت نباشند خیلی کم تا استحکام های 200 ksi استفاده شده اند. تغییرات در سختی که هنگام پیر سازی فولاد Ni ۱۸٪ در دماهای مختلف رخ می دهد در شکل ۳ نشان داده شده است. واضح است که چرا دمای نزدیک به 900°F معمولاً برای پیر سازی استفاده شده اند. در 900°F سختگردانی سریعاً رخ می دهد، با این حال در ماکزیمم سخت گردانی، تا حدود ۱۰۰ ساعت منحنی به صورت صاف باقی می ماند. در 800°F و اکنش ها خیلی آهسته ترند، درحالی که در 1100°F و 1000°F فولادها سریع سخت شده و به زودی نرم می شوند. این موضوع نشان می دهد که نرم شدن توسط ترکیب پیر شدن بیش از حد و تشکیل آستنیت نرم پایدار رخ می دهد.

بازگشت به آستنیت

تشکیل کنترل شده نفوذی آستنیت در فولادهای ماراجینگ، بازگشت آستنیت نامیده می شود. رخدادش می تواند از یک آزمایش دیاگرام تعادلی آهن-نیکل درک شود (شکل ۴). در دماهای منطقه دوفازی ما... به ترتیب α' و γ' آستنیت شکسته می شود و تقسیم عناصر آلیاژی رخ می دهد، α' از عنصر آلیاژی فنی استفاده می شود و در هنگام سرد کردن به طور کامل بهتبدیل نمی شود.

تغییرات موضعی در ترکیب زمینه می تواند تشکیل آستنیت را تقویت کند. برای مثال واضح است که هنگامی که فولادها فراپیر شوند رسوب Ni_3Mo به حالت محلول در می آید و توسط Fe_2Mo جایگزین می شود. این باعث فنی شدن موضعی زمینه از نیکل و تشویق تشکیل

آستنیت می شود. آستنیت نرم استحکام فولادها را کاهش می دهد و بنابراین باید از آن اجتناب کرد. این توسط آنیل کردن در درجه حرارتهای بالا منطقه دوفازی و پیر کردن در درجه حرارت های به اندازه کافی پایین تر از منطقه دوفازی انجام می شود.

III. متالوژی جوشکاری

ناحیه تحت تأثیر گرما

مناسب است ناحیه تحت تأثیر گرما در فولادهای ماراجینگ را به عنوان ۳ منطقه ی جداگانه در نظر گرفت (شکل ۵). نزدیکترین نقطه به جوش ناحیه (A) است که تا منطقه آستنیت کام توسط گرمای جوش گرم شده است و در هنگام تبرید به ماژنریت تبدیل شده است. بعدی یک نوار باریک است که (B) که تا منطقه دوفازی آستنیت + فریت گرم شده است. در نهایت یک ناحیه (C) وجود دارد که دماهای تجزیه شده از حدود 900°F به بالا محدود شده است.

ناحیه A: دمای اوج تجربه شده در فصل مشترک بین نواحی A و B حدود 1350°F اندازه گیری شده است، به طوریکه توسعه ناحیه A از خط ذوب تا دمای 1350°F به صورت همدماست. در حین جوشکاری، فلز در این ناحیه تا منطقه آستنیت کامل گرم شده و سپس سرد شده است. صرف نظر از سرعت تبرید، ساختار بعد از جوشکاری یک ماژنریت آهن-نیکل کم کربن با سختی حدود RC ۳۰ یا VPN ۳۵۰ است (شکل ۶).

اگر فولاد قبل از جوشکاری در شرایط پیر شده باشد، استحکامش در ناحیه A توسط گرمای جوشکاری کاهش خواهد یافت (شکل ۷). اگر فولاد در شرایط آنیل شده جوشکاری شود، استحکام در ناحیه A به سختی توسط فرآیند جوشکاری تغییر می کند (شکل ۸). همچنین هر دوی این شکل ها نشان می دهند که وقتی اتصال بعد از جوشکاری پیر شود، استحکام ناحیه A تقریباً با استحکام صفحه پیر شده افزایش می یابد. یک کاهش استحکام جزئی در ناحیه با دانه های درشت وجود دارد (شکل ۹) که با یافته های Floreen و Decker مطابقت دارد، که مشاهده شده است در دماهای آنیل خیلی بالا باعث یک کاهش جزئی در استحکام شده است.

ناحیه B: مقادیر نسبتاً کمی از فلز تا یک دمای حداکثر در ناحیه ی دو فازی (حدود ۱۱۰ تا 1350°F) گرم شده اند، اغلب باند تاریک نامیده می شود، به دلیل اینکه اچ شده است. این یک ساختار **مارتنزیتی** با یک آستنیت برگشته ریز، پراکنده و پایدار است (شکل ۱۰).

تشکیل این ساختار توسط «Peterson» با استفاده از تجهیزات Geleeble مطالعه شده است. او نمونه های فولاد ماراجینگ (۲۵۰) Ni را ۱۸٪ سرعت های $100^{\circ}\text{F}/\text{sec}$ و $800^{\circ}\text{F}/\text{sec}$ گرم کرد و تغییر شکل را با یک دیلاتومتر با سرعت بالا دنبال کرد. در سرعت های گرمایش بالاتر با یک مکانیزم برشی به آستنیت تبدیل می شود. در سرعت های گرمایش کمتر از $400^{\circ}\text{F}/\text{sec}$ تشکیل کنترل شده نفوذی آستنیت رخ داده است. قبل از اینکه واکنش های برشی در دمای بالاتر انجام شود این تبدیل وابسته به زمان بازگشت

آستنیت است که قبلاً بحث شده است. محصول بازگشت یک آستنیت پایدار نرم است که هنگامی که اتصال پیر شده است سخت نمی شود. در نتیجه نوار باریک ضعیف تر از بقیه ساختار تحت تأثیر گرما باقی می ماند. این که چه مقدار ضعیف تر است به مقدار آستنیت بستگی خواهد داشت. چون مقدار آستنیت با افزایش زمان نگهداری در دمای بالا افزایش می یابد و بنابراین انرژی ورودی افزایش می یابد، می توان انتظار داشت که با افزایش انرژی ورودی استحکام کاهش یابد. این روند در شکل ۱۱ نشان داده شده است. نمونه های که تا یک اوج 1200°F گرم شد و انرژی ورودی 400 J/in داشته و سپس دوباره پیر شده اند، استحکام های حدود ۱۰٪ کمتر از فلز جوش داده نشده دارند (شکل ۹).

این برای همه انواع درست است (شکل ۱۲). تکرار سیکل در این درجه حرارت باعث کاهش بیشتر استحکام می شود. انتظار می رود که چنین اتفاقی رخ دهد، زیرا با هر سیکل آستنیت بیشتری تشکیل می شود. همچنین این واضح است که هنگامی که مقداری آستنیت از قبل در ساختار وجود داشته باشد تشکیل آستنیت بازگشت داده شده سریع تر خواهد بود.

در جو شهای واقعی عرض باند تاریک یک عامل مهم است زیرا باندهای باریک تر به طور مؤثر تری توسط مواد احاطه کننده قوی تر، تقویت شده اند. در اینجا انتظار می رود که انرژی های ورودی پایین پیر سازی مفید باشند. در عمل این ملاحظات منطقه تحت تأثیر گرما خیلی مهم نیستند، زیرا نمونه های شکشی متقاطع در فلز جوش، اغلب در بازده های اتصال ۹۰ تا ۹۵٪ بسته به نوع فولاد جوش داده شده، می شکنند. هر چند نمونه های شکست های منطقه تحت

تأثیر گرما در استحکام های متناظر در بازده های اتصال ۸۰ تا ۸۵٪ وجود داشته است. این ها زمانی که انرژی های ورودی زیادی استفاده شده باشد رخ داده اند. نتیجتاً کنترل انرژی ورودی به منظور حداقل کردن منطقه تاریک یک کار خوب توصیه شده است.

منطقه C: این منطقه توسط گرمای جوشکاری خیلی کم تحت تأثیر قرار گرفته است. برای مقاصد عملی، این ناحیه سوم می تواند به عنون صفحه جوش داده نشده در نظر گرفته شود.

چقرمگی ناحیه تحت تأثیر گرما:

چقرمگی ضربه ساختار های مختلف ناحیه تحت تأثیر گرما تولید شده توسط سیکل Gleeble در شکل ۱۳ نشان داده شده است. این با صفحه جوش داده نشده مشابه است به جزء دو منطقه که استحکام های به صورت جزئی کمتر با مقادیر چقرمگی تا حدی بالاتر ترکیب شده اند. چقرمگی اندازه گیری شده در میله های شیاردار در نواحی تحت تأثیر گرما جوش های واقعی نتایج Gleeble را اثبات می کند. برای مثال، چقرمگی های شکست کرنش صفحه ای نواحی تحت تأثیر گرمای جوش های قوس زیر پودری و قوس گاز تنگستنی در فولاد ماراجینگ (۲۵۰) Ni ۱۸٪ یکسان است (حدود ۸۵ksi) و بالاتر از چقرمگی صفحه (حدود ۷۵ksi) بوده است. Kies در یک مطالعه کلی چقرمگی قطعات جوشکاری فولاد ماراجینگ ، تعداد زیادی از نمونه هایی از اتصالات ساخته شده با چندین فرآیند را آزمایش کرد . شکل ۱۴ نمونه های از نتایج اوست و نشان می دهد که نواحی تحت تأثیر گرما به صورت جزئی چقرمه تر از صفحه جوش داده نشده است.

رسوب جوش:

ساختار جوش: ترکیب شیمیایی سدیم پرکننده مورد استفاده در جوشکاری فولادهای ماراجینگ معمولاً شباهت زیادی به صفحه (فلز) پایه دارد. نتیجتاً جوش و صفحه هر دو ساختار پایه ای یکسانی دارند که شامل زمینه ای با کم کربن بوده و توسط رسوبات ترکیبات بین فلزی پیر سخت گردیده است. میکروسکوپی فیلم نازک جوشهای ۱۸٪ نیکل این شباهت را تأیید می کند. اگرچه نشان داده شده است که ساختار جوش پیچیده تر از صفحه پایه است. جوش دانسیته بالاتری از نابعائی ها را دارد و حاوی مناطق آستنیت است. ساختار جوش پیر شده فولاد ماراجینگ (۲۵۰) Ni ۱۸٪ شامل چاله های سفید آستنیت، مناطق اچ شده سیاه رنگ دور آستنیت و زمینه با ساختار مارتنزیتی است. (شکل ۱۵). چاله های آستنیت در یک پاس جوش هنگامی که جوش آزمایش دیده نمی شوند. آنها وقتی که جوش پیر می شود ظاهر می شوند (شکل ۱۶).

در یک ترکیب همگن در حوالی 1200°F آستنیت پایدار سریعتر تشکیل می شود. با این حال در جوش چاله های آستنیت پایدار در دماهای پایین تری تشکیل خواهند شد. پیر سازی در دمای 900°F به مدت ۳ ساعت چاله ها در مناطقی که عناصر آلیاژی جدایش کرده اند تشکیل می شوند.

این به این معناست که وجود این عناصر در مقادیر بیشتر از معمول می تواند باعث کاهش دمای برگشت شود. آنالیز های میکروسکوپی نشان داده اند که عناصر سخت کننده مولیبدن و

تیتانیوم بیشتر جدایش می کنند. این موضوع به این نکته اشاره دارد که اگر مقدار این عناصر در سیم پر کننده کاهش یابد مقدار آنها در مناطق بین سلولی کاهش یافته و در نتیجه تمایل به تشکیل آستنیت کمتر خواهد بود؛ که این واقعیت را می توان با مقایسه جوش های فولاد های (۲۵۰) Ni(۱۸٪ و (۲۰۰) Ni(۱۸٪ مشاهده کرد. انواع با استحکام پایین تر حاوی مقدار کمی از مولیبدن و تیتانیوم هستند و اساساً بدون چاله های آستنیت هستند (شکل ۱۷).

تأثیر ساختار بر خواص: تلاش ها جهت شرح خواص جوش ها نسبت به ساختار متالوژیکی آنها بر روی تأثیر جدایش متمرکز شده است. در اینجا این مربوط است به اینکه آستنیت نرم در مجاورت **مارتنزیت** می تواند چقرمگی صفر باشد. کوریجان (Corrian) نشان داد که شکل پذیری جوش ها می تواند در دماهای بالای همگن بهبود یابد.

اشاره شده است که مناطق اچ شده سیاه رنگ چون غنی از عنصر حل شده هستند می توانند حاوی ذراتی باشد که به عنوان هسته های شکست عمل می کنند، سپس این هسته ها به هم متصل می شوند و در بین سلولهای ساختار زمینه می شکنند. آزمایش مقاطع شکست نمونه های شیاردار شکسته شده از جوش ها TIG منجر به نتایج تا حدی متفاوت شد که مرز های سلول های خودشان به عنوان مسیری برای شکست ترجیح داده شده اند.

مطالعه مسیر ترک در نمونه های کششی جوشکاری شده فولاد های (۲۵۰) Ni(۱۸٪ که ترک دار هستند ولی شکسته نشده اند نشان داده است که ترکها در نتیجه به هم پیوستن حفره ها یا زیر ترک ها در چاله های آستنیت پیشروی می کنند (شکل ۱۸).

آستنیت با ترکی که به هم پیوستن دو حفره ایجاد شده است به صورت زودرس می شکند (شکل ۱۹). این نشان می دهد که حفره های و ترک ها با ناخالصی هایی که در مرکز چاله های آستنیت حضور دارند به هم متصل شده اند (شکل ۲۰).

