



بررسی خواص فولادهای زنگ نزن نسبت به سایر فولادهای ساختمانی

عماد آهانگر^{۱*}

۱ و * - نویسنده مسوول: دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نرم افزار سازه، گروه عمران، موسسه آموزش عالی مهندسان، مشهد
شرکت رادمان پژوهان جم، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، مرکز رشد شماره ۳
Emad_ahangar@yahoo.com

چکیده

فولادهای زنگ نزن به فولادهایی با مقدار عناصر آلیاژی بالا گفته می‌شود که توانایی مقاومت به خوردگی در اتمسفرهای خورنده و دماهای بالا را داشته باشند. همچنین اثبات شده است که فولاد های زنگ نزن دو فازی به دلیل مقاومت به خوردگی حفره ای و تنشی و همچنین استحکام بالا، کاربرد گسترده ای در صنایع دارند. در این مقاله ویژگی های کاربردی و تحقیقاتی فولادهای زنگ نزن و همچنین خواص کاربردی انواع آن ها به خصوص فولاد زنگ نزن دو فازی مورد بررسی قرار گرفته است. آزمون های پلاریزاسیون سیکی نشان داده اند که با افزایش دما از ۲۵ تا ۵۵ درجه سانتی گراد پتانسیل حفره دار شدن (Epit) و پتانسیل حفاظت (Eprot) در فولادهای زنگ نزن دوفازی کاهش می یابند.

واژگان کلیدی: فولاد زنگ نزن، فولادهای دوفازی، مقاومت به خوردگی، پتانسیل حفره دار شدن، پتانسیل حفاظت

To study of Properties of stainless steels than other structural steels

Abstract

Stainless steels with high alloy elements that having ability to resist corrosion in corrosive atmospheres and high temperatures. It has been demonstrated that duplex stainless steels applications in industry have been increased because high pitting corrosion and high strength. In this article applied research features of stainless steels as well as the functional properties of their types, in particular, the duplex stainless steel is examined. Pitting potential (Epit) and protection potential (Eprot) were found to be decreased by increasing temperature from 25 to 55°C in duplex stainless steels.

Keywords: Stainless steels, duplex stainless steels, Corrosion resistance, Pitting potential , protection potential

۱- مقدمه

اگر به آهن مذاب کربن اضافه شود پس از انجماد آلیاژی بدست می آید که فولاد نام دارد. مقدار کربن موجود در فولاد های مهندسی ۱/۹-۱/۱ است. البته در فولاد های کربنی علاوه بر کربن عناصر دیگری نظیر سیلیسیم، گوگرد و منگنز نیز به مقدار کم وجود دارند. برای بدست آوردن خواص مطلوب تر، عناصر دیگری نظیر کروم، نیکل، تنگستن، تیتانیوم، وانادیم و مولدین به فولاد ها اضافه می شود. در اکثر کاربردهای مهندسی، فولاد سهم بسزایی دارد. یکی از دلایل کاربرد وسیع فولاد ها، تحمل نیروهای بسیار سنگین و توانایی انتقال نیروهاست. دو روش برای طبقه بندی فولاد وجود دارد: تولید (روشهای تولید فولاد عبارتند از: روش کوره اجاقی، روش کوره الکتریکی و روش کوره بوته ای) و ترکیب شیمیایی (فولاد های ساده کربنی، فولاد های



کم آلیاژ، فولاد پرآلیاژ) و کاربرد و روشهای عملیات حرارتی (فولاد های سمانتاسیون - عملیات حرارتی شونده - نیترورو - بلبرینگ - زنگ نزن و ...)
(Hosford, 2012).

