آیه ای از قرآن کریم در مورد جایگاه و ضرورت دانش متالورژی برای اقامه قسط و عدل

لقد ارسلنا رسلنا بالبینات و انزلنا معهم الکتاب و المیزان لیقوم الناس بالقسط و **انزلنا الحدید** فیه باس شدید و منافع للناس و لیعلم الله من ینصره و رسله بالغیب ان الله قوی عزیز

سوره حدید، آیه ۲۵

ما رسولان خود را با دلایل روشن فرستادیم و با آنها کتاب (آسمانی) و میزان (شناسایی حق از باطل و قوانین عادلانه) نازل کردیم تا مردم قیام به عدالت کنند؛ و آهن را نازل کردیم که در آن نیروی شدید ومنافعی برای مردم است، تا خداوند بداند چه کسی او ورسولانش را یاری می کند، بی آنکه او را ببینند؛ خداوند قوی شکست ناپذیر است.

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی متالورژی

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی خوردگی فولاد زنگ نزن دوفازی ۲۲۰۵ جوشکاری شده

تهیه و گردآوری

مهدی گلیانی

استاد راهنما

دکتر محمد هادی موید

پاییز ۱۳۸۸

تقدیم به :

شهدای راه علم و فضیلت، بالاخص شهدای انقلاب اسلامی

تشکر و قدردانی

من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق

شکر و سپاس بیکران، خداوند عالم قادری را که بندگان حقیر خود را توانا ساخت تا به اندک دانشی (و ما اوتیتم من العلم الا قلیلا) راجع به مخلوقات و قوانین الهی موجود در نظام خلقت دست یابند.

اکنون که این رساله به پایان رسیده است بر خود فرض می دانم، از استاد ارجمند و گرانقدرم، جناب آقای دکتر موید، که در طی انجام و پیشبرد این تحقیق، همواره حامی، مشوق و راهنمای من بوده اند نهایت تشکر و سپاسگزاری را نمایم.

و نیز با تشکر و سپاس فراوان از پدر و مادر بزرگوارم، اولین معلمین زندگی ام و همسر عزیزم و پسرم محمد جواد، که رنج و زحمت ایام مطالعات و تحقیقات بنده را با نهایت صبوری و همدلی پذیرا شدند. و این تحقیق مرهون کمک و همیاری آنهاست.

در آخر نیز از تمام دوستانم در دانشگاه فردوسی مشهد و همکارانم در مرکز طراحی مهندسی توس دریا که مرا در این راه یاری نمودند، تشکر و قدردانی می نمایم.

چکیده

فولادهای زنگ نزن دوفازی، دارای ریزساختار تعادلی آستنیت- فریت با درصد حجمی تقریبا مساوی هستند. فرایند جوشکاری یکی از فرایندهای مهم و حیاتی در ساخت سازه های مختلف می باشد که می تواند باعث تغییرات ریزساختاری قابل ملاحظه ای در تعادل فازی آستنیت- فریت و رسوب فازهای مختلف از قبیل σ، ά، χ و... در نواحی جوش و HAZ گردد. این تغییرات فازی باعث کاهش چقرمگی و مقاومت خوردگی در این نواحی می گردد. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر جوشکاری بر خوردگی فولاد زنگ نزن دو فازی می باشد. در این تحقیق نمونه ای از ورق ۲۲۰۵، با لبه سازی V شکل، بوسیله جوشکاری ترکیبی GTAW+SMAW مطابق استاندارد AWS D1.6 جوشکاری شد. از آنجاییکه ترکیب شیمیایی و نرخ سرمایش دو عامل مهم برای کنترل تعادل فازی و تشکیل رسوبات مختلف در فولادهای زنگ نزن دوفازی هستند؛ برای کنترل این عوامل از الکترودهای جوشکاری غنی از نیکل، (AWS) E2209 و ER2209 همراه با کنترل حرارت ورودی استفاده شد. سپس با استفاده از روش متالوگرافی کمی و کیفی بررسی ریزساختاری کاملی از تمام نواحی مختلف فلز پایه، HAZ و جوش بعمل آمد. همچنین پروفیل سختی سنجی ماکرو و میکرو در مقطع جوش ودر جهات مختلف انجام شد. برای بررسی خوردگی، از آزمون های اندازه گیری پتانسیل خوردگی، پلاریزاسیون با پتانسیل ثابت و متغیر و از انداره گیری شدت جریان و پتانسیل پیل های گالوانیک بوجود آمده در اثر خوردگی استفاده شد. نتایج نشان داد که پتانسیل خوردگی (OCP) نواحی مختلف بترتیب فلز پایه، جوش GTAW، پاس آخر جوش SMAW-C، HAZ و پاس های میانی SMAW-I کاهش می یابد. آزمون های پلاریزاسیون با پتانسیل متغیر نشان می دهند که دامنه و پتانسیل رویین شدن (E_{pass}) و چگالی جریان رویین شدن (I_{pass}) مربوط به نمونه پاس آخر جوش SMAW و جوش GTAW بسیار نزدیک به

