اویل ایندااستری
Oilindustry.ir
CLICK HERE

جوش پذیری فولادهای زنگ نزن

مترجمه : سیروس یحیی‌پور

مقدمه :

فولادهای زنگ نزن STAINLESS STEEL به سبب خواص بسیار عالی مهندسی و فیزیکی در صنعت امروز از اهمیت خاصی برخوردارند وهمانطور که در متن اصلی آمده ، کاربرد این فولادها از صنایع بسیار پیچیده ء فضائی تا ظروف معمولی آشپزخانه را دربرگرفته است بهمین علت کمتر تأسیساتی را میتوان یافت که از فولادهای زنگ نزن درساخت دستگاههای حساس آن استفاده نشده - باشد . از آنجائیکه در اغلب فرآیندهای ساخت جوشکاری بعنوان یک روش اصلی حضور دارد طبعا " مسائل و نکات موجود در جوشکاری فولادهای زنگ نزن مورد توجه بسیاری از مهندسین و مجریان صنعتی کشور ما قراردارد . بهمین جهت با توجه به نکات سودمند و مفید اقدام به ترجمه ء مقاله ء WELD ABILITY OF STAINLESS STEEL مندرج در کتاب THE PROCEDURE HAND BOOK OF ARC WELDING از انتشارات موسسه ء LINCOLN چاپ دوازدهم شد . امید است که متخصصین امر و جوشکاران مجرب مترجم را از نواقص احتمالی آگاه واز پیشنهادات خویش وبرا بی‌نصیب نگذارند .

سیروس یحیی‌پور
فروردین ۱۳۶۷

جوش پذیری فولادهای زنگ نزن WELDING OF STAINLESS STEEL

فولادهای زنگ نزن با داشتن مجموعه ای از خواص خوب مانند مقاومت به خوردگی، استحکام بالاومقاومت حرارتی عالی که بندرت در دیگرفولادها وجود دارد، گسترش روزافزونی یافته اند و کاربرد آنها از ظروف آشپزخانه تا قطعات پیچیده ء فضائی را دربرمیگیرد. انستیتو آهن وفولاد آمریکا AISI بیش از ۴۰ ترکیب فولاد زنگ نزن را استاندارد کرده و تعدادی را نیز تحت عنوان آلیاژهای مخصوص طبقه بندی نموده است. در این مقاله خواص و مشخصات فولادهای زنگ نزن خصوصا" جوش‌پذیری و انتخاب روش جوشکاری و الکترودهای مصرفی مورد بحث قرار گرفته است.

ترکیب شیمیائی

فولاد زنگ نزن به آلیاژی از آهن و کروم اطلاق میگردد که دارای حداقل ۱۱% کروم باشد. با افزایش کروم بیش از ۱۱% مقاومت به‌خوردگی در اتمسفر شروع میشود. اما اکثر آلیاژهای زنگ نزن برای بهبودمقاومت به‌خوردگی و اکسیداسیون در دماهای بالا دارای کروم به مراتب بیشتری هستند. کروم که علت اصلی مقاوم به خوردگی یا ضدزنگ شدن این گروه از فولادها است در ترکیب با دیگر عناصر آلیاژی خواص مکانیکی و فیزیکی فولاد را در حدقابل توجهی افزایش میدهد. نیکل درمقادیربیش از ۶% استحکام‌مکانیکی و شکل‌پذیری را بالابرده و کمی هم مقاومت به‌خوردگی را بهبود میبخشد. منگنز در ترکیب با مقدار اندکی نیتروژن اغلب بعنوان جانشینی ارزان برای نیکل بکار میرود. مولیبدن در مقادیر کم استحکام و مقاومت به خوردگی بخصوص خوردگی حفره ای را در دماهای بالا افزایش میدهد.

سیلیس که بیش از دیگر عناصر استفاده میشود، مقاومت به اکسیداسیون را درماهای زیاد بوجود می‌آورد. گوگرد و سلنیم خواص خوش تراشی FREE-CUTTING ایجادمیکنند. کلمبیوم، تیتانیم و تانتالم کاربیدها را تثبیت کرده و حساسیت به‌خوردگی بین دانه ای را کاهش میدهند.

طبقه‌بندی AISI از فولادهای زنگ نزن

فولادهای زنگ نزن از ابتدای پیدایش براساس میزان کروم و نیکل نامگذاری شدند. درنتیجه، اولین آلیاژ متداول که شامل ۱۸% کروم و ۸% نیکل بود، فولاد ۸-۱۸ نام گرفت. اما با پیدایش آلیاژهای پیچیده‌تر و افزایش تعداد آنها، این روش نامگذاری بعلت مشکلاتی که داشت دیگر استفاده نشد و انستیتو آهن و فولاد آمریکا AISI یک سیستم طبقه‌بندی عددی را متداول کرد که همه آلیاژهای قابل قبول و غیر اختصاصی فولاد زنگ نزن را دربر میگیرد. در حال حاضر AISI، ۴۴ ترکیب مختلف از فولادهای زنگ نزن را استاندارد کرده است. در این استاندارد به فولادهای زنگ نزن با پایه کرم شماره سری 400 اختصاص یافته و ترکیبات نیکل - کرم با سری 300 مشخص شده‌اند. فولاد زنگ نزن ۸-۱۸ قدیمی اکنون آلیاژ 302 و فولاد با ۱۷% کرم آلیاژ 403 نامیده میشوند. تنوع در خواص آلیاژهای یک تیپ بوسیله حروفی که در انتهای اعداد می‌آیند مشخص میگردد. برای مثال، فولاد زنگ نزن کم کربن از تیپهای 304 و 316 بصورت 304L و 316L و فولادهای زنگ نزن خوش تراش با حروف F و S نظیر 304F و 316L نمایش داده میشوند. گرچه طبقه‌بندی AISI بوسیله اکثر تولید کنندگان برسمیت شناخته شده است اما هنوز برخی ها برای معرفی آلیاژهای خود از روش قدیمی استفاده میکنند.

بعضی از تولید کنندگان برای بهبود خواص مکانیکی و قابلیت ساخت FABRIC ABILITY ترکیب شیمیائی AISI را تغییر داده و اصلاح میکنند، اما با اینحال AISI آنها را مجاز میداند که بتوانند برای این فولادها بهسازی شده نیز از سیستم طبقه‌بندی AISI استفاده کنند، چون ترکیب این فولادهای اصلاح شده بسیار نزدیک به ترکیب شیمیائی استاندارد است. مزیت اصلی طبقه‌بندی AISI عبارت است از در نظر داشتن ساختار متالورژیکی فولادهای زنگ نزن، چون خواص مکانیکی و فیزیکی این فولادها نظیر قابلیت شکل پذیری، جوش پذیری و سخت شوندگی بطور عمده متاثر از ساختار متالورژیکی آنهاست.

فولادهای زنگ نزن آوستنیتی

فولادهای زنگ نزن آوستنیتی، فولادهایی با پایه کرم و نیکل هستند که در طبقه بندی AISI در سریهای 200 و 300 قرار دارند. مشخصه ء اساسی این فولادها تشکیل و نگهداری ساختار آوستنیتی از درجه حرارتهای بالا تا درجه حرارت معمولی است. آلیاژ پایه در این گروه فولاد 302 است که دارای ۱۸% کرم و ۸% نیکل بوده وجهت بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی علاوه بر کرم ونیکل عناصر آلیاژی دیگری نیز به آن اضافه میشوند. فولادهای زنگ نزن آوستینتی جوش پذیری خوبی دارند و موارد کاربرد آنها وسیعتر از دیگر فولادهای زنگ نزن است. آن دسته از زنگ نزنهای آوستینتی که در آنها منگنز و نیتروژن جایگزین بخشی از نیکل شده است در سیستم AISI با سری 200 مشخص میشوند. درجدول [۱] ترکیب شمیمیائی این گروه از آلیاژها درج شده است.

جدول [۱] : ترکیب شیمیائی فولادهای زنگ نزن آوستینتی

طبقه بندی	ترکیب شیمیائی			
	کربن	کرم	نیکل	عناصر دیگر
201	۰/۱۵	۱۶/۰-۱۸/۰	۳/۵- ۵/۵	۰/۲۵N *, ۵/۵- ۷/۵ Mn, ۰/۰۶۰P *
202	۰/۱۵	۱۷/۰-۱۹/۰	۴/۰- ۶/۰	۰/۲۵N *, ۷/۵-۱۰/۵ Mn, ۰/۰۶۰P *
301	۰/۱۵	۱۶/۰-۱۸/۰	۶/۰- ۸/۰	———
302	۰/۱۵	۱۷/۰-۱۹/۰	۸/۰-۱۰/۰	———
302B	۰/۱۵	۱۷/۰-۱۹/۰	۸/۰-۱۰/۰	۲/۰-۳/۰ Si
303	۰/۱۵	۱۷/۰-۱۹/۰	۸/۰-۱۰/۰	۰/۲۰P, ۰/۱۵ S(min), ۰/۶۰ Ma (دلخواه)
303Se	۰/۱۵	۱۷/۰-۱۹/۰	۸/۰-۱۰/۰	۰/۲۰P, ۰/۰۶ Se (حداقل)
304	۰/۰۸	۱۸/۰-۲۰/۰	۸/۰-۱۲/۰	———
304L	۰/۰۳	۱۸/۰-۲۰/۰	۸/۰-۱۲/۰	———
305	۰/۱۲	۱۷/۰-۱۹/۰	۱۰/۰-۱۳/۰	———
308	۰/۰۸	۱۹/۰-۲۱/۰	۱۰/۰-۱۳/۰	———
309	۰/۲۰	۲۲/۰-۲۴/۰	۱۲/۰-۱۵/۰	———
309S	۰/۰۸	۲۲/۰-۲۴/۰	۱۲/۰-۱۵/۰	———
310	۰/۲۵	۲۴/۰-۲۶/۰	۱۹/۰-۲۲/۰	۱/۵ Si *
310S	۰/۰۸	۲۴/۰-۲۶/۰	۱۹/۰-۲۲/۰	۱/۵ Si *
314	۰/۲۵	۲۳/۰-۲۶/۰	۱۹/۰-۲۲/۰	۱/۵-۳/۰ Si
316	۰/۰۸	۱۶/۰-۱۸/۰	۱۰/۰-۱۴/۰	۲/۰-۳/۰ Mo
316L	۰/۰۳	۱۶/۰-۱۸/۰	۱۰/۰-۱۴/۰	۲/۰-۳/۰ Mo
317	۰/۰۸	۱۸/۰-۲۰/۰	۱۱/۰-۱۵/۰	۳/۰-۴/۰ Mo
321	۰/۰۸	۱۰/۰-۱۹/۰	۹/۰-۱۲/۰	Ti (حداقل ۵x%C)
347	۰/۰۸	۱۷/۰-۱۹/۰	۹/۰-۱۳/۰	Cb+ Ta (حداقل ۱۰x%C)
348	۰/۰۸	۱۷/۰-۱۹/۰	۹/۰-۱۳/۰	Cb+ Ta (حداقل ۱۰x%C اما حداکثر ۱/۰ Ta) ۰/۲۰ Co *