فولادهای زنگ نزن به فولادهایی با مقدار عناصر آلیاژی بالا گفته می شود که توانایی مقاومت به خوردگی در اتمسفرهای خوردنده و دماهای بالا را داشته باشند. بنابراین در مواردی که نیاز به مقاومت به خوردگی بالا باشد مورد استفاده قرار می گیرند. عامل اصلی مقاومت به خوردگی این فولادها، کرم است. کرم در مقادیر نسبتاً کم (۱٪) موجب مقاوم شدن فولاد در مقابل خوردگی می شود. فولادهای زنگ نزن حاوی مقادیر کم کربن هستند. برای بهبود سایر خواص فولادهای زنگ نزن به این فولادها نیکل، مولیبدن و آلومینیوم اضافه می کنند. در واقع در اثر تماس هوا با کروم موجود در استنلس استیل، لایه ای غیرفعال از اکسید کروم (Cr_2O_3) تشکیل می شود. این لایه بسیار نازک تر از آن است که با چشم قابل مشاهده باشد و به همین دلیل سطح استنلس استیل براق و درخشان باقی می ماند. این لایه در مقابل هوا و رطوبت غیر قابل نفوذ است. همچنین استنلس استیل در محیط های قلیایی مقاومت بالایی دارند و در مقابل تابش نور خورشید، رطوبت، گرما و سرما تغییر رنگ نمی دهد (Truman, 1994).

تاریخچه فولاد زنگ نزن برمی گردد به سال ۱۸۲۱ که پیر بارتیه مهندس فرانسوی، مشاهده کرد که با افزایش مقدار مشخصی کروم به آهن، سفتی و مقاومت به خوردگی آن بسیار افزایش می یابد. در ۱۹۰۹، لئون گوپله و آلبرت پورتوین بطور مستقل در فرانسه ریزساختار آلیاژهای Fe-Cr و Fe-Cr-Ni را بررسی کردند. ولی سابقه گروه های تخصصی از فولادها که در حال حاضر فولاد ضد زنگ اطلاق می شود به سال ۱۹۱۳ میلادی باز می گردد. در منطقه شفیلد انگلستان شخصی به نام Harry Brealey با ترکیب انواع آلیاژ در صدد بود تا جهت تسلیحات نظامی فولاد خاص بسازد. وی با افزودن نیکل در تولید فولاد به میزان ۱۳ درصد موفق شد فولاد ضد زنگ با مشخصات مطلوب را تولید نماید. توسعه فولاد ضد زنگ در کشور فرانسه با تولید فولادهای ضد زنگ آستنیت دنبال شد. در حال حاضر کشورهای توسعه یافته با نزدیک به گذشت یک قرن از تولید اولیه فولادهای ضد زنگ همچنان پیشگام در تولید آن می باشند (Llewellyn, 1992).

فولادهای ضد زنگ معمولی حاوی حداقل ۱۰/۵ درصد و یا بیشتر آن را کروم و بیش از ۵۰ درصد آن را آهن تشکیل داده است. یعنی هر فولادی که کمتر از ۱۰/۵ درصد کروم داشته باشد، نباید آنرا استنلس استیل دانست. نیکل و ترکیبات دیگر خواص دیگری را در استنلس استیل افزایش می دهند: برای مثال، عنصر نیکل خواص قابلیت فرم دهی، شفاف بودن و مقاومت در دمای بالا را به استنلس استیل می بخشد. این دستاورد در خیلی از ساخت و سازها دیده می شود و دارای کاربردهای فراوان است. در ساختمان های بسیاری از جمله راهروهای زیر زمینی کاخ سفید آمریکا بکار رفته است (Iron and Steel Society, 1999).

۲- انواع فولادهای زنگ نزن

فولادهای زنگ نزن بر اساس ساختار متالورژیکی و ترکیب شیمیایی، به صورت زیر تقسیم می شوند: فولاد زنگ نزن فرینیتی، فولاد زنگ نزن مارتنزیتی، فولاد زنگ نزن آستنیتی، فولاد زنگ نزن آستنیتی - فریتی (دوفازی)، فولاد زنگ نزن رسوب سختی

فولادهای زنگ نزن آستنیتی (نگیر)

درصد کرم این فولادها (۲۶-۱۶) و درصد نیکل (۲۰-۶) است. این مقدار نیکل موجب می شود که فولاد حاصل غیر مغناطیسی (نگیر) شود. در برخی از فولادهای این گروه منگنز جانشین نیکل می شود و این فولادها عملیات حرارتی پذیر نیستند. تنها عملیات حرارتی که بر روی این فولادها انجام می گیرد عملیات حرارتی تنش گیری و آنیل کامل است. این گروه در میان سایر گروه های فولادهای زنگ نزن مقاومت به خوردگی بالاتری دارد و در بسیاری از محیط های خوردنده غیر فعال است (Iron and Steel Society, 1999).