فلز پایه است. اما سایر نواحی دارای مشخصات خوردگی ضعیف تری می باشند. با این حال تمام نواحی نشانگر فراروییننگی و عدم وقوع حفره دار شدن در پلاریزاسیون و در محدوده وسیعی از منطقه آندی، در محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم، هستند. در میان نواحی جوش، ناحیه پاس های میانی جوش بدلیل حرارت دهی مکرر در اثر پاس های بعدی، شاهد تشکیل آستنیت های ثانویه و رسوبات مختلف و در نتیجه افزایش سختی است. از طرفی وجود ذرات اکسیدی و آخال های احتمالی بجا مانده از سرباره جوش پاس قبلی، باعث کاهش شدیدتر مقاومت خوردگی نسبت به سایر نواحی است. نواحی HAZ نیز بدلیل افزایش مقدار فریت و تشکیل رسوبات، بخصوص رسوبات نیتریدهای کرم، دارای مقاومت خوردگی کمتری نسبت به فلز پایه و فلز جوش (بغیر از ناحیه پاس های میانی جوش) هستند. آزمون های پلاریزاسیون با پتانسیل ثابت در پتانسیل های ۷۰۰ mV، ۵۰۰، ۲۰۰ برای نواحی فلز پایه، جوش SMAW و جوش GTAW نشانگر پایداری جریان رویین شدن در این پتانسیل ها بوده و مقایسه آنها نیز نشانگر افزایش جریان رویین شدن بترتیب، ناحیه جوش GTAW، فلز پایه و SMAW است. بررسی خوردگی گالوانیک در سه زوج گالوانیک فلز پایه – SMAW، فلز پایه– GTAW و فلز پایه – HAZ در محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم، در بازه زمانی حدود ۱۵۰ ساعت، نشانگر جریان گالوانیک بسیار پایین بین آنها بوده و بیشترین جریان اتصال مربوط به زوج فلز پایه – HAZ با مقدار حدود ۲۵۰nA/cm^2 است.

کلید واژه:

فولاد زنگ نزن دوفازی ۲۲۰۵، خوردگی، خوردگی گالوانیک، جوشکاری، جوشکاری ترکیبی GTAW+SMAW، ریزساختار

فهرست مطالب

فصل اول: مروری بر تحقیقات انجام شده

۱-۱) مقدمه ۲
۱-۲) فولادهای زنگ نزن دوفازی ۴
۱-۲-۱) ترکیب شیمیایی فولاد زنگ‌نزن دوفازی ۶
۱-۳) متالورژی فیزیکی ۱۰
۱-۳-۱) تعادل فازی آستنیت –فریت ۱۱
۱-۳-۲) واکنش های رسوبی ۱۴
۱-۴) خواص مکانیکی ۱۵
۱– ۵) متالورژی جوشکاری ۱۶
۱-۵-۱) رفتار انجمادی ۱۶
۱-۵-۲) نقش نیتروژن ۱۸
۱-۵-۳) آستنیت ثانویه ۲۱
۱-۵-۴) منطقه متاثر از جوش ۲۴
۱-۶) کنترل تعادل فریت-آستنیت ۲۸
۱-۷) محاسبه و اندازه گیری فریت ۲۹
۱-۸) قابلیت جوشکاری (جوش پذیری) ۳۰
۱-۸-۱) ترک خوردگی انجمادی جوش ۳۰
۱-۹) خواص مکانیکی جوش ۳۲
۱-۱۰) تشکیل فازهای میانی عامل تردی و کاهش مقاومت خوردگی ۳۳
۱-۱۰-۱) فاز آلفا پرایم ۳۴
۱-۱۰-۲) فاز سیگما ۳۵
۱-۱۱) خوردگی ۳۸
۱-۱۱-۱) خوردگی و اکسیداسیون عامل تخریب مواد ۳۸

۱-۱۱-۲) خوردگی حفره ای ۳۸
۱-۱۱-۳) خوردگی شیاری ۵۰
۱-۱۱-۴) ترک خوردگی تنشی ۵۱
۱-۱۱-۵) خوردگی بین دانه ای ۵۲
۱-۱۱-۶) خوردگی گالوانیک ۵۴
۱-۱۱-۶-۱) بررسی خوردگی گالوانیک با منحنی پلاریزاسیون ۵۴
۱-۱۱-۶-۲) فاصله الکترود برخوردگی گالوانیک ۵۶
۱-۱۱-۷) بررسی خوردگی حفره ای و گالوانیک فولادهای زنگ نزن جوشکاری به روش لیزر ۵۷
۱-۱۲) هدف تحقیق ۶۱