سیم های پرکننده استفاده شده اند تا جوش های تولید شده مقدار کم یا هیچ گونه آستنیتی نداشته باشند. در استحکام های یکسان، چقرمگی جوش های با آستنیت کم خیلی بهتر از جوش های حاوی آستنیت بالاست. این موضوع مهم برای جوش های MIG و مهم برای جوش های TIG صحیح است .

باندهای تاریک که قبلا در منطقه تحت تأثیر گرما بحث شدند در جوش های چندگانه نیز حضور دارند (شکل ۲۱). در مناطقی که چندین پاس جوش روی مهم باشند استحکام می تواند به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. برای مثال استحکام در پایین یک جوش TIG که با چندین پاس جوش تولید شده به طور قابل ملاحظه ای کمتر از استحکام اندازه گیری شده در بالای همان جوش است. جوش های تولید شده با تعداد پاس کمتر بعید است از این راه تحت تأثیر قرار گیرند زیرا باندهای سیاه خیلی پراکنده تر هستند.

این بحث نشان می دهد که ساختار ریخته شده جدایش یافته تحت تأثیرات مهمی بر خواص مکانیکی جوشهای تولید شده از تمام فرآیندهای جوشکاری ذوبی دارد و سایر عوامل تأثیر گذار از قبیل ساختار دانه ای و مقدار ناخالصی با فرآیند جوشکاری تغییر زیاد می کند و در واقع این تغییر مسئول تغییرات در خواص جوش های تولید شده توسط فرآیندهای مختلف

می باشد. این عوامل بعداً وقتی که فرآیندها به طور جداگانه مورد بحث قرار گرفتند در نظر گرفته می شوند.

تنش های باقیمانده در قطعات جوشکاری فولاد ماراجینگ :

سیستم تنش باقیمانده اندازه گیری شده در قطعات جوشکاری فولادی ماراجینگ غیر عادی است. در حالی که الگوی سنتی تنش های باقیمانده نشان می دهد که در طول خط مرکزی جوش، تنشها کششی و ماکزیمم هستند و تنش کششی به داخل ناحیه تحت تأثیر توسعه می یابند (شکل ۲۲) . الگو در فولادهای ماراجینگ نشان می دهد که تنش های خط مرکزی فشاری هستند . آنها فقط در بعضی فواصل از خط ذوب جوش کششی می شوند (شکل ۲۳).

توضیحی که جلوتر بیان شده به جهت مدل تنشی است که در طی سرد کردن، تنشهای کششی پسماند به آسانی و به خاطر تأخیر افتادن در انقباض به وجود می آید. اما وقتی استحاله آستنیت به مارتنزیت رخ می دهد، افزایش در حجم بر خلاف تنش های فشاری به وجود می آید که برای خنثی کردن تنشهای کششی کافی است . این به دلیل تبدیلاتی است که در درجه حرارت های نسبتاً پایین انجام می شوند که تنشهای فشاری غالب هستند. برای رخ دادنآزادسازی تنش، دما خیلی پایین است. این الگوی تنش باید به این معنی باشد که به دلیل نزدیک بودن به خط ذوب تنشها فشاری و بی خطر هستند و خطر ترکبرداری سرد کاهش یافته است.

تردی هیدروژنی در قطعات جوشکاری شده :

قابلیت ترکبرداری سرد قطعات جوشکاری شده فولاد ماراجینگ توسط Boni Szewski آزمایش شده است. او نمونه های شیاردار فولاد (۲۵۰) Ni ۱۸٪ همراه با هیدروژن را تا تقریباً ۲۰۰۰°F و برای شبیه سازی سرعت های تبرید در یک منطقه تحت تأثیر گرما کوئنچ کرد. سپس نمونه ها به صورت ساکن بارگذاری شده اند و زمان شکست در برابر تنش رسم شده تنشی که فولاد (۲۵۰) Ni ۱۸٪ قادر بود تحمل کند بدون آنکه بشکند اساساً از مقدار که قبلاً برای یک فولاد کم آلیاژ و کربن متوسط اندازه گیری شده بود بالاتر بود. دو فولاد با استحکام یکسان در شرایط عملیات حرارتی کامل قرار می گیرند، اما بعد از کوئنچ فولادی که با کربن سخت شده، خیلی سخت (حدود RC ۶۰) و مستحکم خواهد بود درحالی که فولاد ماراجینگ نسبتاً نرم است (RC ۳۰). این اختلاف در استحکام بعد از کوئنچ دلیل اصلی اختلاف در قابلیت بارگذاری هنگام شارژ با هیدروژن است. چون قابلیت ترد شدن هیدروژنی با استحکام کششی افزایش می یابد فولاد ماراجینگ نسبتاً نرم باید تمایل کمتری به ترد شدن هیدروژنی داشته باشد. حتی در شرایط کاملاً سخت شده فولاد های ماراجینگ نسبت به فولادهای کربنی سخت شده با استحکام مشابه قابلیت کمتری جهت ترد شدن هیدروژنی دارند، و خواص آنها هنگامی که در دماهای پایین برگشت داده می شوند زودتر بهبود می یابد. انتظار می رود که با این ترکیب، قابلیت پایین برای ترد شدگی هیدروژنی و تنش های باقیمانده در مجاورت جوش که فشار هستند، احتمال ترکبرداری فولاد ماراجینگ نسبتاً کم باشد.

وقوع ترکبرداری:

ترکبرداری سرد: وقتی فولاد ماراجینگ (۲۵۰) Ni ۱۸٪ در حداکثر نگهداری در بالاترین ضریب احتیاط آزمایش شد حتی زمانی که ۵٪ هیدروژن یا ۱٪ آب به پوشش گازی آرگون اضافه شد ترک برنداشت. همچنین عملکردش در شرایط تست های به شدت کنترل شده حرارتی به ما می گوید که خوب است.

از سوی دیگر علاوه بر سیستم تنشی مطلوب که قبلاً بحث شده نمونه های از ترکبرداری سرد متقاطع در ساختار ریخته جوش وجود داشته است. Witherell و Fragetta در مطالعات توسعه ای اولیه، ترکهای متقاعی را در جوش های ایجاد شده با قوس در یک صفحه نازک (۲۵۰) Ni ۱۸٪ با سیم پر کننده ای که در هوا ذوب شده بود دیدند. وقتی که سیم پر کننده قبل از استفاده پخته شود و یا برای ذوب سیم از سیستم خلاء استفاده شود از ایجاد ترک جلوگیری می شود. بسیاری از مشاهدات مشابه به تازگی توسط رابرت گزارش شده است. او هنگام جوشکاری قوس با گاز فولاد ماراجینگ (۲۵۰) Ni ۱۸٪ با ترکبرداری متقاطع مواجه شد. تحقیقات این واقعیت را آشکار کرد که دسته خاصی از سیم که او استفاده کرد در هنگام آماده سازی در خلاء حرارت ندیده بودند. تمام دسته های بعدی در خلاء حرارت دیده بودند و با ترکبرداری بیشتر مواجه نشدند. این نتایج اهمیت کنترل سیم پرکننده حاوی هیدروژن را تأیید کرد. بعضی از کارگزاران گزارش داده اند که اگر هیدروژن محتوای رسوب جوش تقریباً از ۵ppm تجاوز کند می توان انتظار ترکبرداری را داشت. دیگران احساس می کنند که ۳ppm

حد مجاز بوده و اشاره می کنند که نباید بیش از ۵ppm درسیم پرکننده وجود داشته باشد. دومی، دقیقتر و به طور گسترده ای پذیرفته شده است.

ترکبندی گرم:

همانند سایر آلیاژها وقوع ترک گرم در فولادهای ماراجینگ به نظر می رسد به صورت واضحی مربوط به ناخالصی های مثل گوگرد، فسفر و سیلیکون است. چون وجود این عناصر باعث کاهش چقرمگی فولادهای ماراجینگ می شود. برای ظهور آلیاژهای مقاوم در برابر ترکبندی گرم توصیه شده است که در سطوح پایین کنترل می شوند.

برای مثال در آزمایش ترکبندی گرم Huxley، یک فولاد ماراجینگ Ni ۱۸٪ با عناصر ناخالصی بالا در خلاء ذوب شده بود قابلیت ترک خیلی کمی داشت. به طور مشابه آزمایش شکلپذیری گرم یک فولاد Ni ۱۸٪ نشان داد که تمایل به ترکبندی در ناحیه تحت تأثیر گرما ندارد با این حال، همانگونه که آزمایش Vareststraint نشان داد، می توان انتظار تغییرات دمایی را داشت. و اگر اجازه افزایش ناخالصی ها داده شود، ترکبندی می تواند انجام شود.

«پپ و ساویچ» از گرم شدن فولاد ماراجینگ (۲۵۰) Ni ۱۸٪ برای شرح تبدیل ترکیبی در منطقه تحت تأثیر گرما استفاده کردند. در حین جوشکاری ناخالصی های سولفید تیتانیوم نزدیک به خط ذوب شروع به حل شدن می کنند و مناطق موضعی غنی از سولفید و تیتانیوم تشکیل می شود. اینها تشکیل **فیلم های** مایع مرزدانه ای می دهند که هنگام سرد شدن جوش ایجاد شکاف می کنند. این نکته جالب توجه است که درکار سیم های پرکننده با

محتوای تیتانیوم بالای در حدود ۰/۸٪ فلزات جوش با تمایل به شکست گرم تولید می کند. این افزایش حساسیت با افزایش محتوای تیتانیوم احتمالاً جهت اعمال برابر تا منطقه تحت تأثیر گرماست. در نتیجه ترکیب‌داری در فولادهای خیلی مستحکم که مقدار نسبتاً زیادی تیتانیوم برای استحکام دهی آنها استفاده شده محتمل تر است. هنگام جوشکاری فولادهای ماراجینگ بعضی کارگران با ترک های منطقه تحت تأثیر گرمای موازی با سطوح صفحه مواجه شدند. ترک ها در امتداد باندهای جدایش در صفحات اصلی بودند و در فواصل زیادی این باند ها شکل لایه های آستنیت محتوای رشته های ناخالصی های غیر فلزی می گرفتند. گرمای جوش تنش های ایجاد می کند که باعث لایه لایه شدن آستنیت می شود. فولادها با قوس پلاسمای لایه لایه شده به همین روش بریده می شوند. تغییرات در تکنیکهای تولید صفحه جدایش و اتصال را حداقل می کند و در نتیجه ترکیب‌داری منطقه تحت تأثیر گرما در این روش یک مشکل اساسی بزرگتر به حساب نمی آید.

IV. ملاحظات کلی جوشکاری

خلوص و تمیزی:

Puzak، بعد از آزمایشات دقیق به نتایج جدیدی دست یافت، که چقرمگی شکست فولادهای با استحکام بالا در یک استحکام تسلیم خاص عمدتاً توسط تمیزی مواد تعیین می شود (شکل ۲۴).

اگر استحکام بالایی نیاز باشد مواد باید حاوی مقدار کمی ناخالصی باشند. این هم برای صفحات و هم برای جوش اعمال می شود. اهمیت خلوص در جوشهای فولاد پر استحکام یک واقعیت در حال رشد است و تولید کننده ها اکنون احتمالاً قصد ایجاد تمیزی در مواد را ندارند که در آماده سازی اتصال و در فرآیند جوشکاری باری تولید جوشهای با خواص مکانیکی خوب ضروری است. عملیات قبل از جوشکاری باید شامل تمیز کردن سطوح اتصال و مناطق در برگیرنده ، معمولاً با پارچه یا کتان تمیز و یا الکل مایع باشد.

کیفیت سیم، همچنین یک عامل مهم در کنترل خواص و بی عیبی جوش می باشد. سیم پرکننده از موارد خیلی تمیز ساخته شده باشد و باید پردازش شده باشد به گونه ای که کیفیت سطح خوب داشته و اکسیدگیر افتاده و روغن داشته باشد چنین تکنیک مانند اضافه تراش جهت برداشته شدن تا ۰/۰۱۵ اینچ از میله نورد شده قبل از کشیدن از این لحاظ مفید است. آنیل کردن خلاء سیم توصیه شده است (شکل ۲۵) و تمیزکاری التراسونیک نیز ثابت شده است که مفید است. نهایتاً جهت جلوگیری از آلودگی، سیم پیچیده شده بسته بندی شده و در ظرفهای آرگون خشک پاکسازی شده انبار می شود. آنالیز گاز سیم پرکننده نشانه ای از مناسب بودن است. مقدار اکسیژن و نیتروژن حدوداً زیر ۵۰ ppm و هیدروژن زیر ۵ ppm است .

گاز پوششی مورد استفاده در جوشکاری باید به صورت خالص و خشک باقی مانده باشد و پوششها و تجهیزات حمل باید تمیز و بدون نشستی باشد. نشان داده شده است که جزئیات ریز کنترل، از قبیل استفاده از غربال پخش کننده گاز در مشعل و شیب مناسب مشعل در جهت حرکت مفید

است. همچنین واضح است که پوششهای کمکی از قبیل پوششهای پشت بند می تواند تخلخل را حداقل کند و خواص اتصال را بهبود بخشد.