فولادهای زنگ نزن فرینیتی (بگیر)

این فولادها کم کربن (۱٪) و حاوی ۱۰الی ۲۷ درصد کرم هستند. این فولادها نیز عملیات حرارتی نمی شوند. این فولادها مغناطیس شونده (بگیر) هستند و تنها عملیات حرارتی که بر روی این فولادها انجام می گیرد عملیات آنیل است. مقاومت به خوردگی این فولادها نسبت به گروه آستنیتی کمتر و نسبت به گروه مارتنزیتی بیشتر است (Llewellyn, 1992).

فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی (بگیر)

مقدار کربن این گروه ۱/۴-۱٪، درصد و حاوی ۱۴-۱۱ درصد کرم هستند. این فولادها بعلت داشتن کربن نسبتاً زیاد می توانند همانند سایر فولادهای کربنی و آلیاژی سخت شوند اما درجه سخت کاری این فولادها بالا تر است. در این فولادها لزوماً با افزایش کرم مقاومت به خوردگی افزایش نمی یابد زیرا همانطوری که می دانیم میل ترکیبی کربن با کرم زیاد است و کاربیدهای درشت کرم خود ممکن است منبع خوردگی باشد به همین دلیل مقاومت به خوردگی با افزایش زیاد کرم ممکن است کاهش یابد. فولادهای زنگ نزن مقاومت به سایش نسبتاً پایینی دارند اما اغلب برای کاربرد خاص به علت



مقاومت به خوردگی شان مورد استفاده قرار می گیرند. بنابراین، پیدا کردن مؤثرترین آلیاژ برای دوام آوردن در مقابل سایش می تواند یک مشکل سخت برای طراحی ماشین ها باشد. مقاومت سایشی فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی نسبت به سایر فولادهای زنگ نزن بسیار به سختی، درصد کربن و درجه حرارت بازیخت آن بستگی دارد (Magee, ۱۹۹۲). آلیاژهای پایه کبالت شامل کاربیدهای مقاوم به سایش و خوردگی به عنوان آلیاژهای مناسب برای سختکاری سطحی روی فولادهای زنگ نزن به کار برده می شوند و هنگامی که مقدار مناسبی از فازهای سخت تشکیل شود می توان انتظار مقاومت سایشی بالا داشت. سوپر آلیاژ استیلایت ۶ که پایه کبالت می باشد به طور گسترده برای سختکاری در شرایط ناملایم در توربین های گازی و یاطاقان ها به کار می رود (gholipour, ۲۰۱۱).

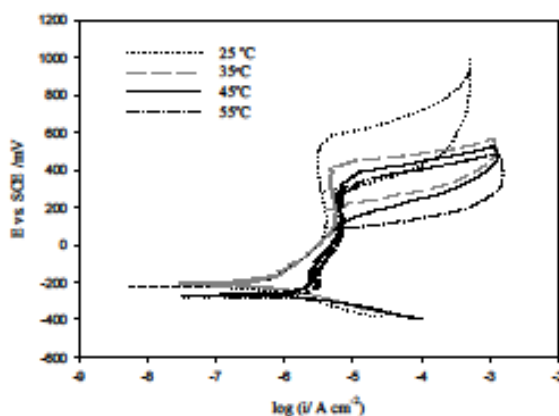
فولادهای زنگ نزن سختی رسوبی شونده

سختی این فولادها را می توان با عملیات حرارتی تا ۴۲ HRC افزایش داد. اما روش سخت کاری این فولادها متفاوت با سایر فولادها بوده و اساساً شبیه سخت کاری آلیاژهای غیر آهنی است. فولاد ضد زنگ حساس شده (Sensitized) نیز فولاد زنگ نزن است که با فرایند گرمایی اتم های کروم آن از حلالیت خارج و بصورت کاربید و زیگما در مرزخانه رسوب کرده اند. چنانچه اگر این فولاد در آب دریا باشد، خوردگی بین دانه های در آن رخ می دهد (Dillon, ۱۹۹۵).