فصل دوم: روش تحقیق

۲-۱) خلاصه مراحل آزمایشگاهی و عملی ۶۳
۲-۲) بررسی کمی و کیفی آلیاژ ۶۴
۲-۳) جوش ۶۵
۲-۳-۱) تهیه دستورالعمل جوش و آماده سازی نمونه ۶۵
۲-۳-۲) عملیات جوشکاری SMAW و GTAW ۶۶
۲-۴) بررسی ریزساختاری کمی و کیفی از نواحی مختلف ۷۰
۲-۴-۱) آماده سازی نمونه ها..... ۷۰
۲-۴-۲) بررسی های ریزساختاری ۷۱
۲-۴-۳) ماکروگرافی ۷۱
۲-۴-۴) بررسی های تکمیلی ۷۲
۲-۴-۴-۱) عملیات حرارتی آنیل بعد از جوشکاری ۷۲
۲-۴-۴-۲) حساس سازی نمونه فلز پایه به فاز آلفا پرایم ۷۲
۲-۴-۴-۳) حساس سازی نمونه فلز پایه به فاز سیگما ۷۳
۲-۴-۴-۴) شبیه سازی منطقه HAZ ۷۳
۲-۵) آزمون های سختی سنجی ۷۳

۲-۵-۱) سختی سنجی ماکرو ۷۳
۲-۵-۲) سختی سنجی میکرو ۷۴
۲-۶) خوردگی ۷۵
۲-۶-۱) وسایل و تجهیزات مورد استفاده در آزمون های خوردگی ۷۵
۲-۶-۱-۱) دستگاه پتانسیواستات ۷۵
۲-۶-۱-۲) الکترود مرجع ۷۶
۲-۶-۱-۳) الکترود شمارنده یا کمکی ۷۸
۲-۶-۱-۴) دستگاه بن‌ماری ۷۸
۲-۶-۲) محلول های مورد استفاده در آزمون های خوردگی ۷۸
۲-۶-۳) آماده سازی نمونه های آزمون های خوردگی ۷۹
۲-۶-۴) آزمون های خوردگی ۸۲
۲-۶-۴-۱) آزمون اندازه‌گیری پتانسیل خوردگی ۸۲
۲-۶-۴-۲) آزمون پلاریزاسیون با پتانسیل متغیر ۸۳
۲-۶-۴-۳) آزمون پلاریزاسیون با پتانسیل ثابت ۸۴
۲-۶-۴-۴) آزمون خوردگی گالوانیک در محلول کلرید سدیم ۸۵
۲-۶-۴-۵) آزمون خوردگی گالوانیک در محلول فریک کلراید ۸۶
۲-۶-۴-۶) آزمون غوطه وری ۸۶

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱) بررسی آنالیز شیمیایی جوش ۸۸
۳-۲) بررسی های ریزساختاری ۸۹
۳-۲-۱) بررسی ماکروگرافی ۸۹
۳-۲-۲) بررسی ریزساختاری فلز پایه ۹۰
۳-۲-۳) بررسی ریزساختاری جوش SMAW ۹۱
۳-۲-۴) بررسی ریزساختاری جوش GTAW ۹۷
۳-۲-۵) بررسی های ریز ساختاری تکمیلی ۹۹
۳-۲-۵-۱) عملیات حرارتی آنیل بعد از جوشکاری ۹۹

۳-۲-۵-۲) حساس سازی نمونه فلز پایه به فاز آلفا پرایم ۱۰۱
۳-۲-۵-۳) حساس سازی نمونه فلز پایه به فاز سیگما ۱۰۱
۳-۲-۵-۴) شبیه سازی منطقهHAZ ۱۰۲
۳-۳) بررسی سختی ۱۰۴
۳-۳-۱) بررسی ماکرو سختی ۱۰۴
۳-۳-۲) بررسی میکرو سختی ۱۰۵
۳-۴) بررسی آزمون های خوردگی ۱۰۸
۳-۴-۱) بررسی آزمون های پتانسیل خوردگی ۱۰۸
۳-۴-۲) بررسی آزمون های پلاریزاسیون با پتانسیل متغیر ۱۱۳
۳-۴-۳) بررسی آزمون های پلاریزاسیون با پتانسیل ثابت ۱۱۶
۳-۴-۴) بررسی آزمون های خوردگی گالوانیک در محلول کلرید سدیم ۱۲۱
۳-۴-۴-۱) بررسی خوردگی گالوانیک بین فلز پایه و جوش SMAW ۱۲۱
۳-۴-۴-۲) بررسی خوردگی گالوانیک بین فلز پایه و جوش GTAW ۱۲۴
۳-۴-۴-۳) بررسی خوردگی گالوانیک بین فلز پایه و ناحیه HAZ ۱۲۷
۳-۴-۵) بررسی آزمون های خوردگی گالوانیک در محلول فریک کلراید ۱۳۰
۳-۴-۵-۱) بررسی خوردگی گالوانیک بین فلز پایه و جوش ۱۳۰
۳-۴-۶) آزمون غوطه وری ۱۳۲
نتیجه گیری ۱۳۳
پیشنهادات ۱۳۷
منابع و مراجع ۱۳۹
پیوست ها ۱۴۲