ملاحظات شکل دهی:

نیازهای شکل دهی بستگی به عواملی از قبیل شکل و اندازه اجزای جوش داده شده و به دیگری متغیر است. با این حال دو نکته مهم اساسی را باید در هنگام جوشکاری ماراجینگ در نظر داشت. اول، نیاز به حداقل گرما، توسط پوشش انتخابی و تجهیزات نصب شده که گرمایش فلز مادر را محدود کند. و دیگری عملی است که مهار کردن، اندازه و نگه داشتن مواد در شرایط آنیل شده محلول نسبت به شرایط کاملاً پیر شده را راحت تر کند و بدینسان تجهیزات مورد نیاز را ساده تر و کم حجم تر کند. در نتیجه هنگامی که طراحی اجزا و ظرفیت کوره اجازه می دهد، ساده تر است که مواد جوش داده شده در شرایط آنیل کامل باشند و کل اجزا بعد از جوشکاری پیر سازی شوند.

یک اتمسفر محافظ نیاز نیست این رویکرد به طور موفقیت آمیزی برای پوسته های تقویت کننده با قطر ۲۲ فوت اعمال شده است (شکل ۲۶). اگر پیر شدن کل ساختار امکان پذیر نباشد، فولاد های ماراجینگ می توانند در شرایط عملیات حرارتی شده کامل جوشکاری شده و سپس توسط شعله با روشهای گرمایشی مقاومتری در اتصال های جوش موضعی پیر شوند.

پایداری قوس:

گزارش های پر در دسر ناپایداری قوس در حین جوشکاری فولادهای ماراجینگ وجود داشته است. یک آزمایش مشخصات مغناطیسی فولادهای ماراجینگ ۸Ni آماده شده به دلیل حضور میدانهای مغناطیسی پسماند در قطعات جوشکاری شده که معلوم شده بود یکی از دلایل از بین رفتن قوس است. مطالعه دریافت که اگرچه برای مغناطیسی کردن فولاد ماراجینگ به استحکام های بالاتری نیاز است، قدرت حفظ مغناطیس بودن آن به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از فولاد کربنی است و غیر مغناطیس کردن آن مشکل تر است. نتایج اشاره می کنند که جهت تضمین اینکه صفحات قبل از جوشکاری مغناطیسی نشوند باید محافظت انجام شود.

یک روش معمول برای بهبود پایداری قوس در هنگام جوشکاری MIG فولادهای پرآلیاژ، اضافه کردن مقادیر کم اکسیژن یا دی اکسید کربن به گاز محافظ می باشد. با این حال ایم کار اضافات ناخالصی های محتوای جوش را افزایش داده و بنابراین چقرمگی جوش را کاهش می دهد. تجربیات پترسون و نوف این تأثیرات را نشان داد. آنها دریافتند که در صورت استفاده از گاز آرگون خالص به عنوان گاز پوششی، جوشهای MIG می توانستند به طور رضایت بخشی تولید شوند و با افزایش اکسیژن ، پایداری قوس بهبود یابد. اما امکان اکسیژن چقرمگی جوش را کاهش داد. در حضور ۰.۴٪ اکسیژن چقرمگی ضربه (CVN) جوشهای ۱۲Ni-۵cr-۳Mo از ۳۲ft-lb به ۲۲ft-lb افت می کند. داده های رومین چگونگی کاهش چقرمگی با افزایش اکسیژن محتوای فلز-جوش را نشان می دهد (شکل ۲۷). محتوای اکسیژن بالای جوش های MIG و قوس کوتاه برای این بررسی با استفاده از گاز پوششی که برای بهبود پایداری قوس به طور ملایم اکسید شده است حاصل شد. سایر مردم با مقایسه این تحقیقات دریافتند که اکسیژن تأثیری بر چقرمگی ندارد. به

طور مثال، رابرت مشاهده کرد که افزایش ۱٪ اکسیژن به آرگون بهترین پایداری قوس را ایجاد می کند بدون اینکه تأثیری بر چقرمگی جوشهای فولاد (۲۵۰) Ni(۱۸٪ داشته باشد. حتی بعضی از کارگران با افزایش ۵٪ اکسیژن به گاز پوششی به طور آشکار کشف کردند که چقرمگی کاهش نیافته است. دیگران احساس می کنند ۱٪ خیلی زیاد است.

اختلاف در میزان اکسیژن که روی چقرمگی تأثیر دارد قابل درک است زیرا میزان تأثیر به ناخالصی مواد استفاده شده در ساخت جوش بستگی خواهد داشت. جوش های ساخته شده با مواد نسبتاً ناخالص حتی وقتی که از گاز آرگون خالص استفاده شود دارای محتوای زیادی از ناخالصی ها خواهد بود به طوریکه افزایش اکسیژن تأثیر کمی خواهد داشت. از سوی دیگر مقدار کمی اکسیژن چقرمگی جوش های ساخته شده با مواد خیلی خالص را معیوب خواهد کرد.

به نظرمی رسد پرهیز از استفاده اضافات اکسیژن به صلاح باشد، بخصوص چون واضح است که آنها مقدار تخلخل را نیز افزایش می دهند. اگر قرار است که اکسیژن اضافه شود مقدار آن باید تا حد امکان کم باشد. مشخص است که مقدار ۱٪ یا کمتر می تواند بدون اینکه چقرمگی جوش را از بین ببرد قوس را پایدار کند. (جدول ۲)

یک راه پیشنهادی که جهت غلبه بر خاموش شدن قوس در جوش MIG استفاده شده، استفاده از سیم پوشیده شده و یک جریان متناوب است. وقتی این فرآیند با پوشش آرگون خالص برای جوشکاری فولاد ماراجینگ استفاده می شود پایداری قوس خوب است و پاس جوش خوبی ظاهر می شود، اما تا کنون این تکنیک به طور گسترده ای استفاد نشده است.

کنترل انرژی ورودی :

در هنگام جوشکاری فولادهای ماراجینگ باید از انرژی ورودی بالا جلوگیری شود، زیرا آنها معمولاً باعث با پاسهای جوش زیادی به هم متصل شده اند که ساختار درشت و جدایش یافته و چقرمگی ضعیفی دارند. با افزایش اندازه پاسها چقرمگی جوش کاهش می یابد (شکل ۲۸)، در نتیجه پاس های زیر و محکم سفارش شده اند. انرژی های ورودی بالا، همچنین زمان های بالاتری را در درجه حرارت بالاتر شامل می شود و سرعت های سرد شدن را کاهش می دهد. اینها، تشکیل رسوبات مرزخانه ای را به خصوص در انواع مستحکم تر تقویت می کنند، و این می توانند فولادها را شکننده کند. در نهایت همچنانکه انرژی ورودی افزایش می یابد، استحکام تسلیم باند تاریک منطقه تحت تأثیر گرما کاهش می یابد. با آنیل محلول کردن بعد از جوشکاری و قبل از پیر سازی استحکام می تواند ترمیم شود، اما در سازه های بزرگ این کار پر هزینه است و همیشه عملی نیست. یک امتیاز فولادهای ماراجینگ این است که برای عملیات بعد از جوشکاری به دماهای بالایی نیاز ندارند. یک عملیات پیر سازی نگهداری در دمای 900°F به مقدار کافی است، و در عمل یک روش استفاده معمول است.

راههای توصیه شده در چگونگی جوشکاری فولادهای ماراجینگ :

- ۱- باید در دماهای بالا از زمان های طولانی پرهیز شود. ۲- باید از پیش گرم کردن پرهیز شود و دمای بین پاسها را زیر 250°F نگه داشت. ۳- استفاده از حداقل انرژی ورودی جوش
- ۴- باید از شرایطی که موجب سرعت های سرد کردن آهسته می شوند، پرهیز شود.

۷. جوشکاری با فرآیندهای گاز خنثی:

به طور معمول فرآیندهای قوس تنگستنی و قوس فلزی برای ساختن فولادهای ماراجینگ بطور گسترده مطالعه شده و اعمال شده اند. در نتیجه این واقعیت است که این تکنیک ها می توانند به خوبی کنترل شده و می توانند اتصالات با کیفیت بالای مورد نیاز در بعضی کاربرد های بحرانی نظیر پوسته های موتور موشک را تولید کنند . اشاره کردن به اینکه هیچ نوع مشکلی با این نوع فرآیند ها به وجود نمی آید نادرست خواهد بود، بلکه در حالت کلی مشکلات حداقل خواهد بود. پوسته های تقویت کننده بزرگ نشان داده شده در شکل های ۲۹ تا ۳۱ نشان می دهد که چگونه این فرآیندها بخصوص قوس گاز تنگستنی با موفقیت اعمال شده اند.

جوشکاری قوس گاز تنگستنی :

اغلب جوشکاری قوس گاز تنگستنی توسط تکنیک های استاندارد انجام شده است، اما چندین نوع جدیدتر فرآیند پایدار بخوبی استفاده شده اند که عبارتند از :

TIG بزرگ : این تکنیک با یک الکتروود تنگستنی بزرگتر ($\frac{1}{4} in$) با آمپر بالاتر و سرعت های

جوشکاری افزایش یافته و تغذیه های فلز پر کننده جهت حصول سرعت های رسوب بالاتر استفاده شده است. با این حال توسعه دهنده ها یادداشت کرده اند که استفاده اولیه آن برای

جوشکاری مواد $\frac{1}{4} in$ و بزرگتر است. سرعت های رسوب، در اندازه های نازک تر جهت تولید

یک رسوب شاخه ای - ستونی درشت که انتظاری می رود چقرمگی کمتر از حالت مطلوب داشته باشد، به اندازه کافی بالاست.

TIG با سیم داغ: این تکنیک به بکاربردن یک منبع نیروی برق AC جهت ذوب کردن فلز پرکننده توسط گرمایش مقاومتی، با روش معمول تر تغذیه فلز سرد متفاوت است. عوامل به گونه ای تنظیم شده اند به محض اینکه به گودال رسید ذوب شود استفاده از این روش سرعت رسوب را به طور قابل ملاحظه ای افزایش می دهد.

قوس - پلازما: به هر حال بعضی مواقع یک فرآیند اختصاصی مورد توجه قرار می گیرد، جوشکاری قوس - پلازما اساساً یک شکل دیگر TIG است. فرق اصلی این دو در این واقعیت نهفته است که در قوس گاز پلازما یک نازل جهت جمع کردن قوس به شکل جریان متناوب و متمرکز کردن روی یک ناحیه نسبتاً کوچک استفاده شده است.

جوشکاری MIG: جوشهای MIG معمولاً توسط تکنیک قوس پاششی معمولی ساخته شده اند. اما استفاده از جوشکاری «جوشکاری قوس مدار بسته» ، «در شکاف باریک با انتقال پاششی» و خیلی محدود «قوس اسپری ضربانی» نیز آماده شده اند.

دستورالعملهای جوشکاری :

مقدمات جوش: اغلب طرح های اتصال که برای جوشکاری این مواد استفاده شده اند، هنگامی که در شکل ۳۲ نشان داده شده است، توسط تکنیک های معمولی گاز خنثی

استاندار هستند. هر دوی طرح های شکافهای U شکل و V شکل نتایج رضایت بخشی را فراهم می کنند. در صورتی که تهیه شکل دهنده کم فرینه باشد، دومی به صورت گسترده استفاده می شود و بعضی مواقع ترجیح داده شده است که جهت حداقل کردن فلز پایه، رسوب رقیق سازی شود.

پارامتر های فرآیند:

بعضی پارامتر های فرآیندهای که برای تکنیک های قوس گاز تنگستنی استفاده شده اند در جدول ۳ نشان داده شده است. این ها بدین معنی نیست که تنها این ها کشف شده یا به طور موفقیت آمیزی اعمال شده است، بلکه صرفاً محدوده های ضخامت هندسه های اتصال و شرایطی که بطور موفقیت آمیزی اثبات شده است را نشان می دهد. در رابطه با این جدول بندی، ملاحظات پایه ای قبلاً ذکر شده است، نه پیشگرم کردن و نه پسگرم کردن استفاده شده است، دمای بین پاسها محدود شده است، و محاسبات انرژی و ورودی نشان می دهد که نسبتاً پایین است، محدوده هایی کمتر از $500 \frac{j}{in}$ برای یک پاس تنها در یک ورق با $0.08 in$ و در حدود $30000 \frac{j}{in}$ برای جوشهای چندپاسه در صفحه $1 in$ می باشد.

پارامتر های جوشکاری برای انواع تکنیک های جوشکاری قوس گاز فلزی در جدول ۴ نشان داده شده است. این ها به داشتن اتصالات سالم با خواص مکانیکی قابل قبول معروف هستند، اما آن اطلاعاتی که برای قوس اسپری ضرباتی فهرست شده اند احتمالاً بر پایه اطلاعات محدود می باشند.

شبهه جوشهای TIG ، جوشهای MIG نیز بدون پیشگرم و پسگرم کردن و دماهای بین پاسی زیر 250°F ساخته شده اند اما در اینجا چندین اختلاف واضح و مورد انتظار بین دو فرآیند وجود دارد. اختلاف اصلی این است که فرآیند جوشکاری پایه ای MIG با انتقال پاششی به طور قابل ملاحظه ای سرعت های رسوب بالاتری از جوشکاری TIG فراهم می کند، اما متناسباً انرژی ورودی جوش افزایش می یابد. در مقایسه، هر دو تکنیک «جوشکاری مدار بسته» و «جوشکاری قوس با انتقال پاششی» انرژی ورودی و سرعت های رسوب بالاتری از جوش های قوس گاز تنگستنی دارند. به علاوه به دلیل اختلافات در انرژی ورودی، جهت پایداری قوس در فرآیند جوشکاری MIG مقدار کمی اکسیژن و در جوشکاری «قوس مدار بسته» مقداری هلیوم «هم ترکیبات هلیوم - آرگون و هم هلیوم - آرگون - CO_2 استفاده شده اند».