۳- فولادهای زنگ نزن دوفازی

فولادهای زنگ نزن دوفازی حاوی دو فاز آستنیت و فریت به نسبت تقریباً ۵۰٪ هستند. این نوع فولادها اغلب مزایای فولادهای زنگ نزن آستنیتی و فریتی را دارا هستند. این آلیاژها مقاومت زیادی در برابر خوردگی تنش ناشی از هیدروژن و کلر دارند و مشخص شده است که فولادهای زنگ نزن دوفازی علاوه بر مقاومت در برابر خوردگی عمومی و تنش، از استحکام مکانیکی بالا و قابلیت جوشکاری نسبتاً خوبی نیز برخوردار هستند. فولادهای زنگ نزن دوفازی ۱٪ از کل حجم فولادهای زنگ نزن را به خود اختصاص داده اند. این مقدار ناشی از موانع مختلف بر سر راه تولید کنندگان و صنایع است. شکی وجود ندارد که فولادهای زنگ نزن دوفازی دارای پتانسیل بالایی برای افزایش حجم تولید با توجه به مزایای متعدد در مقایسه با فولادهای زنگ نزن فریتی و آستنیتی هستند (Liljas, ۱۹۹۵).

از مشکلات فولادهای زنگ نزن وقوع خوردگی حفره ای در آن ها است. این نوع خوردگی از لحاظ تجاری دارای اهمیت بسیار زیادی است، زیرا با وجود این که نرخ خوردگی بسیار پایین است، اما عملکرد قطعه در اثر این نوع خوردگی شدیداً محدود می شود. در صورتی که در اثر آسیب های فیزیکی و شیمیایی حفره ای بوجود آید، اگر مجدداً فیلم روپین درون حفره تشکیل نشود، حفره رشد می کند (استنزیبری، ۱۳۸۲). در یک پژوهش تأثیر افزایش دما بر رفتار خوردگی فولاد زنگ نزن دوفازی ۲۲۰۵ در محلول اسید استیک توسط آزمون پلاریزاسیون سیکیلی مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۱ منحنی های پلاریزاسیون سیکیلی برای فولاد زنگ نزن در دماهای مختلف را نشان می دهد. افزایش دما موجب افت پتانسیل های حفره دار شدن و حفاظت می گردد (عادلی، ۱۳۸۵).

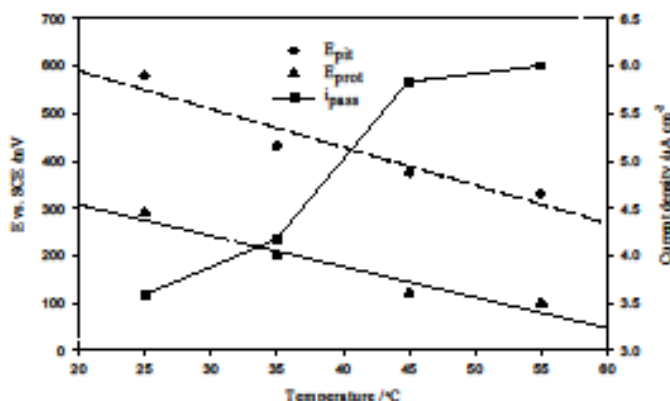


شکل ۱. تأثیر افزایش دما بر رفتار متحتی های پلاریزاسیون سیکیلی فولاد زنگ نزن دوفازی

تأثیر افزایش دما از ۲۵ تا ۵۵ درجه سانتی گراد روی پارامترهای مختلف خوردگی فولاد زنگ نزن دوفازی در محلول حاوی ۰.۱ مول برمید سدیم در شکل ۲ نشان داده شده است. پتانسیل های حفره دار شدن (Epit) و حفاظت (Eprot) بصورت خطی با افزایش دما کاهش می یابند. افزایش دما



موجب افزایش دانسیته جریان روئین شدن C (ipass) می گردد. افزایش دما از ۲۵ به ۵۵ درجه سانتی گراد موجب کاهش پتانسیل حفزه دار شدن از ۵۸۰ به ۳۳۰ شد. همچنین پتانسیل حفاظت نیز از ۲۹۰ به ۱۰۰ میلی ولت کاهش یافت (عادلی، ۱۳۸۵).