فصل اول

مروری بر تحقیقات انجام شده

۱-۱) مقدمه

فولادهای زنگ نزن گروه وسیعی از آلیاژهای ویژه اند که بیشتر برای مقاومت در برابر خوردگی توسعه یافته انـد. از جمله ویژگی‌های دیگر مورد نظر برای این آلیاژها عبارت از شکل پذیری عالی، چقرمگی[۱] زیـاد در دمـای اتـاق و در دماهای پائین و مقاومت خوب در برابر پوسته شدن[۲]، اکسایش[۳] و خزش[۴] در دمای بالاست.

کرم عنصر آلیاژی بهبود دهنده مقاومت به خوردگی فولادهای زنـگ‌نـزن اسـت، ولـی بـسیاری از عناصـر آلیـاژی دیگر نیز برای پایدار کردن فازهای دیگر به این فولادها اضافه مـی شـوند. ایـن عناصـر نیـز مقاومـت بـه خـوردگی را افزایش داده و خواص مکانیکی را بهتر می‌کنند [۱].

فولادهای زنگ‌نزن به دو دسته ریخته شـده وکارشـده تقـسیم مـی شـوند. همچنـین بـر اسـاس اخـتلاف در سـاختار و ترکیب شیمیایی، فولادهای زنگ‌نزن کار شده به پنج گروه اصلی تقسیم می شوند[۱]:

۱- فولادهای زنگ‌نزن فریتی[۵] (و سوپر فریتی)

۲- فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی[۶] (و سوپر آستنیتی)

۳- فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیتی[۷] (و سوپر مارتنزیتی)

---

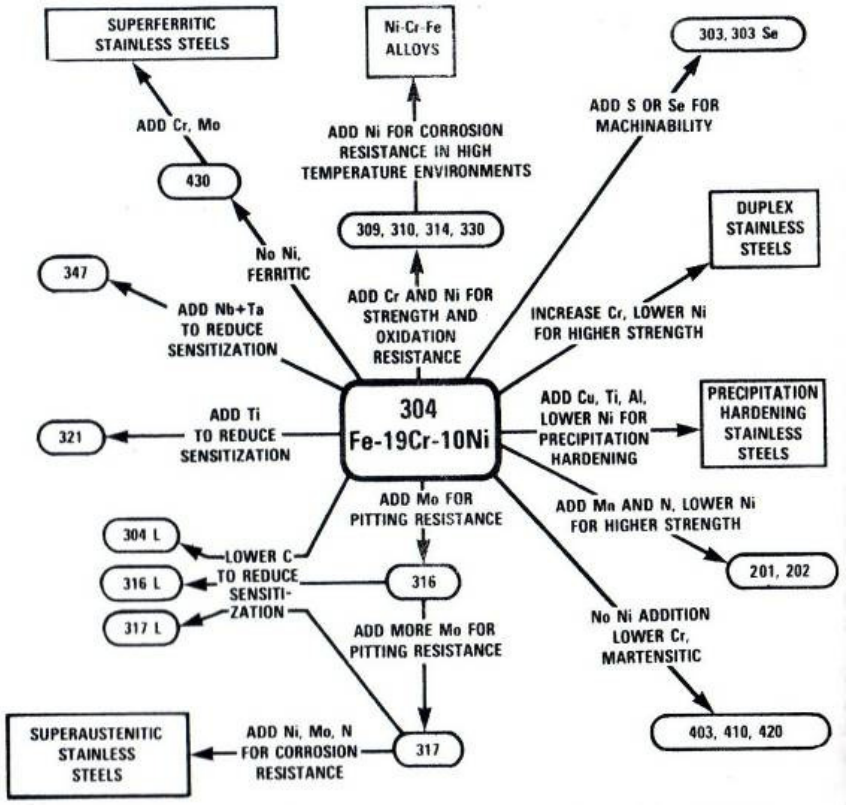
[1] Toughness
[2] Exfoliation
[3] Oxidation
[4] Creep
[5] Ferritic stainless steel
[6] Austenitic stainless steel
[7] Martensitic stainless steel

۴- فولادهای زنگ‌نزن رسوب سختی[1]

۵- فولادهای زنگ‌نزن دوفازی[2] (و سوپر دوفازی)

فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی، فریتی و دوفازی را نمی توان توسط عملیات حرارتی سخت کرد. در این فولادها با استفاده از عناصر آلیاژی و فرآیند صحیح مکانیکی- حرارتی تشکیل فازهای مخرب در ارتباط با مقاومت خوردگی و چقرمگی را به حداقل می رسانند.