انتخاب سیم پرکننده:

تأثیرات ترکیب شیمیایی سیم بر سلامت و خواص آلیاژهای $\text{Ni}(200)$ و $\text{Ni}(250)$ ۱۸٪ و آلیاژهای ۳-۵-۱۲ به طور گسترده ای مطالعه شده است و تطابق ترکیبی نزدیک آنها با فلز مادر اکنون بخوبی اثبات شده است. برای انواع $\text{Ni}(300)$ و $\text{Ni}(350)$ ۱۸٪ کار کمتری صورت گرفته است. جدول ۵، آنالیزهای نوعی سیم را با ترکیبات اسمی فلزاتی که برای جوش استفاده شده اند را مقایسه کرده است. استحکام فلز جوش به طور گسترده ای می تواند با تنظیم کردن سخت کننده محتوای سیم تغییر کند، ولی همانگونه که استحکام افزایش می یابد، شکل پذیری و

چقر مگی هر دو کاهش می یابد. به علاوه آلیاژهای غنی تر تمایل بیشتری به جدایش دارد و درحین پیر سازی مناطق غنی از عنصر آلیاژهای ممکن است به حالت چاله های آستنیت پایدار برگردند (شکل ۳۳ و ۳۴) . اگرچه اینها چقرمه هستند، استحکام پایینی دارند و می توانند به عنوان نقطه شروع شکست عمل کننده خلاصه ای از عناصر آلیاژی اصلی در فولادهای ماراجینگ در جدول ۶ داده شده است.

همانطور که در جدول ۷ نشان داده شده است عناصر پسماند تأثیرات زیاد آور مهمی نیز دارند و معمولاً تا حد امکان در حد پایینی نگه داشته می شوند. بخصوص کربن و گوگرد عناصر نامطلوب هستند. کربن به دلیل تشکیل ناخالصی های تردکننده و مسدود کردن سخت کننده ها ، استحکام را کاهش می دهد. و گوگرد به دلیل تشکیل سولفیدهای با نقطه ذوب پایین که قابلیت ترکبرداری را زیاد می کند و خواص شیار را کاهش می دهد. تأثیر حضور گوگرد و سیلیکون بر چقرمگی جوشها در آلیاژهای ۳-۵-۱۲ در شکل ۵۵ نشان داده شده است. تأثیرات مشابه در جوشهای ۱۸٪ نیکل قابل انتظار است.

خواص مکانیکی :

مثالهای نمونه ای از خواص بدست آمده در قطعات جوشکاری شده TIG و MIG در جدولهای ۸ و ۹ به ترتیب نشان داده شده است. اطلاعات نشان داده شده اند، ولی به دلیل تنوع تکنیکهای جوشکاری، عملیات حرارتی و چون دماهای فلز مادر و پرکننده هر دو شامل شده است، مقایسه مستقیم خواص مخصوص مناسب نیست.

خواص کششی :

جوشها در آن آلیاژی که استحکام تسلیم اسمی بالاتر از حدود ۲۵۰ksi دارند. با استحکام های نزدیک به آلیاژهای مادر جوشکاری شده مشخص شده اند. بازده های اتصال حدود ۱۰۰-۹۵٪ می باشد. اما جوشهای ساخته شده با انرژی ورودی بالا بازده های کمتر تا ۸۵٪ و در بعضی مواقع حتی کمتر داشته اند. شکست های کششی در چنین جوشهایی اغلب در منطقه تحت تأثیر گرما در نتیجه تشکیل حجم های نسبتاً زیاد آستنیت پایدار رخ می دهد.

هنگامی که استحکام آلیاژ مادر به بالاتر از ۲۵۰ تا ۳۰۰ تا حتی ۴۵۰ ksi افزایش یابد، بازده اتصال کاهش می یابد. پاس جوشهای کوچک و انرژی ورودی پایین باعث می شود تا کاهش در استحکام در حد آلومینیم نگه داشته شود. آنیل محلول یک جوش قبل از پیر سازی می تواند به میزان قابل توجهی استحکام را افزایش دهد (جدول ۱۰)، اما این ممکن است اغلب نیز عملی باشد. شکلپذیری کششی معمولاً بالاست، ولی مقادیر طولیل شدگی و کاهش سطح هر دو برای جوشهای MIG عمدتاً کمتر از جوشهای مشابه TIG است. این تفاوت های در آلیاژهای پر استحکام بزرگتر و قابل ملاحظه تر هستند. مقدار بیشتر حضور ناخالصی های محلول در جوشهای MIG و درشت بودن آنها، پالایش کم و ساختار، احتمالاً دلایلی برای این رفتار می باشد.

چقرمگی فلز جوش:

چقرمگی جوشهای TIG تمایل به تطابق با چقرمگی آلیاژ مادر دارد (شکلهای ۳۶ و ۳۷). رسوبهای MIG که توسط تکنیک های اسپری با فرآیند مدار بسته ساخته شده اند تا حدی

ضعیفتر هستند و اطلاعات نشاده داده شده در شکل ۳۶ این اختلاف را به وضوح نشان می دهد. نکته جالب توجه این است که، چون همه این جوشها با یک گرم کردن منفرد پرکننده ۱۸٪ Ni(۲۵۰) تولید شده اند، معمولاً انتظار می رود که برای یک فولاد مفییس، چقرمگی رسوب در یک صفحه نسبت به صفحه دیگر تغییر کمی داشته باشد. جوشهای TIG چقرمگی بالاتری از ۲۰۰ تا ۲۵۰ksi ارائه کرده است، در حالی که چقرمگی جوشهای MIG کمتر از ۲۰۰ksi است. اگر پیشرفتهای نشان داده شده توسط جوشهای TIG به تأثیرات رقیق سازی نسبت داده شود، رفتار متفاوت جوشهای MIG (با وجود رقیق سازی مشابه یا بیشتر) به تأثیر قدرتمند خود فرآیند اشاره می کند. واضح است که در شکلپذیری مشابه، چقرمگی جوشهای قوس گاز تنگستنی به مقدار زیادی توسط تمیز کاری ضعیف تر تحت تأثیر قرار گرفته است(شکل های ۳۸ و ۳۹). ساختار درشت تر این رسوبات نیز احتمالاً یک عامل است.

سطوح شکست جوش های TIG، گودهای کشیده شده با ناخالصی های کم قابل رؤیت، در ته آنها را نشان می دهد. این نوعی از سطوح شکست فولادهای ماراجینگ می باشد. سطوح شکست نمونه های صفحه پایه یکسان به نظر می رسد. سطوح شکست نمونه جوش داده شده MIG ناخالصی های بیشتری از جوش TIG دارد. شبیه همه آلیاژهای پر استحکام، چقرمگی رسوب با افزایش درجه حرارت افزایش می یابد، همانگونه که در شکل ۴۰ برای جوشهای TIG در آلیاژ ۳-۵-۱۲ نشان داده شده است.

تأثیرات عملیات حرارتی بر خواص جوش:

جدول ۱۱ نشان می دهد که تغییرات در دمای پیر سازی بین ۸۵۰ تا ۹۵۲°F برای زمان های بین ۳ تا ۱۲ ساعت منجر به تغییر خواص حداقل در مواد نشان داده شده است.

هر گونه کاهش یا افزایش در استحکام متقابلاً همراه است با (البته معکوس) تغییرات در چقرمگی. آنیل کردن قبل از پیرسازی تمایل به افزایش استحکام را دارد، و هنگامی که از یک عملیات همگن کردن در دمای بالا در اتصال استفاده شده شود، حتی یک اثر مشخص تر هم داشته است. (در جدول ۱۱ آلیاژ ۲۵۰ksi رانگه کن). یک چنین عملیاتی همگن کردن سنگینی عملی نمی باشد اما درشت شدگی دانه ای فلز را افزایش می دهد و شکنندگی را ممکن می سازد.

نواقص و کنترل آنها:

ترک برداری در هر دوی فلز جوش و ناحیه تحت تأثیر گرما مشاهده شده است. ولی به ندرت و به خصوص جوشهای TIG بدون ترک هستند. ترک برداری رسوب در منطقه بین پاسی در رابطه با ناخالصی ها، احتمالاً اکسیدها مشاهده شده است. ماهیت ترکهای مشاهده شده اشاره می کند که کنترل دقیق همه عوامل مؤثر در تمیزی اتصال باید به طور مطمئن ادامه یابد تا اتصال عادی از چنین عیوبی باشد.

تخلخل به صورت عمده تر و پر در دسر تر در هر دو جوش TIG و MIG وجود داشته است. تخلخل جوش TIG به طور تغییر ناپذیری در رابطه با سیم کثیف، تمیزکاری ناکافی در حین آماده سازی قبل از جوشکاری، یا در حین برسکاری یا سنگ زنی بین پاسها، وجود داشته است.

همانگونه که قبلاً ذکر شده ، کنترل دقیق سیم و تمیزی اتصال در حداقل کردن و نوع تخلخل در این جوشها موفق خواهد بود. ایجاد تخلخل در جوشهای MIG خیلی بالاتر بوده است و تلاش قابل ملاحظه ای جهت بررسی تأثیرات متغیرهای مهم جوشکاری (شامل طراحی اتصال، شرایط جوشکاری، روشهای حفاظت و گاز محافظ) در کاهش مشکلات انجام شده است.

یافت شده است که حفاظت یکی از مهمترین متغیرهاست و یافت شده است که استفاده از نازلهای جهت کاهش فاصله CPU و قطعه کار در کاهش میزان و اندازه تخلخل ها کاملاً مؤثر بوده است سرعت های جوشکاری افزایش یافته بالای حدود $12 - 10 \text{ ipm}$ تمایل به ایجاد تخلخل را زیاد می کند مگر اینکه از پشت بند استفاده شود. این مشکل به برداشتن ناکافی پوسته سیاه و مستحکم که در اثر حفاظت ناکافی ایجاد شده است مربوط می شود. در واقع اضافات اکسیژن پوسته شدن را افزایش داده و تمایل تخلخل جهت تثبیت آن را تشدید می کند.

کاهش تخلخل با افزایش انرژی ورودی همراه است، اما در مورد جوشهای با خواص ضعیف تر که معمولاً با انرژی ورودی زیاد همراه است، این نمی تواند به عنوان یک راه حل عملی ظاهر شود کمبود ذوب در جوشهای قوس گاز فلزی مدار بسته مشاهده شده است، اما این یک تمایل عادی در فرآیند سرد است ، و می تواند توسط کنترل دقیق انرژی ورودی و تکنیکهای جوشکاری ، و توسط تمیز کاری خیلی دقیق بین پاسها جلوگیری شود.

VI. جوشکاری با فرآیندهای پوشیده بافلاکس:

ملاحظات کلی:

فرآیندهای قوس - فلز پوشیده شده، قوس زیر پودری و سر باره الکتریکی همگی به طور موفقیت آمیزی برای جوشکاری فولادهای ماراجینگ استفاده شده اند، اما استفاده آنها محدود بوده است. این نتیجه واقعیات بهم مرتبطی است که :

- (۱) اکثر کاربردهای این آلیاژهای سلامتی بالا و خواص اتصال بالا را ایجاب می کند.
- (۲) هم مواد و هم تکنیکهای مورد نیاز جهت تأمین این نیازها به طور پیوسته و به مقدار کافی برای این فرآیندها توسعه نیافته است.

مشکلات واقعی در حصول جوشهای با استحکام لازم وجود نداشته است، بلکه آنها با یک تمایل بیشتر جهت ترکبرداری و چقرمگی ضعیفتر از آنچه که در اتصالات ساخته شده با جوشهای گاز خنثی مشاهده شده است، ارتباط داشته اند. دلیل، اصلی برای ظهور این اختلافات در تفاوت بنیادی بین دو نوع پوشش استفاده شده می باشد.

تکنیک های جوشکاری :

استاندارد ابعاد اتصال را می توان استفاده کرد. به عنوان مثال جوشهای لب به لب در $\frac{1}{4}$ in می سازند. مواد مورد استفاده در واحدهای ۶۰ درجه V شکل که شامل زاویه با $(\frac{1}{16}$ in) می باشد. زیر کفی از $\frac{1}{16}$ تا $\frac{3}{32}$ in شعاع کفی و دیواره ۱۵ درجه ای برای مواد سنگین تر استفاده می شود. جریان ac , dcrp استفاده می شود. که روی ترجیح داده شده، بدون شک مخصوصاً برای عملیات

ac یا ac-dc سبب می شود پوشش های فلاکس های تشکیل نشود. جریان های جوشکاری در محدوده های ۱۱۵-۱۳۰apm و ۱۳۰-۱۴۵amp به طور رضایت بخشی با $\frac{5}{32}in$ و $\frac{3}{16}in$ به اثبات رسیده اند. هیچ پیشگرم و پسگرمی نیاز نیست، و دمایی در حدود حداکثر $250^{\circ}F$ توصیه می شود. معمولاً تمیز کاری با سیم و پودر بدون آلودگی کافی است.

خواص مکانیکی و عملیات حرارتی :

خواص نمونه جوشهای لبه ای $\frac{1}{4}in$ قوس - فلز در جدول ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است. در شرایط کاملاً پیر شده استحکام جوش عموماً برابر یا کمتر از فلز مادر است. پیر سازی کم در دمای تقریباً $700^{\circ}F$ باعث کاهش استحکام جوش می شود و فایده ای برای چقرمگی رسوب ندارد. در شرایط جوشکاری شده یا بعد از پیر سازی در دمای پایین (۳۰۰ تا $500^{\circ}F$) استحکام جوش نسبتاً پایین است (۱۴۰ksi) اما رسوبات چقرمگی قابل ملاحظه ای دارند نوعی سختی رسوب قبل و بعد از پیر سازی در شکل ۴۱ نشان داده شده است.