* مقادیری که بصورت تکی نوشته شده اند بیانگر حداکثر مقدار عنصر می باشند.

** درصورتیکه چیزی ذکر نشود مقادیر مندرج در ستون "دیگر عناصر" بیانگر حداکثر مقدار آنها است.

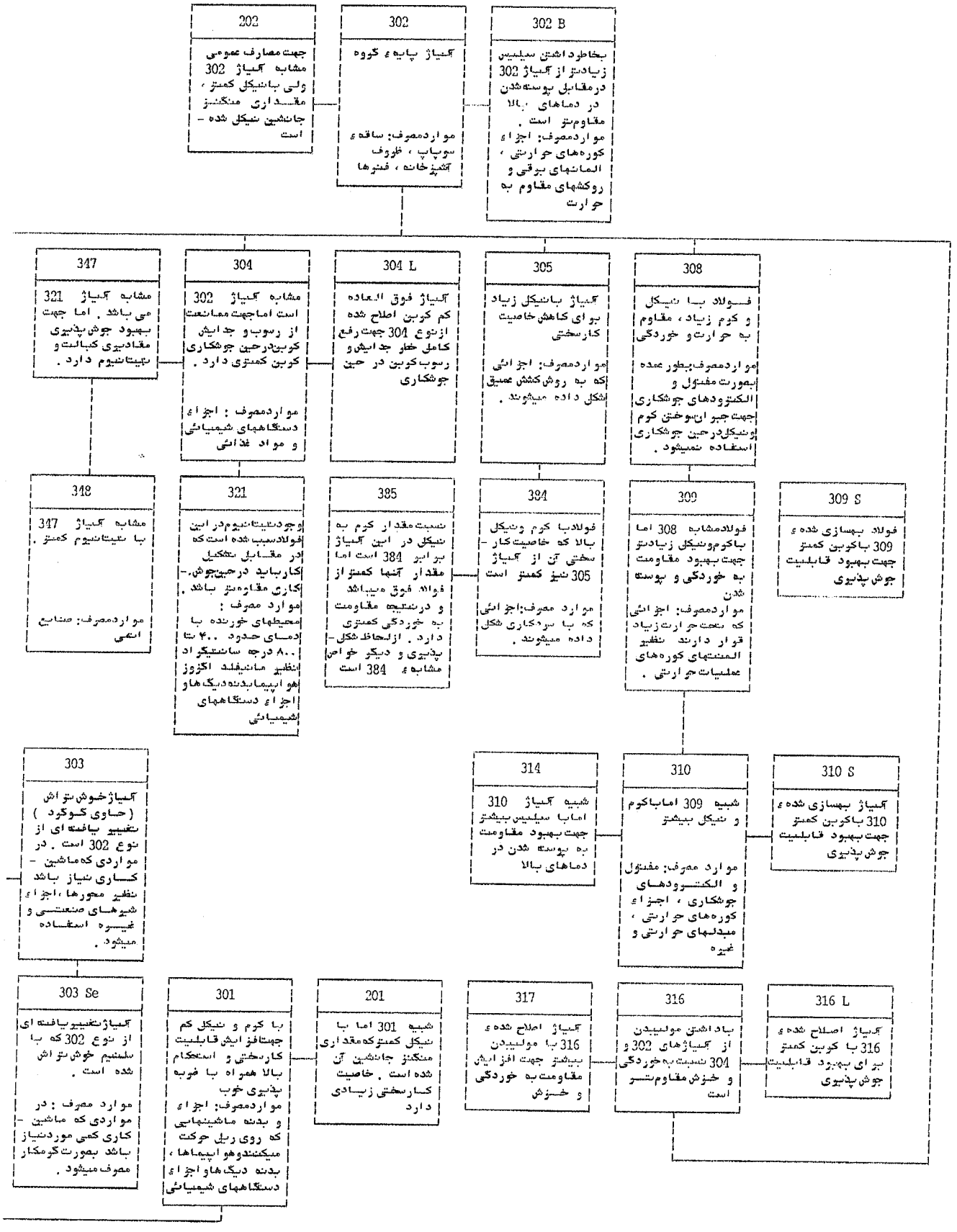
فولادهای زنگ نزن آوستینیتی ، انعطاف پذیری خوب ، تنش تسلیم پائین و مقاومت کششی بالائی دارند . بهمین جهت برای روشهای شکل دادن بوسیله کششهای عمیق DEEP DRAWING کاملا " مناسبانند . این گروه برخلاف آلیاژهای سری 400 (فولادهای مارتنزیتی) قابل سخت کاری بوسیله عملیات حرارتی نیستند ، اما برخی از آنها قابلیت کار سختی WORK HARDENING خوبی دارند و در اثر سردکاری COLD-WORKING بخوبی سخت میشوند . در حالت آنیل شده غیرمغناطیسی هستند اما در اثر کار سردکمی خاصیت مغناطیسی پیدا میکنند . فولادهای زنگ نزن آوستنیتی نسبت به سریهای 400 در دماهای پائین CRYOGENIC و درجه حرارتهای بالا از خواص مکانیکی بهتری برخوردارند . درجدول [۲] نمونه ای از مشخصات این فولادها آورده شده است . این فولادها بخصوص وقتیکه تحت عملیات حرارتی حل شدن کار باید ها قرار بگیرند (برای

جدول [۲] : خواص مکانیکی فولادهای زنگ نزن آوستینتی

طبقه بندی	(آنیل شده) دمای معمولی				حداکثر دمای بهره برداری درهوا (فارنهایت)	
AISI	مقاومت کششی (1000 SPI)	تنش 0.2% تسلیم (1000 PSI)	2in. (%)	سختی راکول B	مداوم	موقتی
201	۱۱۵	۵۵	۵۵	۹۰	۱۵۵۰	۱۴۵۰
202	۱۰۵	۵۵	۵۵	۹۰	۱۵۵۰	۱۴۵۰
301	۱۱۰	۴۰	۶۰	۸۵	۱۶۵۰	۱۵۰۰
302	۹۰	۴۰	۵۰	۸۵	۱۶۵۰	۱۵۰۰
302B	۹۵	۴۰	۵۵	۸۵	۱۷۵۰	۱۶۰۰
304	۸۴	۴۲	۵۵	۸۰	۱۶۵۰	۱۵۵۰
304L	۸۱	۳۹	۵۵	۷۹	۱۶۵۰	۱۵۵۰
305	۸۵	۳۸	۵۰	۸۰	۱۶۵۰	....
308	۸۵	۳۵	۵۰	۸۰	۱۷۰۰	۱۵۵۰
309	۹۰	۴۵	۴۵	۸۵	۱۹۵۰	۱۸۵۰
310	۹۵	۴۵	۴۵	۸۵	۲۰۵۰	۱۹۰۰
314	۱۰۰	۵۰	۴۰	۸۵	....	....
316	۸۴	۴۲	۵۰	۷۹	۱۶۵۰	۱۵۵۰
316L	۸۱	۴۲	۵۰	۷۹	۱۶۵۰	۱۵۵۰
317	۹۰	۴۰	۴۵	۸۵	۱۷۰۰	۱۶۰۰
321	۹۰	۳۵	۴۵	۸۰	۱۶۵۰	۱۵۵۰
347	۹۵	۴۰	۴۵	۸۵	۱۶۵۰	۱۵۵۰

* خواص مکانیکی مندرج در این جدول مربوط به نمونه و ورقهای نازکتر از ۳ میلیمتر می باشد . خواص میله ها و ورقهای ضخیم تر ممکن است قدری تفاوت داشته باشد .

جدول [۳] : مشخصات اساسی فولادهای زنگ نزن آوستینتی



حل کاربایدها بویژه کارباید کرم ابتدا فولاد را آنیل کرده و سپس جهت ابقاء و نگهداری کربن درمحلول جامد آنرا بسرعت سرد QUENCH میکنند) از دیگر آلیاژهای زنگ نزن در برابر خوردگی مقاوم‌ترند .

