E-ISSN: 2676-6787 | P-ISSN: 2476-583X

Journal of
Welding Science and Technology of Iran
jwsti.iut.ac.ir

Volume 8, Number 1, 2022



The effect of filler metal type on the quality of gas tungsten arc welded DIN 34CrAlNi7 nitriding steel in the nitrided condition

M. M. Taghvaei, H. Mostaan*, A. Sonboli, H. R. Mansouri Gavari

Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Arak University, Arak, Iran.

Received 30 June 2022 ; Accepted 14 August 2022

Abstract

In this study, DIN 34CrAlNi7 Nitriding steel in two states before and after nitriding, were welded by tungsten-gas arc welding process using two types of fillers (ER309L and ER312). The aim of this research was to investigate the best conditions for welding (before or after nitriding) and also to choose the best filler metal. The microstructure of the joint was examined using an optical microscope. A tensile strength test was also used to evaluate the mechanical properties. Fracture surfaces were also studied using a scanning electron microscope (SEM). According to the results Welding of these steels with ER309L filler is allowed only in the pre-nitriding state. If the base metal is nitriding, due to microstructural changes in the weld metal, filler metal ER309L cannot be used. However, the results of samples welded with ER312 filler metal show that if the base metal mixing percentage is less than 30%, this filler can be used for welding base metals in both before and after nitriding.

Keywords: Nitriding, tungsten-gas arc process, filler metal, weld metal, mixed zone.

Corresponding Author: h-mostaan@araku.ac.ir

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.9.7]

شاپا:2476-583X | شاپا الکترونیکی: 2676-6787

نشریه علوم و فناوری جوشکاری ایران

jwsti.iut.ac.ir

سال هشتم، شماره1، بهار و تابستان 1401



بررسی تاثیرپذیری نوع پرکننده بر کیفیت جوش فولاد نایترایدینگ DIN 34CrAlNi7 در شرایط نیتروژن‌دهی شده سطحی با استفاده از روش قوسی تنگستن-گاز

محمدمهدی تقوایی، حسین مستعان*، علی سنبلی، حمیدرضا منصوری گواری

گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

دریافت مقاله: 1401/04/09 ؛ پذیرش مقاله: 1401/05/23

چکیده

در این پژوهش فولاد نایترایدینگ DIN 34CrAlNi7 در دو حالت قبل و بعد از نیتروژن‌دهی سطحی با فرایند قوسی تنگستن-گاز، توسط دو نوع پرکننده (ER309 L و ER312) مورد بررسی قرار گرفتند. هدف از این پژوهش بررسی بهترین شرایط برای جوشکاری، (قبل یا بعد ازنیتروژن‌دهی) ونیز انتخاب بهترین فلزپرکننده بود. ریزساختار اتصال با استفاده از میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به‌منظور ارزیابی خواص مکانیکی از آزمایش استحکام کششی استفاده شد. سطوح شکست اتصالات نیز با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) موردمطالعه قرار گرفت. جوشکاری این فولادها با پرکننده ER309L با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، فقط در حالت قبل از نیتروژن‌دهی مجاز است. در حالتی‌که سطوح لبه اتصال نیتروژن‌دهی شده باشد به علت تغییرات ریزساختاری در فلزجوش نمی‌تواند در شرایط سرویس پاسخ قابل قبولی ارائه دهد. اما نتایج نمونه‌های جوشکاری شده با فلزپرکننده ER312 نشان داد درصورتی‌که درصد امتزاج فلزپایه به مقدار کمتر از 30 درصد باشد می‌توان از این نوع پرکننده برای جوشکاری فلزات پایه در هر دو حالت قبل و بعد از نیتروژن‌دهی استفاده کرد.

کلمات کلیدی: نیتروژن‌دهی، فرایند قوسی تنگستن-گاز، فلزپرکننده، فلزجوش، ناحیه امتزاج.

*نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: h-mostaan@araku.ac.ir

1- مقدمه

در سال‌های اخیر، تقاضا برای موادی با عملکرد بهبودیافته و طول عمر بیشتر که می‌توانند در شرایط بارگذاری سنگین استفاده شوند، رو به رشد بوده است [1]. روش‌هایی برای افزودن و آلیاژ کردن عناصر افزودنی مختلف به مواد فلزی و ایجاد بیشترین عملکرد ممکن استفاده می‌شود. روش‌های بهبود سطح یک ماده شامل اعمال یک‌لایه سخت، مانند کربن شبه الماس [2-4] و نیتروژن‌دهی سطح است [5-7]. روش‌های پوشش‌دهی به دلیل تنوع بسیار زیاد کاربردها و نیازها در زمینه‌های مختلف در طیف گسترده‌ای در دسترس هستند.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.9.7]

روش‌های پوشش‌دهی در کاربردهای خاص با توجه به عملکرد موردنظر مفید هستند که در میان آن‌ها محافظت در برابر خوردگی و سایش مهم‌ترین هستند [8]. خواص مکانیکی مواد با فرایند خوردگی کاهش می‌یابد درحالی‌که محصولات خوردگی به اشکال مختلف آزاد می‌شوند که ممکن است باعث ایجاد محیط خورنده شدیدتر یا عوارض جانبی مضر در کاربردهای مختلف شود [9-10]

نیتروژن‌دهی یکی از روش‌های سخت شدن سطحی است که در آن غنی‌سازی نیتروژن سطح نمونه فولادی در محدوده دمایی 500 تا 575 درجه سانتی‌گراد (زمانی‌که فولاد فریتی است) در اتمسفر 15 تا 30 درصد آمونیاک تفکیک‌شده برای یک‌زمان طولانی انجام می‌شود. نیتروژن‌دهی کردن نیازی به حرارت دادن فولاد به ناحیه آستنیتی و پس از آن کوئنچ برای تشکیل مارتنزیت ندارد. بنابراین، حداقل اعوجاج را شامل می‌شود و کنترل ابعادی عالی را فراهم می‌کند. فولادهایی که تحت نیتروژن‌دهی قرار می‌گیرند، معمولاً فولادهای کربن متوسط هستند. توزیع ذرات ریز به‌طور یکنواخت، چگالی بالای نابجایی‌ها و تشکیل اتمسفر کوترل توسط اتم‌های نیتروژن از دلایل اصلی سختی سطح بالای فولادهای نیتروژن‌دهی شده است [11].

در اوایل فرایند نیتروژن‌دهی، آدولف فری دریافت که گروهی از فولادها در فرایند نیتروژن‌دهی ازنقطه‌نظر متالورژیکی مانند سختی سطح، سختی مغز قطعه، اعوجاج، مدت‌زمان سیکل در دمای نیتروژن‌دهی و تشکیل نیتریدهای پایدار، بهتر عمل می‌کنند. فری دریافت که در طی فرایند نیتروژن‌دهی عناصر مشخصی نسبت به سایر عناصر، نیتریدهای پایدارتری را تشکیل می‌دهند، که این امر منجر به توسعه دسته‌ای از فولادهای نیتروژن‌پذیر شد [12و13]. مهم‌ترین عناصر آلیاژی در فولادهای تجاری که در فرایند نیتروژن‌دهی مفید هستند شامل آلومینیوم، کروم، وانادیوم، تنگستن و مولیبدن است. علت این امر، تمایل این عناصر به تشکیل نیتریدهایی است که در دمای نیتروژن‌دهی پایدارند. عناصر آلیاژی دیگر نظیر نیکل، مس و منگنز تمایلی به تشکیل نیترید نداشته و یا اینکه اثرات آن‌ها بسیار کم است [14، 15]. اگرچه در دماهای مناسب و در حضور نیتروژن اتمی، تمام فولادها قادر به تشکیل نیترید آهن هستند، ولی بهبود خواص نیتروژن‌دهی عمدتاً در فولادهایی که حاوی عناصر آلیاژی نیتریدساز هستند، مشهودتر است. فولادهای کربنی غیرآلیاژی برای نیتروژن‌دهی مناسب نیستند، زیرا این فولادها لایه بسیار تردی را در سطح تشکیل می‌دهند که به‌راحتی خرد می‌شود، همچنین افزایش سختی در ناحیه نفوذی این فولادها کم است [16].