نواقص و کنترل آنها: عیوب جوشکاری یک مشکل جدی نبوده است. تخلخل و گیر افتادن سرباره هر دو در مراحل اولیه تشکیل، یافت می شوند. اما میزان تیتانیوم بالای سیم مشکل اول را دفع می کند و دومی با اصلاح فلاکس حذف می شود. هنگامی که الکترودهای مناسب استفاده شود، ترکبرداری نه در منطقه جوش نه در منطقه تحت تأثیر گرما در جوشهای سپری در $\frac{3}{16}in$ یا در جوشهای لب به لب ۱ in دیده نمی شود. اما Witherell دریافت که ترکهای سرد هیدروژنی افزایش یافته متقاطع در فلز جوش هنگامی که در سیم های مغزی مقدار نیکل (۱۴-۱۶٪) استفاده

شده باشد، رخ می دهد. این عیوب، اغلب توسط اشعه X تشخیص داده نمی شوند، در مناطق دوباره گرم شده جوشهای رسوب کرده قبلی رخ داده اند، و فقط با آزمایشهای مخرب بعدی یافت شده اند. در حالیکه هنگام استفاده از میله های مناسب با هیدروژن کم احتمال تشکیل چنین نواقصی کم خواهد بود.

جوشکاری قوس زیر پودری :

سیم های پر کننده : در واقع همه جوشکاری های قوس زیر پودری فولادهای ماراجینگ برای نوع Ni(۲۵۰) ۱۸٪ بوده است، و سیم های پرکننده مطابق فلز مادر می باشند، مگر اینکه مقادیری تیتانیوم استفاده شده باشد. محتوای تیتانیوم افزوده شده از کار اصلی Witherell ناشی شد. در این کار نشان داد که برای اطمینان از دی اکسیداسیون کامل فلز-جوش در هر دو نوع جوشکاری قوس- فلز محافظت شده و جوشکاری قوس زیر پودری، افزودن تیتانیوم ضروری است. چون در آن زمان سیمهای حاوی بین ۰ تا ۲/۵ درصد تیتانیوم بررسی شده بودند اما مطالعات به اندازه کافی جامع نبود تا اجازه تعریف یک مقدار تیتانیوم توصیه شده را بدهد. بهبودی در مقادیر رسوب از حدود ۳۰ تا ۷۰٪ بستگی به ترکیب فلاکس و عوامل جوشکاری دارد. اما واضح است که تلفات می توانند مقادیر قابل تولید را در حدود ۵۰٪ نگه دارند. حدود ۰/۴-۰/۳٪ تیتانیوم در رسوب برای ایجاد استحکام برابر صفحه مادر Ni(۲۵۰) ۱۸٪ ضروری است. چون مقادیر بالاتر، چقرمگی جوش را کاهش می دهد و ترکیبدهاری را به دلیل تشکیل ناخالصی های یاتاقان تیتانیوم ترویج می کند واضح است که میزان ۰/۸-۰/۶٪ باید کافی باشد نه بیشتر.

ترکیب فلاکس: تستهای جوشهای قوسی زیر پودری اولیه حاکی از آن است که ترکیبات فلاکس تجارتي مورد استفاده در آنالیزهای نشان داده شده در جدول ۱۵ رضایت بخش نبوده است.

زیرا آنها حساسیت به ترک ایجاد کرده بودند و جوشها شکننده بود و بهبودهای تیتانیوم قابل اعتماد نبود. این به ناخالصی هایی از قبیل کربن و گوگرد و همچنین مقادیر بالای سیلیس و اکسید منگنز که منجر به افزایش منگنز و سیلیس در رسوب و ائتلاف تیتانیوم می شود نسبت داده شده است. سپس چندین فلاکس با سیلیکون و منگنز پایین توسعه یافته اند، در حالیکه ترکیبات دقیق آنها به طور کلی شناخته نشده است، شاید به سختی باید به حذف کامل سیلیس و منگنز و جانشینی اکسید های پایدار منیزیم، کلسیم و آلومینیم امیدوار بود. ترکیب توسعه یافته منتشر شده حداقل در یک مورد ممکن است حاوی عناصر زیر باشد.

اکسید آلومینیم ۳۷٪ کربنات کلسیم ۲۸٪ فلوراید کلسیم ۱۵٪

اکسید منیزیم ۱۴٪ فرو تیتانیوم ۶٪

مراحل ترتیبی در توسعه این فلاکس ها در جدول ۱۵ خلاصه شده است و چگونگی تعیین اجزای ترکیبی و مقادیر تیتانیوم سیم پرکننده و مقادیر سیلیکون و تیتانیوم جوش را نشان می دهد.

پارامترهای فرآیند و طراحی اتصال :

مواد با ضخامت تا حد $\frac{3}{8}$ in در یک پاس جوش با استفاده از اتصال لب به لب مربعی ساخته می شوند. یک نمونه شرایط جوشکاری، جریان ۵۰۰ dcrp و ۲۷ ولت، با سرعت جوشکاری ۱۰ imp و

تغذیه $\frac{1}{8}in$ سیم پر کننده می باشد. اتصالات چند پاسه $\frac{1}{4}in$ به صورت V شکل با زاویه ۶۰ درجه و $\frac{1}{16}in$ سیم پرکننده و با استفاده از جریان 230cdrp و ۲۷ ولت و سرعت حرکت ۱۰ تا 18imp نیز ساخته شده اند.

برای مواد بین $\frac{3}{4}$ تا $\frac{5}{8}in$ انواع طرحهای اتصال و شرایط جوشکاری انجام شده است. اما در واقع همه جوشکاری های موفق یک روش دو پاسه با استفاده از یک شیار V شکل دو طرفه یا Z شکل دوطرفه به کار برده اند. انواع شکل هندسی و پارامترها در شکل ۴۲ نشان داده شده است. اشاره شده است که استفاده از یک شیار نامتقارن جهت ایجاد پاس اولیه با عمق حوضچه ۶-۷۵٪ ضخامت قطعه و بکار بردن یک پشت بند گازی جهت پوشش ته شیار تعداد عیوبی را که احتمال دارد ایجاد شوند را به طور قابل ملاحظه ای کاهش می دهد. تلاش ها جهت تولید جوشهای چند پاسه، چه به صورت یک شیار Z شکل یک طرفه یا شیار V شکل دوطرفه متقارن با استفاده از روش های قوس زیر پودری معمولی به ترکیب داری جوش منجر شده است.

خواص مکانیکی: در این مواد همانطور که در جدول ۱۶ نشان داده شده است در تولید جوشهای قوس پنهان شده با استحکام بالا مشکلات کمی تجربه شده است، اما چقرمگی (جدول ۱۷) به طور قابل ملاحظه ای از آنچه که معمولاً در جوشهای با گاز خنثی حاصل شده است، ضعیف تر است. شکل پذیری و چقرمگی ضعیف تر احتمالاً نشانه شکنندگی و وجود غبار است که قبلاً بحث شده است. به خصوص کاهش چقرمگی شدید است، چون پیش بینی های طولهای ترکهای بحرانی تنها $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{3}$ آن چیزی است که جهت تشویق توسعه ترکهای ناپایدار در جوشهای TIG و MIG ضروری

است و ابهام زیادی وجود دارد که اندازه های چنین عیوبی توسط تکنیکهای تست غیر مخرب به طور قابل اعتمادی تشخیص داده شده اند.

نواقص و کنترل آنها: ترکیب‌داری در فلز جوش و منطقه تحت تأثیر گرما در قطعات جوشکاری اتفاق افتاده است. ترکیب‌داری گرم و ترکیب‌داری سرد هر دو اتفاق افتاده است.

ترکیب‌داری سرد : ترکیب‌داری سرد متقاطع در فلز جوش شروع می شود و بعضی مواقع در داخل منطقه تحت تأثیر گرما گسترش می یابد، و ۲۴ روز بعد از اینکه جوش بازرسی شد و بدون عیب بودن آن معلوم شد، مشاهده شده است. در بعضی از موارد، ترکیب‌داری با رادیوگرافی تشخیص داده نمی شود. اما بعد از گسیختگی های کششی با نرم پذیری کم که توسط بازرسی متالوگرافی مقاطع طولی سر تاسر مرکز جوش آزمایش شده بودند یافت شدند. این به تأخیر افتادن ترکیب‌داری یادآور ترکیب‌داری هیدروژنی غالب شده در سایر فولادهای پر استحکام است، و تحقیق نشان داده است که در میزان هیدروژن بالای ۳-۵ PPM در رسوب، چنین ترکیب‌داری قابل انتظار است. جهت جلوگیری از چنین ترک‌هایی، حفظ محدوده دقیق آنالیزهای پرکننده، تمیزی اتصال و عاری بودن اتصال و فلاکس از رطوبت الزامی است.

ترکیب‌داری گرم : ترکیب‌داری گرم به چندین روش انجام می شود، ترکیب‌داری خط انجماد یا مرکزی در فلز جوش اولیه، ترکیب‌داری گرمایش دوباره در فلز جوش و ترکیب‌داری منطقه تحت تأثیر گرما.

ترکهای خط مرکزی (شکل ۴۳) مشخصاً در پایین بدنه دانه ای خشن و ستونی در مرکز رسوب رخ می دهند. آنها نوعی از ترکبرداری انجماد هستند که یا در حالت مایع یا درست در زیر خط انجماد رخ می دهند و به فیلم های شکننده مربوط هستند. شکل ۴۴ چنین فیلم هایی را در سطح شکست یک ترک خط مرکزی نشان می دهد. چنین ترکها به ترکیب شیمیایی وابسته است، همانطور که توسط این واقعیت نشان داده شده است که رخدادشان با فلاکس مورد استفاده تغییر می کند. گواه محکم بر این از یک آزمایش جالب به دست آمده است، فلز جوش از یک قطعه جوش قوس زیر پودری با ترک خط مرکزی ۱in، به شکل قالب و تا اندازه های مناسب ماشینکاری شده است و جهت ساختن یک جوش TIG دستی ۱in استفاده شده است.

این قوس باید شش گاز خنثی خالص، انرژی ورودی کم و با تعداد زیادی از پاسهای کوتاه (۲۱ پاس جهت پر کردن ۱in اتصال) ساخته شده است. با دانه های ریز و بدون ترک، اما چقرمگی آن (۶ft-lb) با جوش زیر پودری مساوی بود. بدینسان، به نظر می رسد شکننده شدن و تمایل به ترکبرداری خط مرکزی به عناصری چون منگنز، سیلیکون، کربن و اکسیژن ارتباط دارد که یا خودشان به شکل فلاکس یا به دلیل ایفای نقش توسط فلاکس در واکنشهای فلز-سرباره ایجاد می شوند. کثیف بودن کلی جوش زیر پودری همانگونه که توسط مقدار ناخالصی های حاضر (شکل ۴۵) نشان داده شده است، در راحت کردن پخش ترک شرکت دارند. مقدار زیاد ناخالصی ها در جوشهای زیر پودری از مقدار نسبتاً زیاد عناصر ناخالصی و مقادیر بالای گاز ناشی می شود. مقدار زیادی از ناخالصی ها در جوشهای MIG با سیم پرکننده محتوای مقادیر بالاتر از معمول تیتانیوم و نیتروژن مشاهده شده است. سطوح شکست جوشهای زیر پودری نسبتاً تحت و حاوی

مقادیر زیادی ناخالصی های باقیمانده است (شکل ۴۶) . این با بیشتر ساختارهای مشخصه دیده شده در سطوح شکست جوشهای قوس تنگستنی و قوس فلزی کاملاً متفاوت است. در جوشهای زیر پودری ناخالصی ها (احتمالاً TiCN) اثر برجسته ای بر چقرمگی دارند. حتی در یک شرایط جوشکاری شده یکسان چقرمگی ضربه جوشهای زیر پودری (۲۵۰) Ni ۱۸٪ پایین است. چون فلاکس چنین اثر زیادی اعمال می کند، می توان زیر پودری پیش بینی کرد که تغییر در ترکیب تأثیر کمی در بهبود چقرمگی با مقاومت در برابر چنین ترکیب دارد و بازرسان این را تأیید می کنند.

ترکیب گرمایش دوباره در فلز جوش: در واقع تمام تلاش ها جهت تولید جوشهای چندگانه به دلیل ترکیب شکست خورده اند، بسیاری از جوشها با دو پاس نیز در معرض چنین نواقصی هستند. این ترکها در لایه جوش داده شده پایینی هنگامی که پاس و دیگر رسوب کرد رخ می دهد، و در سراسر پاس پایینی یا نقطه تحتانی پاس پوششی ریشه توسعه می یابد. بعضی از این ترک ها مشابه ترکیب خط مرکزی یا انقباضی هستند، اما اکثر آنها اینگونه نیستند، همانگونه که در شکل ۴۷ نشان داده شده است. به هر حال ترکهای بین دانه ای (شکل ۴۸) در مناطق پاس جوش لایه های پایینی که تا $1300^{\circ}\text{F} - 1200^{\circ}\text{F}$ گرم شده اند شروع شده اند.