شکل (۱-۱)، نحوه توسعه و پیدایش گروه های مختلف فولاد زنگ نزن رانشان می دهد.



شکل (۱-۱): نمودار توسعه فولادهای زنگ نزن [۲،۲۳]

[1] Precipitation hardening stainless steel
[2] Duplex stainless steel

۱-۲) فولادهای زنگ نزن دوفازی

نام فولادهای زنگ نزن دوفازی فریتی – آستنیتی از ریزساختار آنها در درجه حرارت اتاق که تقریبا نیمی فریت و نیمی آستنیت می باشد، گرفته می شود. فولادهای زنگ نزن دوفازی از دهه ۱۹۳۰ شناخته شده‌اند. پیشرفت و تکامل ناگهانی آنها ظاهرا در هنگام کاهش دوره ای نیکل اهمیت بیشتری پیدا کرد. این گروه از فولاد ها ازابتدای دهه ۱۹۸۰ خیلی سریع توسعه یافتند. به تازگی این فولادها در یک محدوده گسترده از کاربردهایی که مقاومت به خوردگی بسیار زیاد نیاز دارند، استفاده می گردند. بهبودهای قابل توجهی در قابلیت جوشکاری و مقاومت به خوردگی این آلیاژها در این دوره زمانی صورت گرفت که اصولا به دلیل درک نقش کلیدی نیتروژن به عنوان یک عنصر آلیاژی بود[۳].

پیشرفت صنعت منجر به بهبود فولادهای زنگ‌نزن دوفازی با خواص بهتری نسبت به فولادهای تجاری موجود گردید. در دهه‌ی قبل، جایگزینی فولاد کربنی و آلیاژهای مس- نیکل توسط فولاد زنگ‌نزن دوفازی مورد توجه قرارگرفت. دلیل اصلی این تحول این بود که آلیاژهای قبلی نسبت به فولاد زنگ‌نزن دوفازی عمر کمتری داشتند، چون فولاد زنگ نزن دوفازی در برابر خوردگی (مخصوصا در برابر خوردگی موضعی[۱]) در محیط‌های تر[۲] مقاومت فوق العاده ای از خود نشان داد. همچنین خواص دیگری از جمله استحکام مکانیکی خوب، کارگرم‌پذیری (قابلیت انجام کارگرم)، جوش پذیری و اینکه در طول بعضی فرآیندها کرم کمتری را از دست می‌داد، این فولاد را متمایز کرد.

[1] Localised Corrosion
[2] Wet

در صنایع نفتی فولاد زنگ‌نزن دوفازی بیشتر در فرآیندهای حیاتی و سیستم‌های مفید و خطوط لوله و تیوب‌های زیردریایی مورد استفاده قرار می گیرد. حدود ۳۵٪ از کل فلزات به کار رفته در انواع سکوهای ساحلی (اسکله‌ها) از فولاد زنگ‌نزن دوفازی است[۱۱].

فولادهای زنگ نزن دوفازی در مصارفی که نیاز به مقاومت به خوردگی بالا، استحکام و یا هر دوی آنها باشد، استفاده می گردند، به دلیل اینکه آنها دارای مقدار فریت بالاتر از فولادهای آستنیتی می باشند، فرومغناطیس تر بوده و دارای رسانایی حرارتی بالاتر و انبساط حرارتی کمتر هستند. آنها در اغلب موارد برای مقاومت به خوردگی انتخاب می شوند و در بسیاری از کاربردها که در ترک خوردگی تنشی و خوردگی حفره ای نگران کننده است، به عنوان جایگزینی برای آلیاژهای آستنیتی مطرح می باشند.

این آلیاژ ها در کاربردهای شدیدا خورنده نیز بسیار برتر از فولادهای ساختمانی بوده و می توانند دارای استحکام قابل مقایسه ای باشند. برای مثال، فولادهای زنگ نزن دوفازی به طور گسترده برای خطوط لوله نفت و گاز در درون دریا و در مجاورت آن به کار می روند. به دلیل اینکه فولادهای زنگ نزن دوفازی یک تعداد از رسوبات ترد کننده را در درجه حرارتهای نسبتا پایین تشکیل می دهند، برای کاربردهای بالاتر از حدود $۲۸۰^{\circ}C$ بسیار گرانتر از فولادهای زنگ نزن آستنیتی می باشند که این افزایش بها به دلیل هزینه عناصر آلیاژی نیست بلکه اصولا به دلیل هزینه فرآیند تبدیل فولاد ریخته شده به اشکال ورق، لوله یا تسمه می باشد. این فولادها مقاومت به خوردگی و کاهش وزن مجزایی را ارائه می دهند و ممکن است به جای برخی از آلیاژهای پایه نیکل در محیط های تهاجمی متوسط و با کاهش هزینه مواد استفاده گردند.