فولادهای زنگ نزن فریتی

این فولادها در طبقه‌بندی AISI در سری 400 قراردارند . میزان کرم آنها ۱۴ الی ۲۷ درصد است ، اما نیکل ندارند (به جدول [۴] مراجعه شود) . نسبت کرم - کربن عامل اصلی در تعیین مشخصات این فولادها است که از گسترش فاز آوستنیت در درجه حرارتهای بالا جلوگیری میکنند . چون این آلیاژها بدون آوستنیت بوده و یا مقدار آن بسیار کم میباشد ، در اثر سردشدن سریع ازدرجه‌حرارتهای بالا احتمال تشکیل مارتنزیت وجودندارد . وساختار فریتی آنها تادمای معمولی پایدار میمانند . آلیاژهای زنگ نزن فریتی‌درهمه حالات مغناطیسی بوده ،معمولا" سختی ناپذیرند UNHARDENABLE و

جدول [۴] : ترکیب شیمیائی فولادهای زنگ نزن فریتی

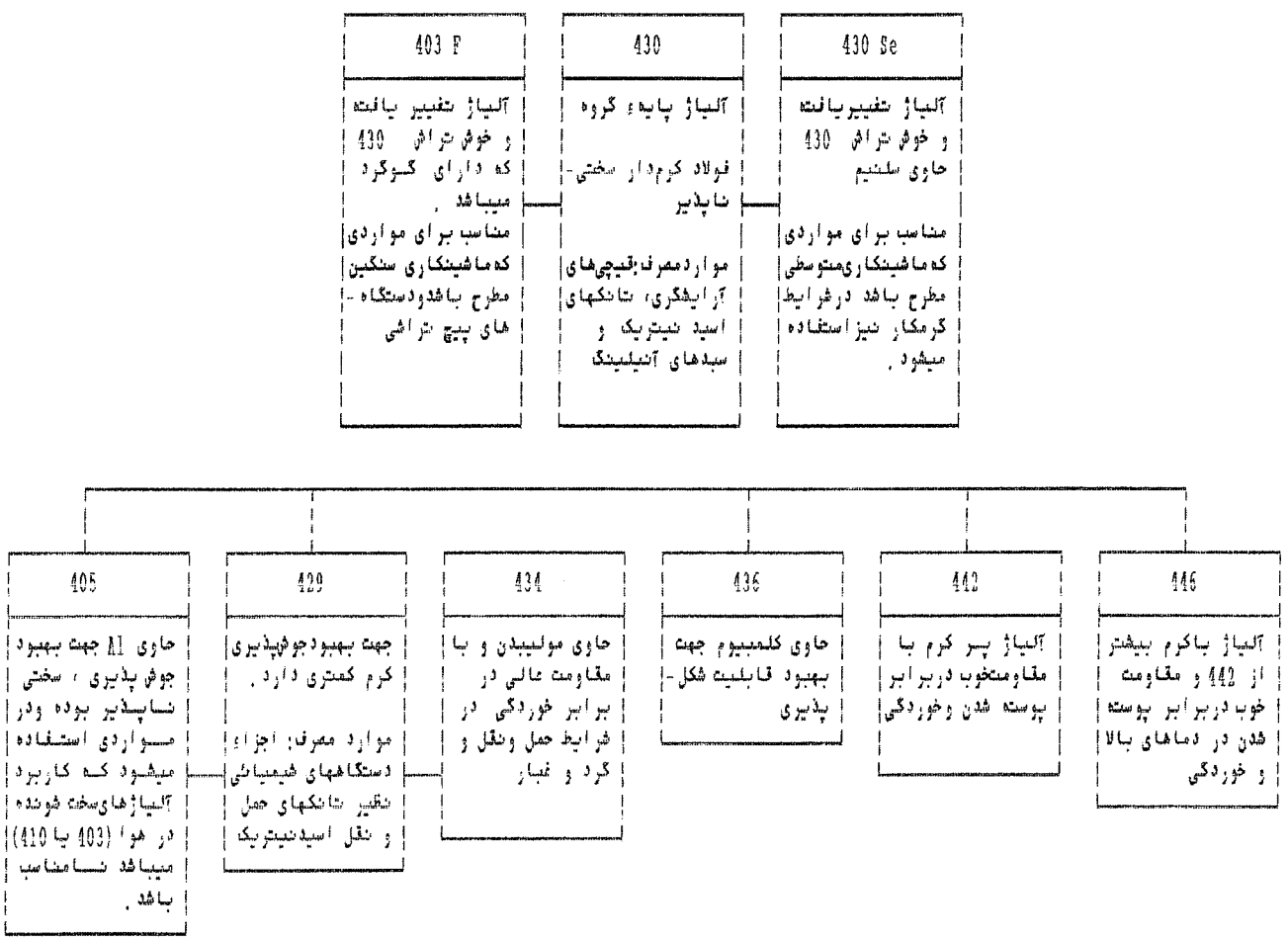
طبقه بندی	ترکیب شیمیائی			
	کربن	کرم	منگنز	عناصر دیگر
405	۰/۰۸	۱۱/۵-۱۴/۵	۱/۰	۰/۱- ۰/۳ Al
430	۰/۱۲	۱۴/۰-۱۸/۰	۱/۰	—
430F	۰/۱۲	۱۴/۰-۱۸/۰	۱/۲۵	۰/۰۶.P, ۰/۱۵S(حداقل) ۰/۶.Mo(دلخواه)
430FSe	۰/۱۲	۱۴/۰-۱۸/۰	۱/۲۵	۰/۰۶.P, ۰/۶.S , ۰/۱۵ Se(حداقل)
442	۰/۲۰	۱۸/۰-۲۳/۰	۱/۰	—
446	۰/۲۰	۲۳/۰-۲۷/۰	۱/۵	۰/۲۵ N

در اجزاء متحرک و دقیق دستگاههای اندازه‌گیری و دستگاههای شیمیائی که باید درمقابل خوردگی مقاوم باشند ، بکارمیروند . در جدول [۵]مشخصات مکانیکی این آلیاژها و درشکل [۶] مختصات اساسی آنها درج شده است .

جدول [۵] : خواص مکانیکی فولادهای زنگ نزن فریتی

طبقه بندی AISI	(آنیل شده) دمای معمولی				حداکثر دمای بهره برداری در هوا (فارنهایت)	
	مقاومت کششی (۱۰۰۰ SPI)	تنش ۰/۲% تسلیم (۱۰۰۰ PSI)	ازدیاد طول 2in. (%)	سختی راکول B	مداوم	موقتی
405	۷۰	۴۰	۳۰	۸۱	۱۴۰۰	۱۴۵۰
430	۷۵	۴۵	۳۰	۸۳	۱۵۵۰	۱۶۵۰
430F	–	–	–	–	–	–
430FSe	۸۰	۵۵	۲۵	۸۷	۱۵۰۰	۱۶۰۰
442	۸۰	۴۵	۲۰	۹۰	۱۸۰۰	۱۹۰۰
446	۸۰	۵۰	۲۵	۸۶	۱۹۵۰	۲۰۵۰

شکل [۶] : مختصات اساسی آلیاژهای فریتی



فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی

این گروه نیز در سیستم AISI در سری 400 قرار گرفته اند و بسته به نوع عملیات حرارتی محدوده ء وسیعی ازمقاومت مکانیکی و سختی را شامل میشوند . نسبت کربن و کرم این آلیاژها سبب میگردد که فاز آوستنیت در حین سردشدن از درجه حرارتهای بالا به مارتنزیت سخت بابیش از ۶۲ راکول C سختی و بیش از ۲۸۵۰۰۰ پوند برا ینچ مربع مقاومت کششی تبدیل شود . این آلیاژها در همه ء حالات مغناطیسی هستند و درمواردی که مقاومت به سایش زیادی لازم باشد نظیر توربینهای بخاروگاز ، انواع قیچی‌های صنعتی و تیغه های برش بکار میروند . مقاومت به خوردگی آلیاژهای زنگ نزن

جدول [۷] : ترکیب شیمیائی فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی

AISI	(%)		
403	۰/۱۵	۱۱/۵-۱۳/۰	۰/۵ Si
410	۰/۱۵	۱۱/۵-۱۳/۵	-
414	۰/۱۵	۱۱/۵-۱۳/۵	۱/۲۵-۲/۵ Ni
416	۰/۱۵	۱۲/۰-۱۴/۰	۱/۲۵ Mn, ۰/۱۵S(حداقل) ۰/۰۶ Mo (opt)
416Se	۰/۱۵	۱۲/۰-۱۴/۰	۱/۲۵ Mn, ۰/۰۶۰ P, ۰/۱۵ Se (حداقل)
420	۰/۱۵(حداقل)	۱۲/۰-۱۴/۰	-
431	۰/۲۰	۱۵/۰-۱۷/۰	۱/۲۵-۲/۵ Ni
440A	۰/۶۰ - ۰/۷۵	۱۶/۰-۱۸/۰	۰/۷۵ Mo
440B	۰/۷۵ - ۰/۹۵	۱۶/۰-۱۸/۰	۰/۷۵ Mo
440C	۰/۹۵ - ۱/۲۰	۱۶/۰-۱۸/۰	۰/۷۵ Mo

مارتنزیتی بخوبی آلیاژهای فریتی یا آوستنیتی نیست و قابلیت شکل‌پذیری کم و جوش پذیری متوسطی دارند و برای ممانعت از ترک برداشتن معمولا" لازم است که آنیل شوند اما این آلیاژها را نباید برای مدت طولانی درحالت آنیل شده نگاه داشت زیرا دچار کاهش کرم و خوردگی می شوند .