شکل ۲. تأثیر افزایش دما بر پارامترهای خوردگی فولاد زنگ نزن دوفازی

۴- آلیاژهای فولاد زنگ نزن

آلیاژهای فولاد زنگ نزن به علت داشتن مقاومت بالا نسبت خوردگی عالی یکی از پر کاربردترین مواد درمهندسی است. این مقاومت به دلیل وجود مقدار زیادی کروم در آن‌ها ناشی می‌شود. مقدار کم کروم، مثلاً ۵٪، مقاومت به خوردگی آهن را مقداری افزایش می‌دهد، اما برای رسیدن به فولاد زنگ نزن، حداقل ۱۲٪ Cr نیاز است. برابر با نظریه‌های کلاسیک، کروم با تشکیل یک لایه اکسید سطحی که لایه‌های زیرین را از خوردگی محافظت می‌کند، سطح آهن را زنگ نزن می‌سازد. برای ایجاد این لایه محافظ، سطح فولاد زنگ نزن باید در تماس با عوامل اکسید کننده باشد (Dillon، ۱۹۹۵).

اضافه کردن نیکل به فولادهای زنگ نزن مقاومت به خوردگی را در محیط‌های خنثی و یا اکسید کننده ضعیف افزایش می‌بخشد اما قیمت آن‌ها را نیز افزایش می‌دهد. همچنین مقدار کافی نیکل قابلیت انعطاف‌پذیری و شکل‌پذیری فولادها را افزایش می‌دهد زیرا امکان نگهداری آستینت (FCC) در دمای محیط را فراهم می‌کند. افزایش مولیبدن به فولادهای زنگ نزن مقاومت به خوردگی را در حضور یون‌های کلر افزایش می‌دهد، حال آن‌که افزودن آلومینیوم مقاومت به پوسته شدن را در دماهای بالا بهبود می‌بخشد. کروم نیز برای افزایش مقاومت به خوردگی آن، اضافه می‌شود. آلیاژهای مهم فولادهای زنگ نزن بر مبنای عنصر آلیاژی که به آن افزوده شده است شامل: آلیاژهای آهن - کروم، آلیاژهای آهن - کروم - کربن، آلیاژهای آهن - کروم - نیکل - کربن می‌باشد. رایجترین نوع فولاد ضدزنگ استیل‌های سری ۳۰۰ هستند که خود به انواع مختلفی مثل ۳۰۳، ۳۰۴، ۳۰۵، ۳۱۶، ۳۲۱ و ۳۴۷ تقسیم می‌شوند و در بین آن‌ها استیل ۳۰۴ با اختلاف قابل توجهی از بقیه پرکاربردتر و رایج‌تر است. استیل ۳۰۴ و تعداد دیگری از استیل‌های این سری شامل ۱۸ درصد کروم و ۸ درصد نیکل هستند و به همین دلیل به نام استیل ۸-۱۸ هم شناخته می‌شوند. البته نام استیل ۸-۱۸ اشاره به نوع خاصی از استیل ندارد چون فقط درصد دو آلیاژ نیکل و کروم را نشان می‌دهد. علاوه بر این کربن این استیل‌ها کمتر از ۰.۰۸ درصد است و خاصیت آهنربایی ندارند (McGuire، ۲۰۰۸).

استیل ۳۱۶ پس از استیل ۳۰۴ دومین استیل رایج در بین استیل‌های آستینیتی است. این استیل که به «استیل ضدزنگ گرید دریایی» هم معروف است و معمولاً شامل ۱۶ درصد کروم، ۱۰ درصد نیکل و ۲ درصد مولیبدن است و به همین دلیل به استیل ۱۰-۱۸ هم معروف است. تغییر در نسبت کروم و نیکل و افزودن مولیبدن باعث شده تا این استیل مقاومت بیشتری در مقابل فرسایش، به‌ویژه فرسایش ناشی از کلر داشته باشد و به همین دلیل برای وسایلی که باید در تماس زیاد با عوامل فرساینده مانند مواد شیمیایی، حلال‌ها، و آب شور باشند، مناسب است. این نوع از استیل معمولاً در ساخت کاردها و ابزارهای برنده و لوازم مرغوب آشپزخانه استفاده می‌شود و برای تاسیسات دریایی نیز مناسب است (Llewellyn، ۱۹۹۲).