فولاد زنگ‌نزن دوفازی یک آلیاژ دوفازی است که هر دو فاز موجود در فولاد، زنگ‌نزن هستند[۳]. از این رو هر دو فاز حداقل شامل ۱۲٪ کرمی هستند که برای ایجاد فولاد زنگ‌نزن نیاز است. این دو فاز معمولاً آستنیت (fcc)[1] و فریت (bcc)[2] به ترتیب γ و α هستند. فولادهای زنگ نزن دوفازی به مقدارقابل توجهی قوی تر از فولادهای زنگ نزن آستنیتی می باشند. استحکام های تسلیم بالاتر از ۴۲۵ MPa با استحکام ۲۱۰MPa برای فولادهای آستنیتی مقایسه می شوند. از آنجایی که استحکام فولادهای زنگ نزن دوفازی بالاتر می باشند، سختی آنها نیز بیشتر بوده و در جاهایی که سایش همانند خوردگی نگران کننده است احتمالا بسیار مطلوب می باشند. اکثر فولادهای زنگ نزن دوفازی امروزی دارای چقرمگی و داکتیلیتی خوب هستند. ولی دچار یک انتقال نرم به ترد در درجه حرارت پایین می شوند، به طوری که عموماً برای کار در درجه حرارتهای برودتی مناسب نیستند. محدوده درجه حرارت کاری فولادهای زنگ نزن عموماً از حدود ۴۰- تا ۲۸۰°C می باشد.

انبساط حرارتی آلیاژهای دوفازی بسیار نزدیک به فولادهای کربنی و کم آلیاژ می باشد. در نتیجه این تشابه، ممکن است در موقعیت‌های کاری نظیر مخازن فشار در کنار فولادهای کربنی به کار برده شوند. تنش‌های ناشی از اختلاف انبساط حرارتی در مقایسه با آلیاژهای آستنیتی کاهش خواهد یافت، ولی به دلیل واکنشهای رسوبی دردرجه حرارت نسبتاً کم که در فولادهای زنگ نزن دوفازی رخ می دهند، کاربرد آنها در وضعیتهایی که نیازمند تنش گیری حرارتی (عملیات حرارتی پس از جوش) می باشد، عموما مناسب نیست[۳].

[1] **F**ace **C**entred **C**ubic
[2] **B**ody **C**entred **C**ubic

۱-۲-۱) ترکیب شیمیایی فولاد زنگ‌نزن دوفازی

تحولات فولاد زنگ‌نزن دوفازی منجر به تولید فولادهایی شد که ترکیبی از خصوصیات فولادهای فریتی (استحکام و مقاومت به خوردگی تنشی) و فولادهای آستنیتی (چقرمگی و مقاومت به خوردگی) را داشته باشد، در حقیقت ساختار دوفازی مقاومت به خوردگی تنشی را بهبود می‌دهد. تعداد زیادی از فولادهای زنگ‌نزن دوفازی کشف شده و با خصوصیات خیلی عالی به ثبت رسیده‌اند. تعداد زیادی از آلیاژهای فولاد زنگ‌نزن دوفازی تجاری در جهان وجود دارد[۱۱]، برای رسیدن به خواص جدید مورد نیاز و دستیابی به پیشرفتهای تکنولوژیکی مفید باید بهینه‌سازی ترکیب شیمیایی بر روی این آلیاژها صورت گیرد.

مهمترین عناصر موجود در فولاد زنگ‌نزن دوفازی درجدول (۱-۱) آورده شده است[۸].

جدول(۱-۱): مهمترین عناصر موجود در فولاد دوفازی بر حسب درصد وزنی[۸]

Fe	Cr	Ni	Si	Mn	C	N	Mo,Cu,Nb
.....	۱۷-۳۰	۳-۱۳	۰/۵-۲	۰/۵-۲	۰/۰۸-۰/۳	<۰/۵	<۰/۰۰۵

فولاد زنگ‌نزن دوفازی به دو شکل یافت می‌شود: ریخته شده و کار شده. چارلز[1] معتقد بود که فولادهای زنگ‌نزن دوفازی کار شده به سه گروه دسته بندی می‌شوند[۹]: (همه اعداد ترکیبی بر حسب wt ٪ است.):

[1] Charles

۱- فولاد زنگ‌نزن دوفازی استاندارد (22Cr, 5Ni, 3Mo, 0.71N)، بیشتر به عنوان UR 45 N و SAF 2205 شناخته شده اند.