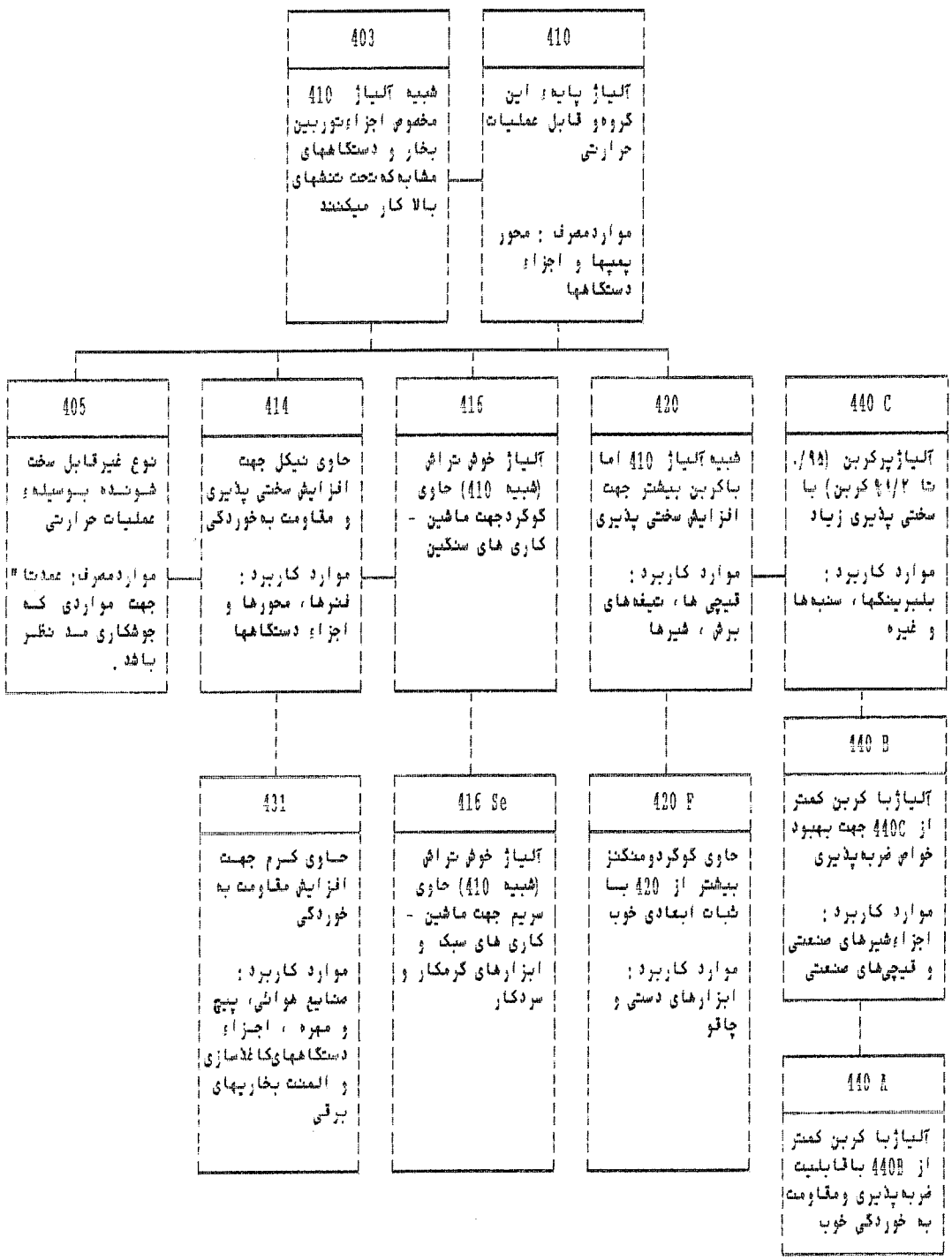
حرارت دادن تا دمای سخت کاری HARDENING (بالاتر از خط بحرانی AC1) کاربایدهای کرم را حل کرده و سردکردن سریع QUENCHING مانع ازترکیب مجدد کرم با کربن میشود . ملاحظه می گردد که با سخت کاری میتوان به حداکثر استحکام و مقاومت به خوردگی دست یافت .

جدول [۸] : خواص مکانیکی فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی

طبقه بندی	(آنیل شده) دمای معمولی				حداکثر دمای بهره برداری در هوا (فارنهایت)	
AISI	مقاومت کششی (1000 SPI)	تنش 0.2% تسلیم (1000 PSI)	ازدیاد طول 2in. (%)	سختی راکول	مداوم	موقتی
403	۷۵	۴۰	۳۵	۸۳	۱۳۰۰	۱۴۵۰
410	۷۵	۴۰	۳۵	۸۳	۱۳۰۰	۱۴۵۰
414	۱۱۵	۹۰	۲۰	۹۷	۱۳۰۰	۱۴۵۰
416	-	-	-	-	-	-
416 Se	۷۵	۴۰	۳۰	۸۳	۱۲۵۰	۱۴۰۰
420	۹۵	۵۰	۲۵	۹۳	۱۲۰۰	۱۴۰۰
431	۱۲۵	۹۵	۲۰	۲۴(Rc)	۱۵۰۰	۱۶۰۰
440 A	۱۰۵	۶۰	۲۰	۹۵	۱۴۰۰	۱۵۰۰
440 B	۱۰۷	۶۲	۱۸	۹۶	۱۴۰۰	۱۵۰۰
440 c	۱۱۰	۶۵	۱۴	۹۷	۱۴۰۰	۱۵۰۰

تاکنون ۱۱ نوع فولاد زنگنزن مارتنزیتی توسط AISI طبقه‌بندی شده اند. آلیاژ پایهٔ این گروه نوع 410 میباشد در شکل شماره [۹] خواص اساسی آلیاژهای زنگ نزن مارتنزیتی با آلیاژ پایهٔ این گروه مقایسه شده است.

جدول [۹] : مختصات اساسی آلیاژهای مارتنزیتی



جوشکاری فولادهای زنگ نزن

درجوشکاری فولادهای زنگ نزن توجه به ترکیب شیمیائی این فولادها عموما" مهمتر از خواص مکانیکی آنهاست . با توجه به احتمال ترکیب کرم با اکسیژن و کربن در دمای زیاد جوشکاری در انتخاب فرآیند مناسب میبایستی دقت کرد . علیرغم وجود دستگاههای خودکار ونیمه خودکار اکثر عملیات جوشکاری روی فولادهای زنگ نزن به روش جوشکاری الکترود دستی M.M.A.W انجام میگیرد . بمهین دلیل الکترودهای روپوش دار فولاد زنگ نزن درمحدوده ء گسترده و با آلیاژهای متنوعی به بازار عرضه شده اند .

جوش پذیری فولادهای زنگ نزن آوستنیتی

فولادهای زنگ نزن آوستنیتی بهترین قابلیت جوشکاری را بین آلیاژهای زنگ نزن دارا هستند . اما حتی این فولادها نیز محدودیتهائی دارند که در عملیات جوشکاری باید به آنها توجه لازم را اعمال کرد . این آلیاژها دارای ضریب انبساط حرارتی زیادی هستند (بیش از ۵۰% بالاتر از فولاد کربنی یا زنگ نزنهای سری 400) که مستلزم حداکثر دقت جهت بحداقل رساندن پیچیدگی وتغییر شکل درسازه های جوش شده است . بعضی ازفولادهای زنگ نزن آوستنیتی در دماهای بالا مستعد تشکیل فاز زیگما هستند و در اثر ایجاد فاز مذکور احتمال ترکیدگی و خوردگی افزایش می یابد . در برخی از آلیاژهای آوستنیتی با ترکیبات متوسط، جوشکاری میتوانند سبب حل شدن کاربایدها گردد واین امرمقاومت به خوردگی را بهبود میبخشد .

فاز زیگما و فریت FERITE AND SIGMA PHASE

یکی از محدودیتهای فولادهای زنگ نزن آوستنیتی حساسیت آنها به ترک گرم بعد از جوشکاری است (که گاهی اوقات ترکهای موئی نامیده میشود) . این مشکل را میتوان با انتخاب الکترودهایی که حاوی حداقل فریت باشند

برطرف کرد . فقط الکترودهایی توصیه می‌شوند که حداکثر دارای ۳ الی ۱۰% فریت باشند . مقدار فریت جوش بر اساس ترکیب شیمیایی و کرم و نیکل معادل با استفاده از دیاگرام شفلر قابل محاسبه وتخمین است [شکل ۱۰] . وچون فریت خاصیت مغناطیسی دارد به آسانی از بقیه فلز جوش غیر مغناطیسی قابل تشخیص است .