این واقعیت که ترکها در مناطق نسبتاً سرد رخ می دهند نشان می دهد که این ترکها از نوع ترکهای گرمایش دوباره که مشخصاً از نزدیک بودن به خط ذوب بین پاسها ناشی می شود متفاوت هستند. دلایل دقیق ترکیب تعیین نشده است، اما عواملی که شرکت دارند عبارتند از : ساختار

درشت پالایش نشده، جدایش ناخالصی ها در مرز دانه ها، آستنیت ناشی از جدایش و کاربیدهای تیتانیوم، نیتريد ها و سولفیدها در مناطق چاله های آستنیت می باشند. عيوب زيان آور اين عوامل توسط انرژی ورودی بالای فرآیند قوس پنهان شده پر اهمیت تر می شوند. این روشن می سازد که چرا عيوب مشابه خیلی کم در جوشهای چند پاسه تولید شده با سایر تکنیک ها یافت می شوند.

ترکبرداری منطقه تحت تأثیر گرما: منطقه آنیل محلول شده نرم و شکلپذیر مجاور در خط جوشها در فولاد های ماراجینگ سعی در جذب تنشهای انجماد و حداقل کردن ترکهای دارد که اغلب در این مناطق در فولادهای کوئچ و **تمبر** شده یافت شده اند. ترکبرداری کم یا بدون ترکبرداری منطقه تحت تأثیر گرما برای جوشهای با گاز خنثی گزارش شده است، اما ترکها در مواردی که در معرض انرژی ورودی بالا قرار داشته باشند. از قبیل آنهایی که در فرآیند زیر پودری استفاده شده اند وجود داشته است. چندین عامل می توانند مورد بحث قرار گیرند.

عموماً چنین منطقه ترد شده ای با شکستگی زودرس یک پوسته موتور ۲۶۰ in همراه است. در حالی که ماهیت دقیق شکننده شدن اثبات نشده است. واضح است که با ذوب مرز دانه ای (شکل ۴۹) و رسوب حالت جامد، در حین انجماد ذرات کربونیتريد یا کاربید تیتانیوم (ارتباط دارد (شکل ۵۰). بعید است که این شرایط اصلاح شود مگر اینکه انرژی ورودی کمتر به کار رود.

جوشهای سرباره الکتریکی:

فرآیند سرباره الکتریکی مربوط است به یک سرباره مذاب جهت حفاظت از فلز جوش، اما بر خلاف فرآیند قوس پنهان شده، کاربردهای سرباره الکتریکی به صورت مذاب است و سرباره هادی الکتریسیته، سریع تر از قوس فلز پر کننده را ذوب می کند. این فرآیند بخصوص برای جوشکاری مقاطع سنگین اقتصادی است، و به عنوان یک نتیجه، آن عمدتاً به جوشکاری صفحات با ضخامت های بین $\frac{1}{4}$ تا $12in$ مربوط است. ناچاراً این فرآیند بخصوص در آمریکای، برای جوشکاری فولادهای کربنی و کم آلیاژ محدود شده است، ولی علاقه هایی در جوشکاری فولادهای پر آلیاژ تر توسعه یافته است، مواد زنگ نزن و پایه نیکل در این فرآیند توسعه یافته اند، بعضی جوشکاری سرباره الکتریکی فولاد ماراجینگ ۱۸٪ نیلکل در رابطه با تولید رینگهای یا ضخامت $\frac{3}{4}in$ برای پوسته موتور $260in$ انجام شده است. به تازگی بعضی از جوشهای آزمایشی برای فولاد ماراجینگ $Mo-3\%-Cr-5\%-Ni-12\%$ وجود داشته اند.

سیم های پر کننده و فلاکس ها :

برای جوشکاری مواد پر آلیاژ، پرکننده هایی با ترکیب نزدیک به تطابق با فلز مادر توصیه شده است. به وضوح چنین رویکردی «پر کننده مطابق» برای فولادهای ماراجینگ و جوشهای ساخته شده که چنین پرکننده هایی به کار رفته اند. ضروری است که مانند سایر فرآیندهای پوشیده شده بافلاکس، واکنش های فلز-سرباره منجر به اتلاف عناصر و اکسید کننده مهم تیتانیوم و آلومینیم می شود، بنابراین پر کننده ها احتمالاً جهت نیاز تا حدی از یکی از هر دوی این عناصر غنی شده اند. اگرچه پر کننده مخصوصاً برای جوشکاری سرباره الکتریکی فولاد ماراجینگ توسعه نیافته اند،

مقایسه ترکیب سیم پرکننده و رسوب نشان داده شده در جدول ۱۸ و ۱۹ برای چندین روش سرباره الکتریکی در فولادهای ماراجینگ ۱۸٪ نیکل و ۱۲٪ نیکل، به نوع ترکیب مورد نیاز اشاره کرده است. فلاکسهای جوشکاری سرباره الکتریکی، اگرچه از بعضی جهات مشابه آنچه که در جوشکاری زیر پودری استفاده شده است می باشد، تعادلی از مشخصات که شامل، رسانندگی خوب، گرانروی یکنواخت، و پایداری عالی لازم شده توسط ماهیت فرآیند سرباره الکتریکی، می باشد را نیاز دارد. کار کافی در تعریف یک فلاکس بهینه در فولادهای ماراجینگ انجام نشده است، اما آزمایشات متعدد نشان داد که فلاکس $CaF_2 - Al_2O_3 - MgO$ به خوبی بکار برده شده است و جوشهای سالم فراهم کرده و در ترکیب با سیم یا ترکیب شیمیایی مشابه، جوشهای ۱۲٪ نیکل با خواص قابل قبول فراهم کرده است (جدول ۲۰).

پارامترهای فرآیند و طراحی اتصال:

اتصالات در جوشکاری سرباره الکتریکی لب به لب مربعی و معمولاً با یک شیار 1 in تا $\frac{3}{4}\text{ in}$ شیار بین صفحات متصل شده می باشد. شکافهای کوچکتر هنگامی که برای صفحات نازکتر (۲ تا 3 in ضخامت) و شکافهای بزرگتر برای مواد ضخیم تر استفاده شده اند.

جریانهای جوشکاری به سرعت تغذیه سیم و بنابراین به سرعت رسوب بستگی دارد، اما معمولاً در $550-650\text{ dcrp}$ در اتصال با سیم $\frac{1}{8}\text{ in}$ برای انواع مواد شامل فولادهای ماراجینگ استفاده شده است. ولتاژ جوشکاری با اندازه سیم یکسان معمولاً در محدوده $40-55V$ می باشد. برای اتصالات بین $\frac{3}{4}\text{ in}$ تا 5 in در عمل استفاده از یک سیم تنها با قطر $\frac{1}{8}\text{ in}$ با نوسان سیم در طول خط اتصال

جهت تضمین ذوب مناسب، معمول است. برای اتصالات با ضخامت بالای $5in$ ، سیم های چندتایی یا بعضی مواقع الکترودهای صفحه ای به کار برده شده است. در بکار بردن نوسان، سرعت در زمان نگه داشتن در انتهای هر حرکت (جهت کنترل ذوب) هر دو باید در رابط با سایر متغیرها متعادل شود. برای جوشکاری $2in$ فولاد ماراجینگ، $1in$ حرکت سیم در یک ثانیه با ۲ تا ۳ ثانیه ساکن ماندن در پایان هر حرکت، به طور رضایت بخش ثابت شده است. در جوشکاری سرباره الکتریکی عمق چاله سرباره $\frac{1}{4}in$ تا $2in$ حالت مناسب است و برای جوشکاری فولادهای ماراجینگ استفاده شده است.

خواص مکانیکی: با یک ترکیب رسوب مناسب، استحکام جوش تمایل به افزایش یکنواخت، با شکستی که اغلب در ناحیه اچ شده منطقه تحت تأثیر گرما رخ می دهد، خواهد داشت (جدول ۲۰). اگر سیم جوش برای جبران تلفات عناصر سخت کننده در حین جوشکاری به اندازه کافی تقویت نشده باشد گسیختگی های فلزی جوش با استحکام پایین را می توان انتظار داشت.

فلز جوش Ni ۱۸٪ بخصوص در کاهش مقاطع تمایل به کاهش شکلپذیری دارد (شاید $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{8}$ فلز پایه) اما با آنچه که در جوشهای ساخته شده با سایر فرآیندهای پوشیده شده با فلاکس به دست آمده قابل مقایسه است. اطلاعات در دسترس برای جوشهای آلیاژ Ni ۱۲٪ اشاره می کند که شکلپذیری آنها به آلیاژ پایه نزدیک تر است.

مقادیر چقرمگی شکست (KIC) برای قطعات جوشکاری شده Ni ۱۸٪ منتشر نشده است اما اندازه های ترکهای بحرانی برای جوشهای سرباره الکتریکی به طور متوسط $0.16 in$ یافت شده است.

این ها با مقادیر حاصل شده در جوشهای زیر پودری معمولی قابل مقایسه هستند اما تنها $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{2}$ فلز مادر یا جوشهای ساخته شده توسط فرآیندهای قوس گاز تنگستنی هستند. مقادیر چقرمگی شکست برای جوشهای سرباره الکتریکی در فولاد Ni ۱۲٪ رفتار مشابهی نشان می دهد و منطقه خط ذوب این جوشها چقرمگی را نسبتاً بالا نگه می دارد. قابل توجه است که چقرمگی باند اچ شده تاریک در جوشهای Ni ۱۲٪ (شکل ۵۹) اساساً از فلز پایه جوش داده نشده بالاتر است. این رفتار قبلاً مشاهده شده است و عقیده بر این است که به دلیل ذرات ریز پخش شده آستنیت نرم و پایدار در این مناطق رخ می دهد.

نواقص کنترل آنها : در جوشکاری سرباره الکتریکی اگر شرایط جوشکاری به دقت تعیین و حفظ نشود، عیوبی از قبیل ترکبرداری، تخلخل و کمبود ذوب رخ خواهد داد. اشاره به این نکته مناسب است که با وجود اینکه این فرآیند به طور گسترده استفاده شده است، عیوب جوشکاری نسبتاً کم بوده اند. تنها عیوب مشاهده شده در جوشهای ساخته شده در فولادهای ماراجینگ مناطق زائد بوده است که بعد از جوشکاری برداشته می شود.

VII. جوشکاری پرتو الکترونی :

جوشکاری پرتو الکترونی چندین امتیاز بر فرآیندهای جوشکاری قوس ارائه می کند، به صورت جالبی یک عمق زیاد نسبت به عرض در منطقه ذوب، یک منطقه تحت تأثیر گرمای کوچک، تمیزی و حداقل این ویژگی ها فرآیند را جالب می کند و در نتیجه برای تعداد فزاینده ای از کاربردهای شامل آلیاژهای متنوع مطرح شده است.

پارامتر های فرآیندهای و طراحی اتصال:

جوشها پرتو الکترونی در چندین ضخامت برای فولادهای ماراجینگ ساخته شده اند، از ورقه نازک تا صفحات با ضخامت متوسط، در همه موارد لبه های جوشکاری تا تکرانهای نزدیک به ماشین کاری شده تا از جفت شدن مناسب که بخش اصلی ساختن صحیح جوشهای پرتو الکترونی است اطمینان حاصل شود. قطعات همچنین با حلال تمیز شده اند. جوشها هم با ولتاژ کم و هم با ولتاژ زیاد ساخته شده اند و یک تنوعی از شرایط جوشکاری در جدول ۲۱ نشان داده شده است. این جدول همچنین خلاصه ای از خواص مکانیکی جوشها را که در زیر بحث شده بیان می کند.

خواص مکانیکی جوشهای پرتوالکترونی :

جوشهای مکانیکی پرتوالکترونی که بعد از جوشکاری پیر شده اند استحکام هایی برابر با استحکام فلز مادر دارند (بازده اتصال ۱۰۰٪). شکلپذیری اندازه گیری شده در کاهش مقاطع در حد نصف مقادیر فلز پایه است و چقرمگی جوش نیز کمتر از فلز پایه است. در عملی چقرمگی جوشهای پرتو الکترونی کمتر از مقادیر معمول حاصل شده در جوشهای MIG فولادهای مشابه است. در یک مطالعه چقرمگی جوش توسط آنیل محلول بعد از جوشکاری و قبل از پیر سازی بهبود یافته است. اما در سایر موارد این عملیات حرارتی اثر کمی بر شکلپذیری کششی داشته و بنابراین مؤثر بودن مبهم باقی مانده است. همانگونه که انتظار می رود، استحکام جوشهایی که بعد از جوشکاری پیر نشده اند از صفحات پایه ای که آنیل محلول

و پیر شده اند ، پایینتر است. بازده های جوشکاری با شرایط جوشکاری و ضخامت صفحات تغییر می کند. استحکام یک فولاد (۲۵۰) Ni(۱۸٪ جوشکاری شده (۲۴۲ ksi) به طور قابل توجهی از استحکام واقعی منطقه جوش که حدوداً ۱۳۰ ksi است، بالاتر است. این بنظر می رسد مثال یک منطقه نرم و نازک است که به مؤثرتری توسط یک ماده احاطه کننده قوی تر پشتیبانی شده است. بررسی های میکروسختی نشان داد عرض ناحیه ذوب 0.01 in می باشد (شکل ۵۲). پاسهای جوش باریک و منطقه تحت تأثیر گرمای کوچک ویژگی های فرآیند پرتو الکترونی است. Adams، مشاهده کرد که در جوشهای پرتو الکترونی در فولادهای ماراجینگ ناحیه اچ شده تاریک در منطقه تحت تأثیر گرما تقریباً حذف شده است. آخرین نتایج تعیین شده در جدول ۲۱ نشان می دهد که شرایط آغازین صفحه پایه ، چه آنیل محلول شده یا آنیل محلو و پیر شده، تأثیری بر خواص قطر جوش ندارد.