۲- فولاد زنگ‌نزن سوپر دوفازی (25Cr, 6.8Ni, 3.7Mo, 0.27N) بعضی اوقات با افزودن مقداری W , Cu)، بیشتر به عنوان SAF 2507 , UR 52 N+ شناخته شده اند.

۳- نوع مولیبدن‌دار (23Cr, 4Ni, 0.1 N) یک ماده اقتصادی است که می‌تواند به جای انواع آستنیتی AISI 304 و 316 به کار رود.

برن‌هاردسون[1] اعتقاد داشت که چهار گروه مختلف از فولاد زنگ‌نزن دوفازی شبیه به تقسیم بندی چارلز وجود دارد[۱۰]:

- کم آلیاژی: SAF2304 (UNS S32304) , UR 35 N (SS 2327)

- آلیاژ متوسط: SAF 2205 (UNSS31803) , UR 45 N (SS 2377)

- پر آلیاژی: FERRALIUM 255 (UNS S32550) , UR 52N (UNS 531250)

- سوپردوفازی: SAF 2507 (UNS S32750) , UR 52N+ (SS 2328)

ترکیب شیمیایی تعدادی از آلیاژهای فلز پایه از جنس فولاد زنگ نزن دوفازی در جدول(۱-۲) لیست شده است. قابل توجه است که دو تا از این آلیاژها (فولاد نوع ۳۲۹ کار پذیر و نوع CD4MCu) در استانداردهای ASTM A240 یا ASTM A890 نیازی به نیتروژن ندارند. این دو آلیاژ قبل از اینکه اهمیت نیتروژن مشخص شود،

[1] Bernhardsson

ساخته شده و برای جوشکاری موفقیت آمیز دارای مشکلات قابل ملاحظه‌ای بودند که نیتروژن به هر یک از این آلیاژها در مشخصات استاندارد ASTM (CD4MCuN, UNS S32950) جهت بهبود قابلیت جوشکاری و نیز مقاومت به خوردگی اضافه گردید.

مواد مصرفی جوشکاری برای ایجاد تعادل فازی مناسب در رسوب جوش و تامین مقاومت به خوردگی حداقل برابر با فلز پایه انتخاب می شوند. مقادیر نیکل اغلب در فلزات پر کننده مشابه، به منظور افزایش شکل گیری آستنیت در هنگام سرد شدن سریع جوش افزایش می یابند. یک چنین پر کننده ای AWS ER/E 2209 می باشد که حاوی ۹٪ نیکل بوده و برای فلزات پایه ای نظیر ۲۳۰۴ , ۲۲۰۵ که حاوی Ni% ۵ هستند، به کار برده می شود. جدول(۱-۳) تعدادی از ترکیبات شیمیایی فلزات پر کننده از استانداردهای AWS را گزارش می کند[۳].

جدول(۱-۲): ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ نزن دوفازی فریتی – آستنیتی[۳]

Type[b]	UNS No.[b]	Composition (wt%)[a]										
		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N	Cu	W
—	S32201	0.030	4.0–6.0	0.040	0.030	1.00	19.5–21.5	1.00–3.00	0.60	0.05–0.17	1.00	—
2304	S32304	0.030	2.50	0.040	0.030	1.00	21.5–24.5	3.0–5.5	0.05–0.60	0.05–0.20	0.05–0.60	—
2205[c]	S31803	0.030	2.00	0.030	0.020	1.00	21.0–23.0	4.5–6.5	2.5–3.5	0.08–0.20	—	—
2205[c]	S32205	0.030	2.00	0S.030	0.020	1.00	22.0–23.0	4.5–6.5	3.0–3.5	0.14–0.20	—	—
329	S32900	0.08	1.00	0.040	0.030	0.75	23.0–28.0	2.0–5.00	1.00–2.00	—	—	—
—	S32950	0.030	2.00	0.035	0.010	0.60	26.0–29.0	3.5–5.2	1.00–2.50	0.15–0.35	—	—
—	S31260	0.03	1.00	0.030	0.030	0.75	24.0–26.0	5.5–7.5	2.5–3.5	0.10–0.30	0.20–0.80	0.10–0.50
—	S32520	0.030	1.50	0.035	0.020	0.80	24.0–26.0	5.5–8.0	3.0–4.0	0.20–0.35	0.50–2.00	—
CD4MCu	—	0.04	1.00	0.04	0.04	1.00	24.5–26.5	4.75–6.00	1.75–2.25	—	2.75–3.25	—
CD4MCuN	—	0.04	1.00	0.04	0.04	1.00	24.5–26.5	4.7–6.0	1.7–2.3	0.10–0.25	2.7–3.3	—
255	S32550	0.04	1.50	0.040	0.030	1.00	24.0–27.0	4.5–6.5	2.9–3.9	0.10–0.25	1.50–2.50	—
2507	S32750	0.030	1.20	0.035	0.020	0.80	24.0–26.0	6.0–8.0	3.0–5.0	0.24–0.32	0.50	—
—	S32760	0.030	1.00	0.030	0.010	1.00	24.0–26.0	6.0–8.0	3.0–4.0	0.20–0.30	0.50–1.00	0.50–1.00
CD3M-WCuN	—	0.03	1.00	0.030	0.025	1.00	24.0–26.0	6.5–8.5	3.0–4.0	0.20–0.30	0.5–1.0	0.5–1.0