فولاد نایترایدینگ DIN 34CrAlNi7 با توجه به عناصر آلیاژی موجود در ترکیب آن جزء فولادهای مستعد جهت نیتروژن‌دهی است. به علت وجود این عناصر (آلومینیوم و کروم)، در صورت نفوذ نیتروژن در سطح آن‌ها سختی بالایی تا بیش از 950 ویکرز پیدا می‌کنند. این افزایش قابل ملاحظه در سختی و درنتیجه افزایش مقاومت به سایش و خستگی پس از نیتروژن‌دهی، باعث شده این فولاد را بیشتر برای ساخت پیچ‌ها، بولت‌های صنعتی، چرخ‌دنده‌های مختلف، میله‌های پیستون، شفت هواپیما و قسمت‌های عمومی مواد مهندسی مورد استفاده قرار دهند. این فولادها را به طور معمول در حالت سریع سرد شده و تمپرشده تولید می‌کنند [17]. استفاده از فرایندهای جوشکاری در کاربردهای مذکور باهدف اتصال، تعمیر سطوح تخریب‌شده و روکش‌کاری امری متداول هست. بسیاری از مواد و فرایندهای اتصال در حال حاضر برای استفاده در صنایع در دسترس هستند. جوشکاری یک فرایند اتصال فلزی قابل‌اعتماد و کارآمد است [18، 19]. یکی از قابل اعتمادترین روش برای جوشکاری فولادها، فرایند گاز بی‌اثر تنگستن (TIG) است که به‌عنوان جوشکاری قوس تنگستن گاز (GTAW) نیز شناخته می‌شود [20-22]. جوشکاری TIG مزیت یک مهره‌جوش کوچک را دارد زیرا به حرارت ورودی کمتری نیاز دارد و فلزپرکننده اختیاری است [21، 23].

آلفونسا و همکاران [19] در مطالعه خود به بررسی جوشکاری فولاد زنگ‌نزن آستنیتی 304 پس از نیتروژن‌دهی پلاسمایی پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده وجود لایه‌های نیتریدی Fe_4N، Fe_3N، CrN و فاز γ هست. همچنین اتصال جوش که در

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.9.7]

جدول1-ترکیب شیمیایی فلزات پایه و پرکننده (برحسب درصد وزنی).

فلزات پایه و پرکننده	ترکیب شیمیایی (درصد وزنی٪)								
	Cr	Ni	Mo	Mn	S	P	Si	Al	C
فلز پایه	۱/۵ – ۱/۸	۰/۸۵ – ۱/۵	۰/۱۵ – ۰/۲۵	۰/۶	۰/۰۳۵	۰/۰۲۵	۰/۴	۱/۱ – ۲/۸	۰/۳ –۰/۳۷
ER۳۰۹L	۲۵–۲۳	۱۴–۱۲	۰/۷۵	۱ –۲/۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۳ –۰/۶۵	–	۰/۰۳
ER۳۱۲	۲۹/۸۵	۹/۰۵	–	۱/۴۸	–	–	۰/۰۵	–	۰/۱۲

جدول2- خواص مکانیکی فولاد DIN 34CrAlNi7 در شرایط سریع سرد شده و بازپخت شده براساس استاندارد DIN10085

قطر میله	۴۰≥ قطر≥۱۶	۱۰۰≥قطر≥۴۰	۱۶۰≥قطر≥۱۰۰	۲۵۰≥قطر≥۱۶۰
استحکام تسلیم N/mm^2	حداقل ۶۸۰	حداقل ۶۵۰	حداقل ۶۰۰	حداقل ۶۰۰
استحکام کششی نهایی N/mm^2	۱۱۰۰–۹۰۰	۱۰۵۰–۸۵۰	۱۰۰۰–۸۰۰	۱۰۰۰–۸۰۰
درصد ازدیاد طول قبل از گسست	حداقل۱۰	حداقل۱۲	حداقل۱۳	حداقل۱۳

جدول 3- خواص مکانیکی فلزات پرکننده

	ER ۳۰۹L	ER۳۱۲
استحکام تسلیم	۵۰۰	۶۲۰
استحکام کششی	۷۰۰ – ۶۰۰	۷۷۰
ازدیاد طول٪	بیشتر از ٪۲۱	٪۲۷

آن‌ها از تکنیک چندمرحله‌ای استفاده‌شده نتایج نیتریده شدن بهتری از فلزات جوش تک‌مرحله داشتند. در تکنیک چندمرحله‌ای به علت تغییرات ساختاری و متغیرهای فرایند نتایج سختی حدود سه برابر بهتر از نتایج حاصل از جوشکاری تک بود.