عیوب در جوشهای پرتوالکترونی:

سرد جوشها، تخلخل و کمبود مذاب در جوشهای پرتو الکترونی فولادهای ماراجینگ مشاهده شده است. مثالهایی در شکل های ۵۳ و ۵۴ داده شده است. عیوب در آلیاژهای پایه نیکل و تیتانیوم و سایر فولادهای پر استحکام دیده شده است. استفاده کننده های پرتوالکترونی تأیید کرده اند که عیوب جوش یک مشکل در بسیاری از آلیاژها، بخصوص هنگام جوشکاری مقاطع ضخیم است.

با افزایش ضخامت صفحه مشکل بیشتری جهت حصول اتصال خیلی دقیق و تنظیم صحیح اتصال ایجاد می شود. میدانهای مغناطیسی باقیمانده در ترکیب صفحات مشکلاتی را توسط شکستن پرتو الکترونی ایجاد می کند. هنگام جوشکاری یک صفحه فولاد ماراجینگ با ضخامت $\frac{1}{4}in$ با یک پاس از هر طرف پرتوها به اندازه کافی شکسته شده و باعث می شود که جوشها بد تنظیم شوند، در نتیجه در مرکز اتصال دو پاس همپوشانی نداشته باشند. منطقه ذوب نشده هنگامی که مقاطع به صورت متالوگرافی آزمایش شدند دیده می شوند. اگرچه در یک آزمایش رادیوگرافی تشخیص داده نشده باشند. جهت جلوگیری از این عیوب پنهان توصیه شده است که جوشها در یک پاس ساخته شوند.

با این حال جدا از مشکلات فرآیند، واضح است که عوامل متالوژیکی در وقوع عیوب جوش شرکت دارند. Fragetta و Kry siak، نشان دادند که انواع عیوبی که در جوشهای پرتوالکترونی فولاد ماراجینگ (۲۰۰) Ni ۱۸٪ ایجاد شده اند به علت کیفیت پایین صفحه ذوب شده در هواست. در کار دیگر گفته شده که تر شدن ناکامل اکسیدها و جدایش ناخالصی مسئول و ریشه در عیوب است. جدایش و جهت یابی نامناسب رسوب جوش همچنین برای چقرمگی ضعیف و شکلپذیری کم جوشهای پرتو الکترونی در فولاد ماراجینگ مقصر دانسته شده اند. محتمل به نظر می رسد که علاوه بر مشخصات فرآیندهای پرتوالکترونی ویژگی های خاص فولادهای ماراجینگ نیز عامل ایجاد عیوب باشد. با وجود همکاریهای نسبی ارزیابی آن مشکل است و تعجب آور نیست که فراخوان هایی برای تحقیق بیشتر جهت تعیین تأثیرات عوامل جوشکاری و ترکیب مواد بر وقوع عیوب جوش وجود داشته باشد.

کاربرد جوشکاری پرتو الکترونی :

تجزیه و تحلیل اطلاعات منتشر شده جوشکاری پرتو الکترونی فولادهای ماراجنیک نشان داد که ساختن جوشهای سالم و پیوسته، به خصوص در صفحات ضخیم، شکل است. انواع عیوب بحث شده در اینجا ظاهراً وجود داشته اند اما با تغییر شرایط جوشکاری حذف شده اند. یک مثال، استفاده از سرعت های انتقال کمتر و پاسهای جوش پهن تر جهت پیشگیری از سرد جوشها در کنار دیواره است . موقعی که جوشها سالم ساخته می شوند میتوان انتظار داشت که استحکامشان بعد از پیر سازی با فلزما در مطابقت داشته باشد ولی شکستپذیری به مقدار قابل توجهی کمتر خواهد بود. از این نتیجه می شود که جوش های پرتو الکترونی برای اتصال فولادهای ماراجینگ در صفحه کمتر خواهد بود . از این نتیجه می شود که جوشهای پرتو الکترونی برای اتصال فولادهای ماراجینگ در صفحه ضخیم امتیاز ویژه بیشتری از روشهای سنتی ندارد.

VIII. جوشکاری مقاومتی فولادهای ماراجینگ

یک مقدار نسبتاً کمی از کارتوسط جوشکاری مقاومتی فولادهای مارخبیک انجام می شود، و نتایج محدودی موجود است. اطلاعات عمدتاً به جوشکاری جرقه ای لب به لب مربوط است، اما بعضی از نتایج در جوشهای نقطه ای و جوشهای شکافی با فرکانس بالا وجود دارد.

جوشکاری جرقه ای لب به لب:

کیفیت جوشهای جرقه های لب به لب در فولادهای ماراجینگ توسط نتایج تس های کشش نمونه های متقاطع از جوشها نشان داده شده است (جدول ۲۲). نمونه هایی از شکست جوشهای خوب در صفحه پایه و در نتیجه خواص کامل صفحه جوش داده نشده را ارائه داده است. درحالی که این رفتار غیر عادی نیست، شکست های جوش با شکلپذیری خیلی کم وجود داشته است. چنین شکستهای جوش توسط لکه های بزرگ و تخت قابل مشاهده بر روی سطوح شکست مشخص هستند آزمایش مقطعی از وسط جوش اطلاعاتی در مورد علت شکست ترد می دهد. آزمایش نشان می دهد که نوارهای جدایش در صفحه پایه توسط برگرداندن فرآیند جوشکاری به میزان ۹۰ درجه شکسته شده اند (شکل ۵۵). وقتی نمونه های تست شدند صفحات ضعیف تقریباً عمود بر تنش اعمال شده هستند و شکست می تواند ترجیحاً در پایین صفحات ضعیف با جذب انرژی کمی پیشروی کند. این محصولات، نقاط تخت سطوح شکست هستند. رابطه بین نقاط تخت و صفحات ضعیف در نمونه های شیاردار در شکل ۵۶ بخوبی نشان داده شده است. در اینجا مرز نقاط تخت سطح را می توان دید تا دقیقاً مسیر نوار شکست را دنبال کرد.

پارامتر های اتصال و تأثیر لقی و همپوشانی :

میزان همپوشانی در نمونه های برشی با یک روی هم افتادگی همانطور که در شکل‌های ۶۰ و ۶۱ نشان داده شده است. تأثیر مشخصی بر استحکام برشی داشته است، با افزایش همپوشانی، استحکام سریعاً افزایش می یابد. این مشخصه قطعات لحیم کاری شده می باشد، چون هنگامی

که همپوشانی افزایش می یابد، بیشترین نیرو بر لبه های اتصال وارد می شود درحالی که بخش مرکزی نیروی کمتری را تحمل می کند لقی اتصال نیز مانند همپوشانی بر استحکام اتصال تأثیر دارد. شکل ۶۲ نشان می دهد که شکاف باریک تر تأثیر بیشتری بر استحکام دارد. لقی اتصال که در حدود 0.0015 in باشد بهترین استحکام را فراهم می کند و یک شکاف در حدود 0.006 in استحکام را تا حدود ۷۰٪ مقدار اولیه افزایش می دهد.

جوشکاری مقاومتی نقطه ای :

جوشهای نقطه ای در ضخامت 0.064 in برای ورق با عرض $\frac{1}{4} \text{ in}$ از فولاد ماراجینگ ۱۸٪ Ni(۳۰۰)، با استفاده از برنامه جوشکاری زیر ساخته شده اند:

۴۰۰ lb نیروی کوبشی

۵۰٪ تغییر فاز جوش

۱۶ سیکل در زمان گرمایش

۹،۵ سیکل در زمان تبرید

۱ زمان جوش ضرباتی

۵۰ سیکل کوبش بعد از جوشکاری

ضخامت قطعه 0.079 in بود ، تقریباً ۶۰٪ نفوذ داشت و قطر منطقه ذوب شده تقریباً 0.230 in بود. بارهای کششی- برشی و سختی اتصال های جوشکاری شده، بعد از پیر سازی در جدول ۲۳ نشان داده شده است. تمام نمونه ها توسط برش کامل فلز جوش شکسته شده

اند، اگرچه یک عملیات پیر سازی بعد از جوشکاری انجام شده است (900°F برای یک ساعت) و افزایش سختی در فلز جوش انتظار می رود، نمونه های پیر شده تقریباً در بار یکسان مانند نمونه های جوش داده شده می شکنند. هنگام شکست بارها توسط مناطق فصل مشترک تقسیم شده اند، همه نمون های استحکام $80-90 \text{ ksi}$ دارند. بارهای شکست اتصال جهت شکست در محدوده مورد انتظار برای مواد با این استحکام و ضخامت اعمال می شوند. از سوی دیگر چون استحکام بعد از پیر سازی با شرایط جوشکاری یکسان است، واضح است که فولاد با استحکام بالا استفاده نشده است.

جوشکاری مقاومتی با فرکانس بالا:

جوشکاری فرکانسی با فرکانس بالا برای انواع فولادهای پر استحکام، از جمله فولاد ماراجینگ 1.18% نیکل مطالعه شده است. اتصالات لب به لب درزی در مواد 0.188 in بازده های بالای 60% در شرایط جوشکاری شده و $90-100\%$ بعد از پیرسازی دارد.

IX. سایر تکنیک های جوشکاری

اتصالات فلز غیر مشابه :

موارد کمی در مورد کاربرد یا استفاده فولادهای ماراجینگ در اتصالات فلز نامشابه منتشر شده است، اما کاری که انجام شده است اشاره به هیچ گونه مشکل منحصر به فردی ندارد. چون فولاد ماراجینگ به احتمال زیاد با سایر فولادهای متصل شده است و احتمالاً توسط جوشکاری ذوبی انجام شده است، اطلاعات داده شده در اینجا به چنین اتصالاتی محدود شده است.

مشخصات فولاد ماراجینگ در نتیجه اثر آنها در اتصال غیر مشابه:

هر اتصال بین مواد غیر مشابه منحصر به فرد است و اگر انتظار داریم تحت تنشها و محیط کارکرد موفقیت آمیزی داشته باشد ملاحظات دقیق متالورژیکی و طراحی را نیاز دارد. واضح است که هدف این گزارش بیشتر پوشاندن بسیاری از عوامل شامل شده است. بعضی از ملاحظات مهم برای فولادهای ماراجینگ در زیر بحث شده است.

خواص حرارتی :

اختلاف در رسانندگی فولاد ماراجینگ و سایر مواد در جدول ۲۴ نشان داده شده است نباید هیچ مشکلی ایجاد کند، اما شرایط جوشکاری باید تنظیم شود تا انرژی ورودی بالاتر جلوگیری شود. تفاوت ها در ضریب انبساط حرارتی می تواند تنش های را در اتصالات مهار شده ایجاد کند. مشکلات می توانست در نتیجه اختلافات در انبساط بین اعضای اتصال، بین فولاد ماراجینگ و فولاد زنگ نزن آستنیتی ناشی شود ترکیب در ناحیه تحت تأثیر گرما در یک فولاد زنگ نزن (۳۴۷) و $18Ni(250)$ این امکان را تأیید می کند.

تأثیرات ترکیبات: رقیق سازی توسط کربن ، گوگرد، فسفر یا سیلیکون شکلپذیری و چقرمگی را کاهش خواهد داد، در صورتیکه دقیق سازی توسط کربن یا منگنز یا تغییر زیاد در ترکیب متعادل، میزان سخت گردانی ممکن را کاهش می دهد.

واکنش به عملیاتی حرارتی: عملیاتی حرارتی پس از جوش اتصالات بین ماراجینگ و سایر فولادها باید به عضو آلیاژی غیر مشابه شامل شده، استحکام مورد نیاز اتصال، و شرایطی که اتصال تحت آن استفاده شده است، بستگی داشته باشد. برای مثال، در اتصالات بین فولاد

ماراجینگ و فولاد زنگ فریتی پر کرم ، پیر سازی اتصال در 900°F می توانست تردی شناخته شده 885°F را در فولاد زنگ نزن ایجاد کند. به طور مشابه، در جوشهای بین فولاد ماراجینگ و مواد سخت شده با کربن باید عملیات حرارتی به صورتی انجام شود که پیر سازی فولاد ماراجینگ با بازگشت فولاد سخت شده با کربن برای حصول استحکام مناسب در حالت تعادل باشند.

مقاومت به خوردگی : مقاومت به خوردگی فولاد ماراجینگ ۱۸٪ نیکل در اتمسفر صنعتی، اتمسفرهای دریایی و رد آب دریا دو برابر فولادهای کم آلیاژ ۸۰-۸۰ HY و ۴۳۴۰ می باشد. بسته به شرایط کارکرد، و سایر اعضای اتصال غیرمشابه ، خوردگی گالوانیکی می تواند یک مشکل جدی باشد. برای به حداقل رساندن اشکال، ترکیب رسوب جوش باید به گونه ای انتخاب شود که برای قسمتی که مستعدترین محل برای حمله گالوانیکی است حفاظت کاتدی فراهم می کند.

آماده سازی و خواص اتصالات غیر مشابه : در یک مطالعه جهت تولید یک فنر که می توانست بارگذاری ضربه ای بالایی را تحمل کند. فولاد (۲۵۰) 18Ni با استفاده از انواع پر کننده ها و فرآیندها ، جوش گلوبی داده شده بود. اتصالات بطور رضایت بخش با همه ترکیبات و فرآیند ها و سیم تولید شده بود(جدول ۲۵). آماده سازی رضایت بخش اتصالات لب به لب بین فولاد (۲۵۰) 18Ni و فولاد کربن-منگنز با استفاده از چندین پرکننده و تکنیک جوشکاری نیز گزارش شده است. در کار انجام شده توسط شرکت بین المللی نیلکل(Inc). اتصالات لب به لب به ضخامت $\frac{1}{4}in$ بین فولاد(۲۵۰) 18Ni و فولاد آرام تولید شده است. نتایج نشان داد (

جدول ۲۶) که اتصالات سالم بدون اشکال می توانست تولید شود و همانگونه که انتظار داشتیم، استحکام اتصال توسط ضعیف ترین مواد ترکیب، تحت تأثیر قرار گرفته بود. همچنین نشان داده شده است که ایجاد یک پوشش فلز جوش فولاد ماراجینگ روی فولاد آرام امکان پذیر است.