[a]A single value is a maximum.
[b]The compositions are grouped according to similar Cr first, then similar N, then Mo.
[c]Originally, Type 2205 was commonly associated with the S31803 composition range. However, when it became well known that low nitrogen produced an unfavorable phase balance in the weld HAZ, Type 2205 was defined as the UNS S32205 composition ranges in ASTM A240/A240M–99a in Volume 1.03 of the 2000 edition of the ASTM standards.

جدول(۱-۳): ترکیب شیمیایی فلزات پر کننده برای جوشکاری فولاد زنگ نزن دوفازی[۳]

Class	Source[b]	Composition (wt%)[a]										
		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N	Cu	W
E2209-XX	A5.4	0.04	0.5–2.0	0.04	0.03	1.00	21.5–23.5	8.5–10.5	2.5–3.5	0.08–0.20	0.75	—
ER2209	A5.9	0.03	0.50–2.0	0.03	0.03	0.90	21.5–23.5	7.5–9.5	2.5–3.5	0.08–0.20	0.75	—
E2209TX-X	A5.22	0.04	0.5–2.0	0.04	0.03	1.0	21.0–24.0	7.5–10.0	2.5–4.0	0.08–0.20	0.5	—
E2552-XX	A5.4	0.04	1.0	0.04	0.03	1.00	24.0–27.0	4.0–6.0	1.5–2.5	0.08–0.22	2.5–3.5	—
E2553-XX	A5.4	0.06	0.5–1.5	0.04	0.03	1.00	24.0–27.0	6.5–8.5	2.9–3.9	0.10–0.25	1.5–2.5	—
E2553TX-X	A5.22	0.04	0.5–1.5	0.04	0.03	0.75	24.0–27.0	8.5–10.5	2.9–3.9	0.10–0.20	1.5–2.5	—
ER2553	A5.9	0.04	1.5	0.04	0.03	1.0	24.0–27.0	4.5–6.5	2.9–3.9	0.10–0.25	1.5–2.5	—
E2593-XX	A5.4	0.04	0.5–2.5	0.04	0.03	1.00	24.7–27.0	8.5–11.0	2.9–3.9	0.08–0.25	1.5–3.0	—
E2594-XX	A5.4	0.04	0.5–2.0	0.04	0.03	1.00	24.0–27.0	8.0–10.5	3.5–4.5	0.20–0.30	0.75	—

[a]A single value is a maximum.
[b]AWS standard.

فلزات پر کننده با مقادیر نیکل افزایش یافته، هنوز در استانداردهای فلز پر کننده قرار نمی گیرند و تحت نامهای تجاری گوناگون برای اتصال فلزات پایه پرآلیاژ (که آلیاژهای سوپر دوفازی نامیده می شوند، نظیر آلیاژ ۲۵۰۷) در دسترس می باشند. فلزات پر کننده آستنیتی پر آلیاژ نظیر 309L نیز ممکن است در هنگام ایجاد اتصالات نامشابه با فولادهای زنگ نزن آستنیتی استفاده شوند. آلیاژهای پایه نیکل را می‌توان برای ترکیبات با کاربردهای نامشابه، نیازمند به مقاومت به خوردگی زیاد، انتخاب نمود.

۱-۳) متالورژی فیزیکی

۱-۳-۱) تعادل فازی آستنیت –فریت

فولادهای زنگ نزن دوفازی بر اساس سیستم آلیازی Fe-Cr-Ni-N پایه گذاری می شوند. ترکیبات شیمیایی این فولادها طوری تنظیم می شوند که ریز ساختار فلز پایه حاوی ۵۰٪ فریت و ۵۰٪ آستنیت باشد. از این رو عنوان دوفازی را برای آنها به کار می برند. ولی، همه فولادهای زنگ نزن دوفازی به طور ذاتی به صورت ۱۰۰٪ فریتی و