پورکبیریان و همکاران [24] در تحقیقی به بررسی اتصال غیرمشابه فولاد کم آلیاژ 4130 به فولاد زنگ‌نزن 316L به روش جوشکاری قوسی تنگستن – گاز پرداختند. نتایج نشان داد که در آزمایش ضربه، شکست نمونه‌ها به‌صورت نرم هست. در آزمایش کشش نمونه جوش داده‌شده باسیم جوش ER309 L از فلزپایه 316L دچار شکست شد، اما نمونه جوشکاری شده با پرکننده ER NiCr-3 از محل جوش دچار شکست شد. بررسی‌ها نشان‌دهنده وجود ساختار دندریتی در فلزات جوش پایه نیکلی بود. ریزساختار فلزپرکننده ER309 L به‌صورت سلولی دندریتی شد، وبه دلیل وجود فاز فریت دلتا در نواحی بین دندریتی، آستنیت زمینه، هیچ‌گونه ترکی در این ناحیه مشاهده نشد و درنهایت فلزپرکننده ER309 L مناسب‌تر از پرکننده ER NiCr-3 تشخیص داده شد.این پژوهش که با انجام مطالعه و بررسی‌ها بر روی متون علمی به عنوان اولین بار انجام‌شده، به کاوش در مورد نوع پرکننده و روش جوشکاری بهتر فولاد نایترایدینگ DIN 34CrAlNi7 قبل و بعد از نیتروژن‌دهی پرداخته است.

2- مواد و روش انجام پژوهش

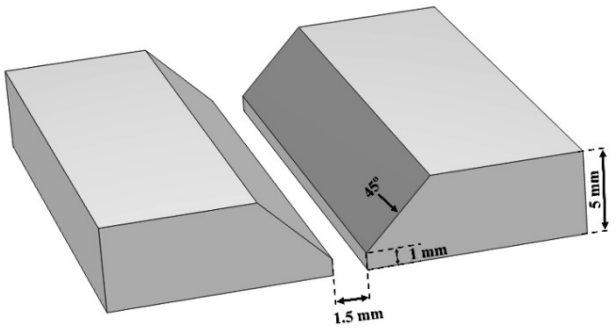
در این پژوهش جهت تهیه نمونه‌های جوش از ورق فولاد مستعد جهت اعمال فرایند نیتروژن‌دهی (DIN 34CrAlNi7) در دو حالت قبل و بعد از نیتروژن‌دهی سطحی و باضخامت 5 میلی‌متر و دو نوع پرکننده (ER309L، ER312) جهت پیداکردن بهترین‌وضعیت‌جوشکاری (قبل یا بعد از نیتروژن‌دهی) و نیز بهترین سیم پرکننده، جوشکاری و بررسی شد. ترکیب شیمیایی فلزپایه و فلزات پرکننده مورد استفاده در این پژوهش توسط دستگاه کوانتومتری مدل ARUN 2500 بررسی و در جدول (1) نشان داده‌شده است.

خواص مکانیکی لازم برای فولاد DIN 34CrAlNi7 پس از عملیات سریع سردشدن و بازپخت براساس استاندارد DIN10085 برای نیم‌ساخته‌های با مقطع گرد از این آلیاژ طبق جدول (2) است. علاوه بر این، جدول (3) خواص مکانیکی فلزات پرکننده‌مورد استفاده در پژوهش که‌توسط شرکت سازنده

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.9.7]

ارائه شده است را نشان می‌دهد.

آماده‌سازی قطعات جهت اتصال جوشکاری برای جلوگیری از تغییرات ریزساختاری در اثر حرارت، با روش‌های مکانیکی و بدون ایجاد حرارت انجام شد. برشکاری قطعات توسط کمان اره دستی و ایجاد پخ و پاشنه مناسب توسط سوهان تخت مطابق با زاویه پیشنهادی استاندارد انجمن جوشکاران آمریکا انجام شد. شکل(1) تصویر طرح اتصال را نشان می‌دهد.



شکل1- تصویر طرح اتصال جوشکاری فولاد DIN 34CrAlNi7 اجراشده برای نمونه‌های موردمطالعه.