فاز زیگما یک ساختار کریستالوگرافی است که در فریتهای با کرم زیاد (بیش از ۳۰%) در دماهای بالا در قسمتهای فریتی آلیاژهای آوستنیتی غیرهمگن و بندرت در نواحی آوستنیتی به آهستگی شکل میگیرد . فاز زیگما سبب افزایش سختی شده اما انعطاف پذیری ، مقاومت به ضربه و مقاومت به خوردگی را کاهش میدهد . چون این فاز در دمای بین ۵۳۸ تا

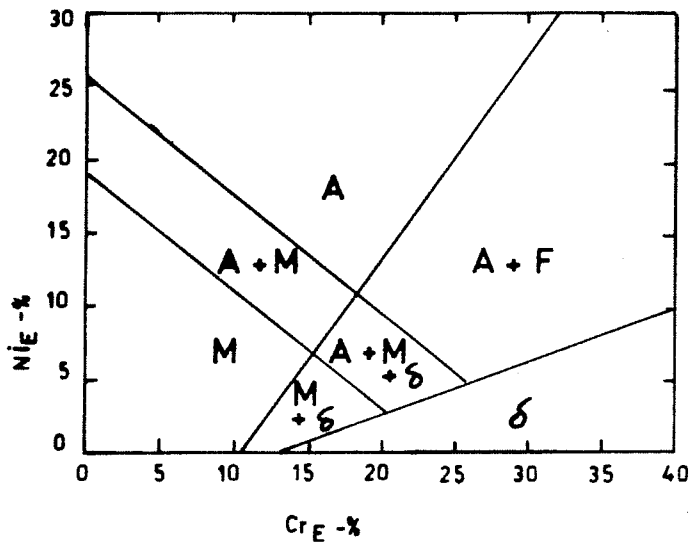
[۱۰] : دیاگرام شفلر

رابطه (۱)

$$\text{کرم معادل} = (\%C) + 2(\%Si) + 1.5(\%Mo) + 5(\%V) + 5.5(\%AL) + 1.5(\%Nb) + 1.5(\%Ti) + 0.75(\%W)$$

رابطه (۲)

$$\text{نیکل معادل} = (\%Ni) + (\%Co) + 0.5(\%Mn) + 0.3(\%Cu) + 25(\%N) + 30(\%C)$$



برطرف کرد. فقط الکترودهایی توصیه می‌شوند که حداکثر دارای ۳ الی ۱۰% فریت باشند. مقدار فریت جوش بر اساس ترکیب شیمیایی و کرم و نیکل معادل با استفاده از دیاگرام شفلر قابل محاسبه وتخمین است [شکل ۱۰]. وچون فریت خاصیت مغناطیسی دارد به آسانی از بقیه فلز جوش غیر مغناطیسی قابل تشخیص است.

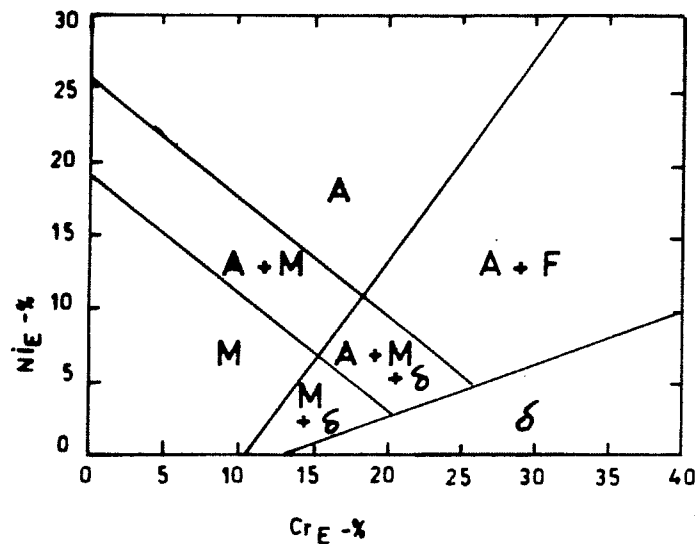
فاز زیگما یک ساختار کریستالوگرافی است که در فریتهای با کرم زیاد (بیش از ۳۰%) در دماهای بالا در قسمتهای فریتی آلیاژهای آوستنیتی غیرهمگن و بندرت در نواحی آوستنیتی به آهستگی شکل میگیرد. فاز زیگما سبب افزایش سختی شده اما انعطاف پذیری، مقاومت به ضربه و مقاومت به خوردگی را کاهش میدهد. چون این فاز در دمای بین ۵۳۸ تا

[۱۰] : دیاگرام شفلر

رابطه

$$\text{کرم معادل} = (\%C) + 2(\%Si) + 1.5(\%Mo) + 5(\%V) + 5.5(\%AL) + 1.5(\%Nb) + 1.5(\%Ti) + 0.75(\%W)$$

$$\text{نیکل معادل} = (\%Ni) + (\%Co) + 0.5(\%Mn) + 0.3(\%Cu) + 25(\%N) + 30(\%C)$$



۸۷۱ درجه سانتی گراد به آهستگی گسترش می یابد. برای فولادهای آوستنیتی که مدت طولانی در درجه حرارتهای زیاد کار کنند، مشکل مهمی محسوب میگردد. درحالت عادی فاز مذکور نمی‌تواند در حین جوشکاری یا عملیات حرارتی ایجاد شود. این فاز را میتوان باحرارت دادن فولاد تا حدود ۹۰۰ درجه حل نمود.

رسوب و جدایش کاربابد CARBIDE PRECIPITATION

هرچند با فولادهای کرم - نیکل (آوستنیتی) امکان دستیابی به جوشهایی باخواص مکانیکی مطلوب وجود دارد، اما گاهی اوقات بالا رفتن دمای این فولادها در حین جوشکاری میتوانند خوردگی بین دانه‌ای را تسریع کنند. وقتیکه فولادهای آوستنیتی در حدود ۴۳۰ تا ۷۶۰ درجه سانتی گراد گرم شده یا در این محدوده (محدوده درجه حرارت حساس) به آهستگی سرد شوند، کربن ازمحلول جامد رسوب کرده (عمدتا" درمرز دانه‌ها) و بواسطهٔ میل ترکیبی زیاد با کرم تشکیل کارباید کرم میدهد. این کاربایدها گاهی شامل بیش از ۹۰% کرم هستند که عمدتا" آنرا از ناحیهٔ مجاورمرزدانه‌ها میگیرند. درنتیجه میزان کرم مرزدانه‌ها کاهش یافته ومقاومت به‌خوردگی فلز در این نواحی بشدت ضعیف میگردد. این پدیده به "جدایش کاربابد" موسوم بوده و نوعی از خوردگی که در این حالت تسریع میشود "خوردگی بین دانه‌ای" نام دارد. فولادهای زنگ نزن باکرم‌حدود ۱۸% و بیشترنسبت به رسوب و جدایش کاربابد حساس هستند. شرایط حرارتی مساعد جهت رسوب و جدایش کاربابد، میتوانددرحین جوشکاری (بخصوص درجوشهای حجیم، چند پاسه و متقاطع) هم پدید آید.

روشهای ممانعت از رسوب و جدایش کاربابد

الف) روش حرارتی

روشهای چندی جهت جلوگیری از رسوب و جدایش کاربابد درفولادهای زنگ نزن آوستنیتی وجوددارد. یکی ازاین روشهاحرارت دادن سازهٔ

جوش شده حدود ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد جهت حل شدن کاربایدها وسپس سرد کردن سریع آن QUENCHING درمحدوده‌ء حرارتی ۷۶۰ تا ۴۳۰ درجه‌ء سانتی‌گراد است . به این ترتیب ابتدا کاربایدهای رسوبی حل شده (کربن در ساختار آوستنیتی جذب و کرم در مرزدانه‌ها احیا میگردد) و پس از آن بعلت سرد شدن سریع در محدوده‌ءحساس حرارتی، کاربایدفرصت تشکیل مجدد رانخواهدداشت . تنها محدودیت این روش احتمال پیچیدگی درسازه‌های جوش شده بخصوص سازه‌های بزرگ میباشد .

ب) استفاده از خواص فولادهای زنگ نزن کم کربن

طریق دیگر پیشگیری از رسوب کاربابد ، استفاده از فولادها و الکترودهای زنگ نزن فوق العاده کم کربن است که با کاهش میزان کربن ، شرایط تشکیل کاربابد حذف میگردد . فولادهای زنگ نزن آوستنیتی 8-18 کربن محلول در فاز جامد را در همه‌ء حالات در حد ۰/۰۲% ثابت نگاه میدارند . اگر میزان کربن ازحدود ۰/۰۸% تجاوز کند ، کاربابد به آهستگی رسوب خواهد کرد . بالاتر از میزان فوق در صورتیکه فلز در محدوده‌ء حساس حرارتی قرار داشته باشد رسوب کاربابد به سرعت انجام میگیرد . قیمت پلیت ها و الکترودهای زنگ نزن فوق العاده کم کربن کمی بیش از انواع عادی است اما باتوجه به نتیجه بسیار خوب آنها بخصوص وقتیکه از جوش در حالت ناتابیده AS-WELD استفاده شود ، این اختلاف قیمت میارزد . اگرچه در این حالت نسبت به روش حرارتی مقدار کمی کاربابد وجودخواهد داشت اما چندان زیان‌آور نخواهد بود . بعنوان یک نتیجه‌ء کلی میتوان گفت ، در شرایطی که درجه‌ء حرارت بالا (ناشی از جوشکاری یا بهره‌برداری) و خوردگی تواءما وجود داشته باشند ، باید از الکترودها وفلزاتی‌استفاده کردکه ساختارمتالورژیکی پایداری‌دارند .