۵- کاربرد و مزایای فولادهای زنگ نزن نسبت به سایر فولادها

تولید انواع ابزارآلات صنعتی، انواع قطعات صنعتی، انواع ماشین‌آلات صنعتی و معدنی، انواع قطعات فلزی جهت مصارف ساختمانی، شیر آلات و لوازم و سرویس‌های بهداشتی فولادی و ... از جمله موارد قابل ذکر جهت مصرف فولادهای ضدزنگ می‌باشند. به بیان کلی می‌توان گفت هر جا که سخن از فعالیت صنعتی باشد می‌توان اثری از فولاد ضد زنگ را پیدا کرد. بدیهی است با توجه به نوع کاربرد دو طبقه‌بندی جهت تولید و مصرف فولادهای ضد زنگ وجود دارد. محصولات طولی (Long products) محصولات طولی فولاد ضد زنگ به صورت سیم، میله و مفتول و لوله‌های بدون درز در



مصارف مختلف صنعتی به کار می‌رود. محصولات تخت (flat products) انواع محصولات تخت شامل انواع لوله و تیوپ‌های درزجوش، ورق‌های صنعتی می‌باشد که متناسب با نیاز بازار مصرف با ضخامت و ابعاد مطلوب تولید و عرضه می‌گردد (McGuire, ۲۰۰۸).

۶- نتیجه‌گیری

فولاد زنگ نزن دوفازی در محلول اسید استیک حاوی یون های برم در دمای اتاق دچار خوردگی حفره ای می‌گردد. Eprot و Epit بصورت خطی با افزایش غلظت یون برم کاهش یافتند. اندازه گیری های طیف سنجی الکتروشیمیایی نشان داد که افزایش دما موجب افزایش ظرفیت خازنی و کاهش مقاومت پلاریزاسیون می‌گردد. همچنین مزایای استنلس استیل نسبت به فولاد ساختمانی شامل: عدم نیاز به رنگ آمیزی، کاهش هزینه نگهداری، بهداشتی بودن، مقاومت بالا نسبت به خوردگی، مقاومت بالا در محیط های قلیایی، عدم تغییر رنگ در مقابل تابش نور خورشید، رطوبت و شرایط آب و هوایی، سطح براق و درخشان می‌باشد. همچنین عنصر نیکل خواص قابلیت فرم دهی، شفاف بودن و مقاومت در دمای بالا را به استنلس استیل می‌بخشد. این دستاورد در خیلی از سازه ها دیده می‌شود و در صنایع و ساختمان سازی دارای کاربردهای فراوانی می‌تواند باشد.

منابع و مراجع

- [۱] استنزبری، ای.ای. باچانان، ر. // احتشام زاده، م. (۱۳۸۲) "اصول خوردگی الکتروشیمیایی"، انتشارات دانشگاه باهنر کرمان. ۱۳۸۲.
- [۲] عادل، م. گل‌عذار، م.ع. رئیسی، ک. (۱۳۸۵) "بررسی مقاومت خوردگی فولاد زنگ نزن دوفازی ۲۲۰۵ در اسید استیک توسط موت-شاتکی و EIS".
- [۳] Dillon, CP. (۱۹۹۵). Corrosion Resistance of Stainless Steels. CRC Press, ۳۵۰-۳۸۰.
- [۴] gholipour, A. Shamanian, M. Ashrafizadeh, F. (۲۰۱۱). Microstructure and Wear Behavior of Stellite ۶ cladding on ۱۷-PH Stainless Steel. Journal of Alloys and Compounds, Vol. ۵۰۹, ۴۹۰۵-۴۹۰۹.
- [۵] Hosford, WF. (۲۰۱۲). Iron and steel, Cambridge University Press. ۱۰۰-۱۱۵.
- [۶] Iron and Steel Society. (۱۹۹۹). Steel Products Manual - Stainless Steels, ۲۵۰-۲۹۴.
- [۷] Liljas, M. "۸۰ Years with Duplex Stainless Steel, a Historic Review and Prospects for the Future." Outokumpu Stainless AB.
- [۸] Llewellyn, DT. (۱۹۹۲). Stainless steels. Steels, ۲۱۴-۲۹۶.
- [۹] Magee, H. John, H. (۱۹۹۲). Carpenter Technology Corporation. Asm Metal Handbook, United States of America, ۵: ۱۷-۱۸.
- [۱۰] McGuire, MF. Kaufman, JG. (۲۰۰۸). Stainless Steels for Design Engineers. ASM International, ۳۰۰-۳۰۱.
- [۱۱] Truman, JE. (۱۹۹۴). Stainless Steels. Corrosion, ۳:۳۴-۳:۷۷.