با تنظیم بهینه دستگاه جوشکاری نمونه‌ها با پرکننده‌های مختلف در دو حالت قبل و بعد از نیتروژن‌دهی درمجموع به تعداد چهار نمونه طبق طرح اتصال شکل(1) آماده‌سازی شد. در این فرایند جهت تأمین اتمسفر خنثی از گاز آرگون با خلوص 99/999 درصد استفاده شد. جوشکاری قوسی تنگستن-گاز (GTAW) به‌صورت دستی انجام شد. با توجه به ضخامت پخ با زاویه 45 درجه یک‌طرفه روی دو قطعه ایجادشده و شیار V شکل به‌دست‌آمده از قرارگیری دو قطعه به‌صورت لب‌به‌لب باپاشنه اتصال 1 میلی‌متر، درز اتصال 1/5 میلی‌متر، در وضعیت 1G و در دو پاس جوشکاری انجام شد. متغیرهای جوشکاری مثل قطر سیم جوش، آمپراژ، ولتاژ، جریان، سرعت جوشکاری، دمای بین پاسی و دیگر متغیرها برای همه نمونه‌ها یکسان در نظرگرفته شد. حرارت ورودی جوشکاری در این محاسبات برحسب kJ/mm و توسط فرمول Q=η IV/S به‌دست‌آمده است. در این فرمول V ولتاژ برحسب ولت، I جریان برحسب آمپر، S سرعت حرکت دست جوشکار برحسب میلی‌متر بر ثانیه وη راندمان حرارتی فرایند جوشکاری است که برای این فرایند 0/7 در نظر گرفته شد. جدول(4) نیز کمیت‌های مربوط به متغیرهای جوشکاری قطعات، در این پژوهش را نشان می‌دهد.

پس از پایان فرایند جوشکاری، ابتدا آزمایش متالوگرافی جهت شناسایی ریزساختار فلزات‌پایه و فلزات‌جوش انجام شد. به‌منظور مشاهده فازهای موجود در فولاد موردمطالعه و ناحیه HAZ، جوش‌های مختلف که بخشی از فلزپایه است و نیز فلزجوش ER309L، از محلول اچ نایتال 2% استفاده شد. همچنین برای مشاهده فازهای موجود در فلزجوشER312 از محلول سه اسید (اسید استیک، اسید نیتریک و اسیدسولفوریک) استفاده شد. تصاویر میکروسکوپ نوری به‌وسیله میکروسکوپ نوری گرفته شد.

سپس آزمایش مکانیکی کشش روی نمونه‌ها انجام شد و مقاطع شکست آزمایش کشش توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی تصویربرداری شده و آنالیز و طیف‌نگاری EDS از رسوبات مورد مشاهده در آزمایش الکترون روبشی انجام‌شده و بعدازآن آزمایش سختی سنجی جهت تعیین سختی فلزات‌جوش نمونه‌های مورد مطالعه انجام و سختی نمونه‌ها مشخص شد.

3-نتایج و بحث

3-1- ارزیابی ریزساختار فلزپایه

ریزساختار فلزپایه فولاد DIN 34CrAlNi7 پیش از انجام عملیات جوشکاری توسط میکروسکوپ نوری در شکل(2) نشان داده‌شده است. همان‌گونه که از این تصویر مشخص است فلزپایه در حالت کوئنچ شده قرار دارد. تیغه‌های مارتنزیتی به همراه فاز آستنیت باقیمانده که نشان از شدت پایین محیط سردکننده برای این فولاد بوده است، مشهود است.

ریزساختار فلزپایه نیتروژن‌دهی شده فولاد 1/8550 پیش از انجام عملیات جوشکاری توسط میکروسکوپ نوری در شکل(3) نشان داده شده است.