فولادهای پایـــدار

فولادهایی که با قرار گرفتن در محدوده ء درجه حرارت حساس در ساختـار متالورژیکی‌شان کاربایـد کرم به آسانی شکل میگیرد فولادهای غیرپایدار نامیده شده اند (مثل فولادهای AISI از نـوع 301 , 302, 302 B, 304, 309 و غیره) از آنجائیکه رسوب و جدایش کاربایـد در درجـه اول بستگی به مقدار کربن این فولادها دارد انـواع 304 و 308 بهترین فولادهای گروه 8-18 جهت جوشکاری هستند. حداکثر مقدار کربن این فولادها ۰.۸% و دیگر انواع حدود ۰.۱۵% میباشد. اگر فولادهای 308 و 304 بصورت تک پاس جوشکاری شوند زمان عبوراز دمای بین ۷۶۰ تا ۴۳۰ درجه‌کوتاه بوده و فقط مقدار بسیار کمی کاربایـد میتواند رسوب نمایـد درنتیجه خوردگی خوردگی بین دانه ای دراین آلیاژها اتفاق نخواهد افتاد (مشروط به اینکه درجه حرارت بهره‌برداری سازه ء جوش شده در محدوده ء حساس نباشد). اگر ضخامت فولاد در حدی باشد که جوشکاری بصورت چند پاسه انجام شود یادر صورتیکه سازه ء جوش شده دردمای بین ۴۳۰ تا ۷۶۰ درجه کارکنند (عموما" دمای ۶۵۰ درجه سانتی گراد نقطه بحرانی این محدوده است)احتمال رسوب و جدایش کاربایـد حتی در انـواع 304 و 308 نـیز بالا خواهد بود. در سازه‌هائیکه در شرایط خورنده مورد بهره‌برداری قرارمیگیرند نیزامکان ایجاد خوردگی بین دانه ای وجود دارد.

اگردمای سازه‌درحین بهره‌برداری به‌محدوده ء حرارت بحرانی برسد یافولاد در شرایط سخت بهره‌برداری کار کند، متداول‌ترین راه جهت جلوگیری از رسوب کاربایـد استفاده ازفولادهای زنگنزن حاوی کلمبیوم‌یا تیتانیوم است. میل ترکیبی‌این عناصرباکربن بیشترازکرم‌بوده‌ودردرجه ء اول کاربایدهای تیتانیوم یا کلمبیوم تشکیل میشود در نتیجه کرم آزاد خواهند ماند و مقاومت به خوردگی تضعیف نمی گردد.

فولادهای زنگ نزن حاوی عناصرفوق به‌فولادهای پایدارموسوم هستند. آنها در دمـاهای بالا بـه خوردگی بین دانه ای حسـاس نیستند و میتوانند در محدوده ء حساس حرارتی بدون آنکه مقاومت به‌خوردگی شان تضعیف شودمورد

استفاده قرار گیرند. برای بدست آوردن بهترین نتیجه بایستی فولادهای پایدار را با الکترودهائی که خواص مشابه دارند جوشکاری کرد. چون انتقال کلمبیوم بوسیله قوس الکتریکی آسان تر از تیتانیوم میباشد الکترودهای پایدار عموما" حاوی کلمبیوم هستند.

جوش پذیری فولادهای فریتی

ساختار متالوژیکی این فولادها فریتی است، فولادهای زنگ نزن فریتی مغناطیسی بوده وقابلیت سخت شوندگی بوسیله عملیات حرارتی را ندارند. آنها در مواردی که مقاومت به خوردگی نسبتا" خوب با قیمت کم و امکان جوشکاری محدود مورد نظر باشد نظیر سوپاپهای اتومبیل ودیگر دستگاههای صنعتی بکار میروند. درجه حرارت جوشکاری سبب رشد دانه‌ها و تردی این فولادها میشود، بنابراین اگر جوشکاری فولادهای فریتی اجتناب ناپذیر باشد می بایستی از الکترودهای با پایه کرم STRAIGHT CHROMIUM TYPE مندرج در جدول شماره [۱۱] استفاده شود.

جدول [۱۱] : الکترودها ومفتولهای جوشکاری فولادهای زنگ نزن

نوع فولاد		شرایط بهره‌برداری	الکترود روپوشدار	مفتولها و سیم‌جوشها
ریختگی	کارشده			
CF-۸ CF-۲۰	201 202 301 302 204 305 308	بدون عملیات حرارتی یا آنیل شده	E 308	ER 308
	302 B	بدون عملیات حرارتی	E 309, E 310	ER 309
	303 303 Se	بدون عملیات حرارتی یا آنیل شده	E 312, E 309	ER 314
CF-۳	304 L	بدون عملیات حرارتی	E 308 L, E 347	ER 308 L, ER 347

ادامه جدول [۱۱]

نوع فولاد		شرایط بهره‌برداری	الکترود روپوشدار	مفتولها و سیم‌جوشها
کارشده	ریختگی			
308 L		بدون عملیات حرارتی	E 308 L	ER 308 L
309	CH-۲۰	بدون عملیات حرارتی	E 309	ER 309
309 S			E 309, E 309 Cb	ER 309
310	CK-۲۰	بدون عملیات حرارتی	E 310	ER 310
310 S		بدون عملیات حرارتی	E 310, E 310 Cb	ER 310
316	CF-۸M CF-۱۲M	بدون عملیات حرارتی یا آنیل شده	E 316, E 309 Cbt	ER 316
316 L	CF-۳M	بدون عملیات حرارتی یا تنش‌زدائی شده	E 316 L, E 309 Cbt	ER 316 L
317	CG-۸M	بدون عملیات حرارتی یا تنش‌زدائی شده	E 317 t	ER 317
321 321 H		بدون عملیات حرارتی	E 347	ER 321, ER 347
347 347 H 348 348 H		بدون عملیات حرارتی	E 347	ER 347
403 410		آنیل شده یا سخت‌شده بدون عملیات حرارتی	E 410 E 308, E 309, E 310	ER 410 ER308, ER309, ER310
405		آنیل شده یا بدون عملیات حرارتی	E 430 E 308, E 309, E 310	ER 430 ER308 ,ER309 ,ER 310
420		آنیل شده یا سخت‌شده بدون عملیات حرارتی	E 420 E 308, E 309, E 310	ER 420 ER308, ER309 ,ER310
430		آنیل شده بدون عملیات حرارتی	E 430 E 308, E 309, E 310	ER 430 ER308, ER309, ER310
430 Ti		بدون عملیات حرارتی	E 430	430 Ti . ER 430
431		آنیل شده یا سخت‌شده بدون عملیات حرارتی	431 E 308, E 309, E 310	431 ER308, ER309,ER310
442		آنیل شده بدون عملیات حرارتی	442 E 308, E 309, E 310	442 ER308, ER309, ER310
446		آنیل شده بدون عملیات حرارتی	446 E 308, E 309, E 310	446 ER308, ER309, ER310

جوش پذیری فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی

ساختار متالورژیکی این فولادها مارتنزیتی است وخاصیت مغناطیسی دارند و بسته به نوع عملیات حرارتی در محدوده وسیعی ازخواص مکانیکی قرار میگیرند. بعضی از این فولادها در برابر پوسته شدن در دماهای بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتی گراد مقاومت خوبی دارند و از آنها در شرایطی که سختی یا استحکام بالا همراه با مقاومت به خوردگی مد نظر باشد نظیر تیغ های ریش تراشی، ابزارهای برنده، دستگاهها و لوازم جراحی وغیره استفاده میشود. سردشدن سریع پس ازجوشکاری سبب بالارفتن سختی وایجاد تردی در نواحی اطراف جوش شده وتمایل به ترک برداشتن افزایش می‌یابد.

جهت کاهش احتمال ترکیدگی این فولادهابخصوص فولادهای حاوی بیش از ۰/۱% کربن و ضخامت بیشتر از ۳ میلی متر پیش گرمایش قبل ازجوشکاری ضروری است. زمانیکه سازه‌های جوش شده مارتنزیتی جهت بهبود خواص مکانیکی تحت عملیات حرارتی قرار گیرند، جوشکاری با الکترودهای باپایهٔ کرم STRGHT CHROMIUM TYPE که‌در جدول شماره [۱۱] ذکرشده الزامی است.

انتخاب الکترود در شرایطی که از عملیات حرارتی استفاده نشود

در صورتیکه از فولادهای زنگ نزن فریتی و مارتنزیتی در حالت جوش ناتابیده AS-WELD استفاده گردد، باید با الکترودهای آوستنیتی نظیر E 308, E 309, E 310 که در مقابل ترک برداشتن و ضربه مقاوم ترند جوشکاری شوند. اما در انتخاب الکترودهای مذکوراختلاف درضریب انبساط حرارتی، اختلاف رنگ و دیگر خواص مکانیکی میبایستی مورد توجه و دقت قرار گیرد.

پیش گرمایش و پس گرمایش

فولادهای زنگ نزن آوستنیتی بدون پیش گرمایش بهتر جوش میشوند و استفاده از پیش‌گرمایش بجز مواقعی که کاهش تنشهای انقباضی در فولادهای ضخیم یا در جوشهای با درجه مهار بالا HIGHLY RESTRAINED مدنظر باشد، اثرات مثبتی ندارد.

عدم استفاده از پیش گرمایش، پائین نگه داشتن دمای قطعه درحین جوشکاری و اجتناب از حرکات زیگزاکی الکترود زمان ماندن دردرجه حرارت بحرانی (۴۳۰ تا ۶۷۰ درجه سانتی‌گراد) را کاهش میدهد ودرنتیجه رسوب و جدایش کاربید به حداقل میرسد. فولادهای زنگ نزن آوستنیتی باستثناء زمانی که عملیات حرارتی آنلینگ جهت حل کردن کاربیدهای کرم ضروری باشد، نیازی به پس گرمایش بعد از جوشکاری ندارند.

اگرچه جوش پذیری فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی بخوبی انواع آوستنیتی نیست اما قابلیت جوشکاری دارند. پیش گرمایش این فولادها اغلب ضروری است چون در حالت جوش ناتابیده AS-WELD ناحیه تحت تاثیر حرارت آنها از مارتنزیت سخت تشکیل شده که ترد و شکننده میباشد. بعنوان یک قاعده کلی در فولادهای تا ۰/۱% کربن نیازی به پیش گرمایش و پس‌گرمایش نیست. در فولادهای با کربن در حدود ۰/۱ تا ۰/۲% پیش گرمایش معادل ۲۶۰درجه سانتی گراد و با کربن بیش از ۰/۲% پیش گرمایش ۲۶۰ درجه و آنیل بعد از جوشکاری لازم است.