هر دو فولاد (۲۵۰) Ni ۱۸ و (۳۰۰) Ni ۱۸ به عنوان جایگزین برای فولاد H-۱۳ در قالب های تحت فشار آلومینیم استفاده شده اند، و به دلیل قابلیت جوشکاری عالی آنها، همچنین برای تعمیر قالبهای H-۱۳ استفاده شده اند.

لحیم کاری:

ملاحظات پایه ای : مشکلات منحصر به فردی برای لحیم کاری این فولاد ها وجود ندارد. اما برخی از مشخصاتشان را باید در نظر گرفت:

۱- چون آنها حاوی آلومینیم، تیتانیوم و بعضی مواقع کروم هستند، خیس شدن خوب مستلزم کنترل اتمسفر و عملیات لحیم کاری می باشد.

۲- باید از نگهداری در دماهای محدوده آستنیت اجتناب کرد، مگر اینکه اجزاء قبل از پیر شدن نهایی تحت عملیات محلول سازی قرار گیرند.

۳- دماهای بالا در محدوده 1800°F باعث درشت شدن دانه ها می شود که می تواند چقرمگی و شکلپذیری فولاد را کاهش دهد.

آلیاژهای پر کننده : Berry، تعدادی از آلیاژهای یاتاقان پالادیم حاوی مس، نیکل، نقره و منگنز و در یک مورد لیتیم را بررسی کرد (جدول ۲۷). همه اتصالاتی که در خلاء لحیم کاری

شده بودند رضایت بخش بودند و لی هیچ کدام از آلیاژهای نقره- پالادیم - منگنز و مس- نقره-پالادیم- لیتیم که با مشعل و کوره تعدادی از نمونه های ارزانتر آلیاژهای نقره- مس و نقر- مس- روی آزمایش شده اند (جدول ۲۷) . با روش های مناسب همه اتصالات به صورت رضایت بخشی فراهم شده اند.

شرایط و تکنیک های لحیم کاری: همانطور که قبلاً ذکر شد، تیتانیوم، آلومینیم و کروم از اکسید های سخت و پایدار هستند که از خیس شدن توسط آلیاژهای لحیم کاری جلوگیری می کنند. از این نظر فولادهای ماراجینگ شبیه آلیاژهای با دمای بالا هستند و روشهای **نباشده** برای لحیم کاری این آلیاژها باید در حالت کلی قابل اجراء باشد. اینها خلأ های عالی، اتمسفرهای کاهنده خیلی خشک یا سایز روشهای استفاده شده جهت به حداقل رساندن حضور دی اکسیدها را نیاز دارند. برای لحیم کاری سخت در کوره، اتمسفرهای با خلأ بالا با نتایج رضایت بخشی استفاده شده اند. اتمسفرهای هیدروژن و آرگون نیز می توانند به طور موفقیت آمیزی استفاده شوند، ولی چون آنها در دمای بین ۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰°F اکسید های پایدار را کاهش نخواهد داد، استفاده آنها یا به صورت فلاکس یا به صورت سطوح پوششی داده ضروری است. جدول ۲۸ نشان می دهد که با یک جوشکاری آرگون خشک معمولی، فلاکس باید برای حصول جریان خوب و پوشش لحیم استفاده شود. این اطلاعات همچنین نشان می دهد که با فراهم کردن سطوحی که قبلاً پوشش داده شده اند امکان حذف کامل فلاکس وجود دارد. در حالی که اطلاعات نشان داده اند که برای نمونه های لحیم کالی در هیدروژن خشک،

یک اتمسفر آرگون خشک باید به همین اندازه مفید باشد. برای لحیم کاری سخت با مشعل چه پوشش کاری استفاده شود و چه نشود استفاده از فلاکس ضروری است.

جوشکاری لحظه ای :

در جدول ۲۹ خواص کششی بعضی از میله های فولاد $18Ni(250)$ با قطر 1 in که با جوشکاری لحظه ای ساخته شده اند داده شده است. با وجود اینکه نمونه ها در ناحیه جوش شکسته شده اند، آنها در طور ناحیه پیوند گسیخته نشده اند. استحکام قابل مقایسه با مواد جوش داده نشده و شکلپذیری خوبی دارند.

نقاط مسطح سطوح شکست که در جوشهای لب به لب جرقه ای مشاهده شده اند در جوش های لحظه ای به دلیل مخلوط شدن که در ناحیه پیوند انجام می شود به وجود نمی آیند. جوشکاری با لیزر:

گزارش شده است که فولاد ماراجینگ $18\%Ni$ به طور رضایت بخشی با لیزر جوشکاری شده و جوشها استحکام های کششی برابر با آلیاژ مادر را نشان داده اند. رفتار خوردگی تنش جوشهای فولاد مارخبیک:

فولاد های ماراجینگ مستعد به ترکبرداری خوردگی تنشی (SCC) در محلولهای آبدار هستند، اگرچه گزارش شده است که انواع فولادهای $18\%Ni$ زمانهای طولانی تری را جهت شکست نسبت به سایر فولادها با استحکام مشابه نشان داده اند. جوشها مقاومت به ترکبرداری خوردگی تنش کمتری نسبت به فلزات تشکیل شده با ترکیب مشابه دارند. اختلاف در شکل ۶۳ نشان داده شده است. این شکل همچنین نشان می دهد که با افزایش استحکام، مقاومت

به ترکیب‌داری افزایش می‌یابد. مقادیر K_I بالای اندازه‌گیری شده برای فولادهای با استحکام تسلیم در حدود ۲۰۰ksi و کمتر مقاومت بالایی را در برابر ترکیب‌داری خوردگی تنشی نشان می‌دهد. خم‌های U شکل صفحات پایه (۲۰۰)Ni(۱۸٪) و (۲۵۰)Ni(۱۸٪) برای سه سال در معرض آب دریا ترک بر نداشته‌اند. تلاشها جهت حفظ کاتدی جوشهای فولاد ماراجینگ در آب دریا یک جریان باقی مانده یا توسط جفت کردن آنها با روی حاصل شده در یک K_I اساساً پایین‌تر (شکل ۶۴) انجام شده است. این با رفتار صفحه (۲۰۰)Ni(۱۸٪) مغایرت دارد، برای مثال K_I توسط جفت شدن با روی فقط به مقدار جزئی کاهش می‌یابد. چون ترکیبات صفحات و جوشها یکسان است اختلافات در رفتارشان باید با اختلاف در ساختارهای تشکیل شده صفحات و ساختار ریخته شده جوشها ارتباط داشته باشد.

X. خلاصه و روشهای بعدی :

حوزه های کاربردی :

توسعه و کاربرد فولادهای ماراجینگ در سال های اولیه شان در بخش وسیعی به دلیل علاقه صنعت هواپیما و فضاوردی رایج شده بود. بسیاری از علاقه به دلیل نیاز ضروری برای مواد مناسب برای پوسته های موتور موشک جرقه زده شد، و اولین آلیاژها ترکیب چقرمگی شکست و استحکام بالا و قابلیت روغنکاری عالی داشتند. پوسته های موتور و بسیاری از محفظه های کنترل کننده فشار هوا در اندازه های مختلف بعد از آن تولید شده اند.

قابلیت جوشکاری سریع آلیاژهای یک عامل مهم در انتخاب آنها برای سایر کاربردهای ساختمان علاوه بر بسیاری از حوزه های هواپیما و فضاوردی می باشد. اینها شامل میله های

انعطاف پذیر برای چرخاندن پروانه هلی کوپتر، محورهای پره هواپیمای جنگنده، اجزای یک کشتی نیروی دریایی و محورهای ماریچج موتورهای موشک می باشد. این آلیاژها همچنین برای کاربردهای ابزار سازی مانند قالبهای ریخته گری تحت فشار، مدل های انتقال پلاستیک و ابزارهای فشار کاری استفاده شده اند. قابلیت جوشکاری فولادهای ماراجینگ یک امتیاز مهم است. چون اجزای ساخته شده با اینها می توانند به سادگی جهت افزایش عمر مفیدشان به وسیله جوش تعمیر شوند.

بیشتر کاربردهای فولاد ماراجینگ جوشکاری شده مربوط به انواع ۱۸٪ نیکل ۲۰۰ و ۲۵۰ ksi می باشد، اما انواع ۳۰۰ ksi هم استفاده هایی داشته اند.

قابلیت اجرای فرآیند:

اکثریت تولید جوش فولاد ماراجینگ توسط فرآیندهای گاز خنثی انجام شده است، بخصوص فرآیند قوس گاز تنگستنی. سیم ها و تکنیک های جوشکاری نبا شده اند و اتصالات سالم و بدون ترک به سادگی تولید شده اند. قطعات جوشکاری شده با بازدهای اتصال بالا و خواص شیار مشخص شده اند، با جوش قوس گاز تنگستنی چقرمگی نزدیک به آلیاژ مادر تولید شده است. فرآیندهای پوشیده شده با فلاکس، قوس-فلز پوشیده شده، زیر پودری و سرباره الکتریکی در یک مرحله جلوتر توسعه هستند. این فرآیندها قابلیت تولید اتصالات با بازده بالا دارند، ولی شکلپذیری و چقرمگی جوش اساساً کمتر از آنچه که در جوشهای گاز خنثی به دست آمده است، ترکیب داری - بخصوص در قطعات جوشکاری شده با روش زیر پودری اغلب مشاهده شده است. تکنیکهای جوشکاری پرتو الکترونی بخصوص برای ضخامت های نازکتر

گسترش یافته اند، و فرآیند برای تولید انواع اجزاء استفاده شده است. جفت شده خیلی نزدیک جهت تضمین رضایت بخش بودن اتصال یک اشکال این روش است. سایر روشهای اتصال شامل جوشکاری لب به لب جرقه ای، جوشکاری مقاومت نقطه ای، جوشکاری مقاومتی با فرکانس بالا، جوشکاری لحظه ای ولحیم کاری سخت همگی بررسی شده اند اما به طور گسترده استفاده نمی شوند.

گرایش های آینده:

سطوح مرغوب و خواصی که می توان با استحکام دهی محلول جامد و پیر سخت گردانی یک **مارتنزیت** کم کربن به دست آورد نوید خوبی برای آینده فولادهای ماراجینگ می باشد. بعضی از پیشرفت ها قبلاً انجام شده و بعضی ها برنامه ریزی شده اند. شکل ۶۶ حوزه های کاربرد فعلی و فعالیتهای توسعه ای آینده را به صورت نمودار نشان داده است و شکل ۶۷ ترکیبات استحکام - چقرمگی را پیش بینی کرده است.

در کوتاه مدت، منطقی به نظر می رسد که تحت طرحهای توسعه ای، کاربرد این آلیاژها گسترش یابد. آلیاژ ۳-۵-۱۲ در استحکام تسلیم حدود ۱۸۰ ksi چقرمگی بالایی را فراهم می کند، و به طور موفقیت آمیزی در مقاطع با ضخامت ۲ in در استحکام تسلیم حدود ۲۸۰ ksi جوشکاری شده است. فعالیت در دوره کوتاه روی موادی که چقرمگی بالایی را در مقاطع سنگین فراهم می کنند (یک آلیاژ با استحکام ۲۸۰ ksi)، که حاوی مقادیر کبالت و تیتانیوم و مولیبدن کمتر است و قابلیت جوشکاری مشابه با اکثر آلیاژهای ۱۸ درصد نیکل ارائه می کنند، متمرکز شده است.

در دوره های طولانی تر، چندین حوزره برای توسعه آلیاژهایی که ممکن است برای جوشکاری فولادهای ماراجینگ مهم باشند، وجود دارد. این ها شامل یک نوع کم آلیاژتر در استحکام تسلیم حدود ۱۵۰ ksi و یک فولاد ماراجینگ زنگ نزن با استحکام بالاتر و آلیاژهای خیلی سخت با استحکام بالاتر از ۴۰۰ksi می باشد.

انتظار می رود که تکنولوژی جوشکاری همگام با رشد کاربردها و توسعه آلیاژهای جدیدتر پیشرفت کند. تلاش ها جهت بهبود استحکام و چقرمگی جوشها ادامه خواهد یافت، و پیش بینی خواص در شکل ۶۸ نشان داده شده است. فرآیندهای گاز خنثی که به صورت موفقیت آمیز استفاده شده اند، بدون شک برای روش های اتصال اولیه باقی خواهند ماند، ولی جوشکاری پرتو الکترونی همچنین به صورت گسترده ای استفاده خواهد شد. جوشکاری لحظه ای در هر کجا قابل اجرا باشد خواص خیلی خوبی ایجاد می کند و انتظار می رود به طور گسترده ای استفاده می شود. مشکلات ذاتی مربوط به فرآیندهای پوشیده شده با فلاکس بخصوص آنهایی که با انرژی ورودی بالایی تولید می شوند استفاده از این تکنیک ها را محدود خواهد کرد، اما بعضی کاربردهای روش قوس-گاز پوشیده شده برای جوشکاری آلیاژهای کم استحکام تر پیش بینی شده است.

پایان