در صورت نیاز به عملیات سخت کاری و بازپخت TEMPERING این امر باید بلافاصله بعداز جوشکاری انجام‌گیرد. گاهی کاهش سختی میتوانند با حرارت دادن در حدود ۶۵۰ تا ۷۵۰ و سپس سردکردن درهوا بدست آید. برای آنیل کامل، قطعه کار بایستی درحدود ۸۱۰ تا ۸۷۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده و تا ۶۰۰ درجه در کوره و پس از آن در هوا سرد گردد.

جوش پذیری فولادهای زنگ نزن فریتی ضعیف تر ازدیگر انواع میباشد. حرارت ناشی‌ازجوشکاری درنواحی‌تحت تاثیرحرارت سبب دانه‌درشت شدن‌فریت میشود. این‌فریت ها انعطاف پذیری و ضربه خوری پائینی دارند و با مقدار کمی

مارتنزیت که احتمال تشکیل آن وجود دارد سختی را بمیزان قابل توجهی افزایش میدهند. گرچه با استفاده از پس گرمایش سختی کاهش می یابد اما در هر حال خواص دانه‌های درشت فریت مطلوب نخواهد بود.

پیش گرمایش فولادهای فریتی تنهشای انقباضی را کاهش داده و از ترک برداشتن جلوگیری میکنند. فولادهای نازک نیازی به پیش گرمایش ندارندو پیش گرمایش قطعات ضخیم‌تر از ۶ میلی متر یا بیشتر باید باتوجه به ضخامت و درجه مهار RESTRAIND درز اتصال صورت گیرد.

درحین جوشکاری فولادهای زنگ نزن خوشتراش بعلت وجود عناصری نظیر فسفر، گوگرد و غیره احتمال ایجاد حفره‌های گازی و جدایش ناخالصی ها بسیار زیاد است. این مشکل را میتوان با انتخاب الکترود مناسب و استفاده از الکترودهائی که بخوبی خشک شده و فاقد رطوبت باشند برطرف کرد.

فولادهای زنگ نزن سختی پذیر رسوبی
PRECIPITATION-HARDNING STAINLESS STEELS

سه دسته از فولادهای زنگ نزن سختی‌پذیر رسوبی باترکیبی ازخواص مطلوب عرضه‌شده اند که دردیگر آلیاژها وجود ندارد و تعدادی از این فولادها که به آلیاژهای پیر سخت شونده AGE-HARDENING موسوم هستند کلیه این خواص نظیر خواص مکانیکی خوب، مقاومت به خوردگی و قابلیت کارپذیری عالی را با هم دارا هستند.

این گروه در مواردی که استحکام بالا (از ۱۲۵۰۰۰ تا حدود ۳۰۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع بادرنظر گرفتن نوع عملیات حرارتی)، مقاومت به ضربه، مقاومت به خوردگی (مقاومت به خوردگی این فولادها مشابه آلیاژهای 302 و 304 میباشد) و مقاومت به اکسیده شدن در درجه حرارتهای زیاد مورد نیاز باشد، بکارمیروند و در زمره فولادهای کارپذیر استحکام بالا قرار دارند. سخت کاری رسوبی PRECIPITATION HARDENING یکی‌از روشهای اصلی در جهت افزایش استحکام و سختی یک آلیاژ است.

سخت کاری رسوبی معمولا" طی سه مرحله عملیات حرارتی انجام میشود که عبارتند از :

- گرم‌کردن بمنظور حل کردن ویکنواخت کردن فازها SOLUTION TREATMENT
- سردکردن سریع RAPID COOLING
- حرارت دادن مجدد کنترل‌شده (پیرسختی) CONTROLLED REHEATING (AGING)

اولین مرحله (عملیات حرارتی محلولی) عبارت است از حل کردن ترکیبات واجزائی که در درجه‌حرارت معمولی نامحلول هستند . این‌مکانیسم را میتوان با قابلیت حلالیت بیشتر نکمها در آب گرم نسبت به آب سرد مقایسه کرد . مرحله دوم (سردکردن سریع) سبب میشود که فازهای حل شده فرصت تجزیه نداشته و بصورت محلول در دمای معمولی باقی بمانند . این حالت گاهی محلول جامد فوق اشباع SUPER STAURATED SOLID SOLUTION نیز نامیده میشود . سومین مرحله عبارت است از حرارت دادن فلز جوش فوق اشباع تا درجه حرارت پیرسختی نسبتا" پائین (حدود ۵۰۰ درجه سانتی گراد) برای حدود یکساعت . مجموع مراحل فوق سبب رسوب یکنواخت ذرات میکروسکوپی عناصر یا ترکیبات ویژه در ساختار فلز میشود و سختی و استحکام را افزایش میدهد .

سه گروه فولادهای زنگ نزن سختی پذیر رسوبی عبارتند از : مارتنزیتی ، آوستنیتی و نیمه آوستنیتی ترکیب شیمیائی این آلیاژها درجدول‌شماره [۱۲] و خواص و کاربرد آنها در جدول شماره [۱۳] آمده است .

گروههای نیمه آوستنیتی معمولا" در ساخت ورقهای نازک بکارمیروند زیرا ساختار آوستنیتی (قبل‌از سخت کاری) آنها فرم‌پذیری خوبی را داراست . گروههای آوستنیتی و مارتنزیتی غالبا" جهت تولید شمش و ورقهای ضخیم استفاده میگردند . اما باید درنظر داشت که این جداسازیها مرز مشخص و روشنی نداشته و هرسه گروه برای تولید فرمهای دیگر نیز مورد استفاده قرار میگیرند .

جدول [۱۲] : ترکیب شیمیائی آلیاژهای زنگ نزن سختی‌پذیر رسوبی

آلیاژ	ترکیب شیمیائی (%)							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Al	Mo	Other
	نیمه آوستنیتی							
17 - 7 PH	۰/۰۹ (حداکثر)	۱/۰ (حداکثر)	۱/۰ (حداکثر)	۱۶/۰-۱۸/۰	۶/۵-۷/۷۵	۰/۷۵-۱/۵۰	-	-
PH15 - 7Mo	۰/۰۹ (حداکثر)	۱/۰ (حداکثر)	۱/۰ (حداکثر)	۱۴/۰-۱۶/۰	۶/۵-۷/۷۵	۰/۷۵-۱/۵۰	۲/۰ -۳/۰	-
AM - 350	۰/۱۲ (حداکثر)	۰/۹۰ (حداکثر)	۰/۵۰ (حداکثر)	۱۶/۰-۱۷/۰	۴/۰-۵/۰	-	۲/۵ -۳/۲۵	۰/۱۰ N
AM - 355	۰/۱۵ (حداکثر)	۰/۹۵ (حداکثر)	۰/۵۰ (حداکثر)	۱۵/۰-۱۶/۰	۴/۰-۵/۰	-	۲/۵ -۳/۲۵	۰/۱۰ N
PH14- Mo *	۰/۰۴	-	-	۱۴/۰	۸/۰	۱/۲	۲/۳	-
	مارتنزیتی							
W زنگ نزن	۰/۱۲ (حداکثر)	۱/۰ (حداکثر)	۱/۰ (حداکثر)	۱۶/۰-۱۸/۰	۶/۰-۸/۰	۱/۰ (حداکثر)	-	۱/۰ Ti (حداکثر) ، ۰/۲ N (حداکثر)
17 - 4 PH	۰/۰۷ (حداکثر)	۱/۰ (حداکثر)	۱/۰ (حداکثر)	۱۵/۵-۱۷/۵	۳/۰-۵/۰	-	-	۳/۰-۰/۵ CU , ۰/۱۵-۰/۴۵ Cb
15 - 5 PH	۰/۰۷ (حداکثر)	۱/۰ (حداکثر)	۱/۰ (حداکثر)	۱۴/۰-۱۵/۵	۳/۵-۵/۵	-	-	۲/۵-۵/۵ CU , ۰/۱۵-۰/۴۵ Cb
414 Ti	۰/۰۸ (حداکثر)	۱/۰ (حداکثر)	۰/۷۵ (حداکثر)	۱۰/۵-۱۲/۵	۱/۵-۳/۵	-	-	۰/۷۵ Ti (حداکثر)
Almar 363	۰/۰۵ (حداکثر)	۰/۲ (حداکثر)	۰/۱۵ (حداکثر)	۱۱/۰-۱۲/۰	۴/۰-۵/۰	-	-	۱۰x C Ti (حداقل)
PH13- 8M0 *	۰/۰۳	-	-	۱۲/۵	۸/۰	۱/۱	۲/۲	-
AM - 362 *	۰/۰۳	-	-	۱۴/۵	۶/۵	-	-	۰/۸ Ti
Custom 455*	۰/۰۳	-	-	۱۲/۰	۸/۵	-	-	۰/۴ Cb-Ta, ۱/Ti , ۲/۰ Cu
	آوستنیتی							
A 286	۰/۰۳ (حداکثر)	۱/۰ - ۲/۰	۰/۴۰ - ۱/۰۰	۱۳/۵-۱۶/۰	۲۴/۰-۲۸/۵	۰/۳۵ (حداکثر)	-	۱/۰-۱/۵ Ti , ۰/۱۰-۰/۵۰ V
17 0 10 P	۰/۱۰ - ۰/۱۴	۰/۵۰- ۱/۰۰	۰/۶۰ (حداقل)	۱۶/۵-۱۷/۵	۹/۷۵-۱۰/۷۵	-	-	۰/۲۵-۰/۳۰ P
HNM	۰/۸۰	۳/۵۰	۰/۵۰	۱۸/۵۰	۹/۵۰	-	-	۰/۲۵ P

جدول [۱۳] : مشخصات و کاربرد آلیاژهای سختی‌پذیر رسوبی

کاربرد	مشخصات
اجزاء شیرهای صنعتی، چرخ و دنده‌ها ، محورها و میله‌ء منتقل کننده چرخ زنجیر دستگاههای راهسازی	مارتنزیتی : مقاومت به خوردگی بالاتر از زنگ‌نزن مارتنزیتی داشته‌ودرکلیه حالات مغناطیسی است . نیازی به‌پیش‌گرمایش وپس‌گرمایش جهت جوشکاری ندارد .
چرخهای توربین، بدنه موتورهای جت‌وتیغه‌های بـــوش	آوستنیتی : مقاومت به خوردگی این گروه از اغلب آلیاژهای زنگ‌نزن بالاتر است . دماهای زیاد بالاتر از ۶۰۰ درجه مقاومت به ضربه‌ء عالی دارد . غیرمغناطیس‌بوده و در حالت آنیل شده بارعایت ملاحظاتی قابل جوشکاری است .
بدنه‌ء هواپیما ، مخازن تحت‌فشار ، زنجیر - نقاله و اجزاء دستگاههای تحت‌ضربه	نیمه آوستنیتی : مقاومت‌خوردگی بالاتر از زنگ‌نزن مارتنزیتی دارد . در حالت‌سخت‌شده ساختار مارتنزیتی و درحالت آنیل شده ساختار آوستنیتی دارد . نیاز به عملیات حرارتی جهت‌جوشکاری ندارد .

گروه نیمه آوستنیتی

ساختار میکروسکوپی گروه‌های نیمه آوستنیتی در حالت عملیات محلولی SOLUTION HEAT TRENTMENT تحت تاثیر ترکیب شیمیائی آنها قرار دارد . ساختار آوستنیتی نرم اجازه میدهد که روشهای مرسوم و قابل استفاده درشکل دادن فولادهای 8-18در اینجانیز بکارگرفته شوند . چون این فولادها قابلیت کارسختی بالائی دارند در فرم‌دهی پیچیده یا کششهای عمیق ممکن است که نرم کردن متوسطی لازم گردد . ساختار آوستنیتی بوسیله‌ء عملیات حرارتی قابل تبدیل به مارتنزیت بوده‌و حداکثر مقاومت پس از پیرسختی بدست می‌آید .

جوش پذیری فولادهای نیمه آوستنیتی سخت شده رسوبی خوب می‌باشد و نیازی به پیش گرمایش و پس‌گرمایش جهت جوشکاری ندارند وبه آسانی با اکثر فرآیند - های جوش قوسی ومقاومتی قابل جوشکاری هستند . البته بمنظورکاهش میزان آلومینیوم جوش و غلبه بر سرخ‌شکنی HOT-SHORTNESS توصیه میگردد که از

روشهای جوشکاری در پناه گاز محافظ (MIG, TIG) در جوشهای تک پاسه استفاده شود. حرارت ناشی از جوشکاری سبب آنیلینگ و آوستنیتی شدن فلز مجاور جوش میشود. بنابراین بدون توجه به ساختار اصلی فولاد، ناحیه تحت تاثیر حرارت و فلز جوش در حالت ناتابیده AS-WELD هر دو ساختمان آوستینتی دارند. بهمین دلیل این فولادها را میتوان در هر حالتی بدون نیاز به حرارت دادن مجدد یا کنترل درجه حرارت بین پاسی یا سرعت سردشدن جوشکاری کرد. برای بدست آوردن حداکثر مقاومت در جوشهای ذوبی لازم است از الکترود یا مفتولهایی استفاده شود که ترکیب آنها شبیه فلز اصلی بوده و حداقل ۹۰ تا ۱۰۰% مقاومت آنرا دارا باشند.

گروه مارتنزیتی

این آلیاژها ساختار مارتنزیتی تمپرشده دارند که در حین سردشدن از درجه حرارت عملیات محلولی SOLUTION TREATMENT (۱۰۰۰ تا ۸۰۰ درجه ء سانتی گراد بسته به ترکیب آلیاژ) شکل میگیرد. این ساختار قابلیت ماشینکاری و شکل پذیری خوبی داردو پس از پیرسختی AGE HARDENING بین ۴۸۰ تا ۶۲۰ درجه ء سانتیگراد استحکام و سختی آن افزایش مییابد. جوش پذیری آلیاژهای مارتنزیتی سخت شده ء رسوبی عموما" عالی است و بواسطه ء کربن ناچیز درمقابل ترک برداشتن حساس نیستند. چون با افزایش کربن جوش خطر ترک برداشتن گرم شدت میگیرد درجوش فولاد مارتنزیتی به فولادهای کربنی یا کم آلیاژ بایستی دقت کرد که حداقل امتزاج دو فلز صورت گیرد.

استفاده از پیش گرمایش جهت ممانعت از ترک برداشتن یا افزایش سختی آلیاژهای مارتنزیتی پیرشونده ضروری نیست اما اجزاء ضخیم یا درزهای با درجه مهاربالا HIGHLY RESTRAINED JOINTS معمولا" برای بهبود چقرمگی و انعطاف پذیری قبل از جوشکاری در دمایی بالاتر از دمای پیرسختی حرارت داده میشوند.

سازه های تحت ضربات سنگین را از فولادهای PH 15-5 یا PH 13-8 Mo که ضربه پذیرترند میسازند. همانطورکه درکلیه فولادهای استحکام بالا باید از تنشهای پسمانند، شیارهای پرنشده و شکافهای موئی اجتناب کرد. در جوشکاری این فولادها نیز بدون در نظر گرفتن حد سمجی TUGHNESS کلیه ء شیارهای UNDERCUT موثر بایستی پرنیابرطرف شوند.

گروه آوستنیتی

ساختار آوستنیتی زنگ نزن های سخت شونده رسوبی در درجه حرارت معمولی پایدار میباشد. جوشکاری این آلیاژهای اغلب بسیار مشکل بوده و برای ایجاد یک جوش موفق و خوب لازم است که از فرآیند TIG استفاده شود و حداقل حرارت به فلز در حین جوشکاری منتقل گردد. جوشکاری بصورت چند پاسه (بدون حرکت جانبی الکترود و گرده ءملایم) وعملیات حرارتی محلولی پس از جوشکاری توصیه میگردد.

جوشکاری فولادهای با ۴ تا ۶% کرم

هرچندگاهی از اوقات فولادهای با ۴ تا ۶% کرم در گروه فولادهای زنگ - نزن طبقه بندی میشوند، امادر حقیقت آنها زنگ نزن نیستند. مقاومت به خوردگی این آلیاژها حدود ۴ تا ۱۰ برابر ومقاومت به اکسیداسیون آنها ۳ تا ۸ برابرفولادهای نرم معمولی است. این فولادها مقاومت بسیارخوبی دربرابراکسیدشدن و خوردگی توسط گوگرد دردمای حدود ۶۰۰ تا ۶۵۰ دارند و در خطوط انتقال نفت داغ و دیگر دستگاههای پالایشی که دردرجات بالا کارمیکنند نظیر مبدلهای حرارتی، شیرها و خطوط بخاراستفاده میشوند. نکته جالب در این آلیاژها قابلیت شدید سختی پذیری در هوا است که بستگی به نسبت کرم و کربن آنها دارد. این موضوع فلز جوش و ناحیه ء تحت تاثیر حرارت را مستعد سخت شدن میسازد مگر آنکه از پیش گرمایش قبل از جوش و آنیل جزیی یا تنش زدائی بعد از جوشکاری استفاده شود. معمولا" مقدار مولیبدن این آلیاژها در حدود ۰/۵% یا بالاتر است.

مولیبدن درکیفیت فیزیکی فولاد در درجه‌حرارت معمولی چندان موثر نیست اما طبق بعضی از آزمایشات استحکام و مقاومت به‌خوردگی را در دماهای بالا به میزان زیادی افزایش میدهد .

اگر بخاطر شرایط بهره‌برداری خواص یکسانی از جوش و فلز اصلی مورد نظر باشد بعنوان یک قاعده ء کلی میتوان از الکترودهای E 502-15 یا AWS: E 502-16 استفاده کرد . جوش حاصل ازاین الکترودهاحاوی تقریبا " ۴ تا ۶% کرم میباشد و پیش گرمایش یا پس گرمایش نیز ضروری است .

در صورتیکه استفاده از پیش گرمایش و پس گرمایش مد نظر نباشد و یا امکان آن وجود نداشته باشد ، الکترودهای E 309 یا AWS: E 310 توصیه میشوند . اگرچه دراینصورت ناحیه تحت تاثیر حرارت سخت وشکننده خواهد شد اما چون فلز جوش نسبتا " نرم و انعطاف پذیر است ، سازه ء جوش شده ضربه‌ها و تنشهای متوسط را تحمل خواهد کرد .

جهت استفاده از هر یک از الکترودهای ۴ تا ۶% کرم باید از جریان DC.EP (جریان یکنواخت الکترود مثبت) استفاده کرد و نظیر جوشکاری فولادهای زنگ نزن طول قوس را کوتاه‌نگهداشت . الکترودهای E 502 حاوی مولیبدن میتوانند برای جوشکاری هرنوع فولاد ۴ تا ۶% کرم بکار روند .