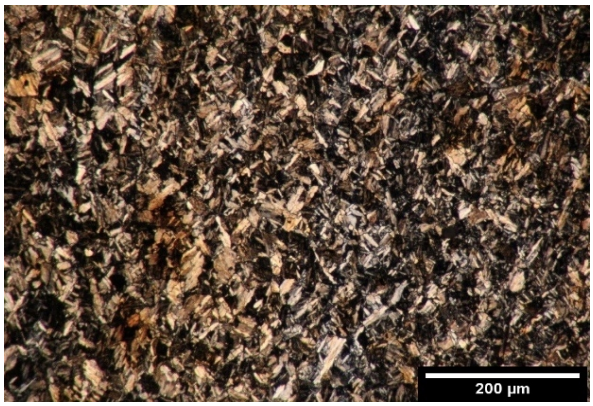
[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.9.7]

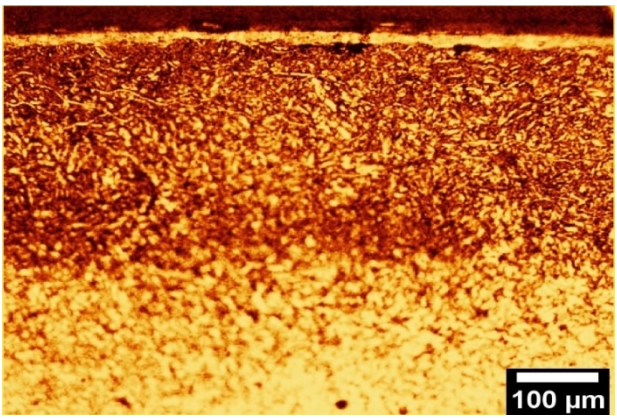
جدول4- متغیرهای جوشکاری اتصال فولاد DIN 34CrAlNi7 با پرکننده‌های مورداستفاده در پژوهش

متغیر جوشکاری / پاس	جریان A	ولتاژ V	سرعت دست جوشکار mm/s	حرارت ورودی kj/mm	قطر سیم جوش
پاس ریشه	۱۰۰	۱۲	۰/۷۵	۱/۱۲	۲/۴
پاس رویه	۱۲۰	۱۲	۰/۷۵	۱/۳۴۴	۲/۴

همان‌گونه که از این تصویر مشخص است فلزپایه در حالت نیتروژن‌دهی شده دارای عمق لایه سخت شده 400 میکرومتری است.



شکل2- تصویر میکروسکوپ نوری از ریزساختار فولاد DIN 34CrAlNi7.

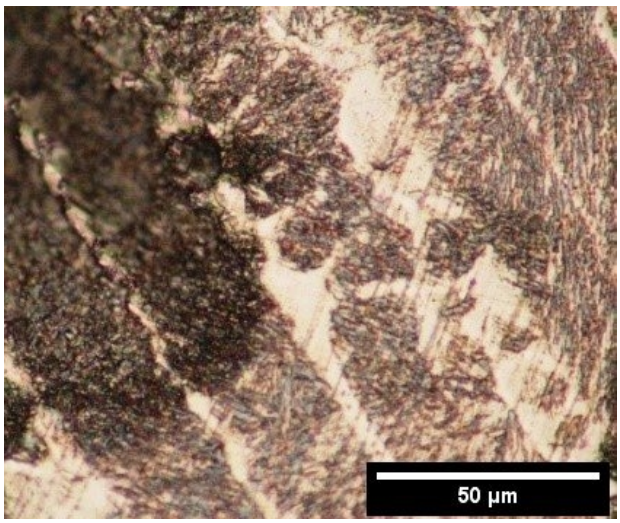


شکل 3- تصویر میکروسکوپ نوری از ریزساختار فلزپایه **DIN 34CrAlNi7** نیتروژن‌دهی شده

3-2- ارزیابی اتصالات جوشکاری شده با فلزپرکننده ER309L

3-2-1- نتایج حاصل از فلزجوش با پرکننده ER309L بر روی فلزپایه قبل از نیتروژن‌دهی فلزپایه

شکل(4) تصویر میکروسکوپ نوری فازهای سخت در داخل فلزجوش حاصل از اختلاط پرکننده ER309L و فلزپایه قبل از نیتروژن‌دهی، منطقه متأثر از حرارت و ناحیه رقت جوش را نمایش می‌دهد.



شکل4- تصویر میکروسکوپ نوری فلزجوش حاصل از پرکننده ER309L بر روی فلزپایه قبل از نیتروژن‌دهی.

همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد فاز سفیدرنگ مربوط به فاز نرم آستنیت و قسمت تیره مربوط به نواحی مارتنزیت است. این پرکننده از نوع فولاد زنگ‌نزن آستنیتی بوده و دارای چقرمگی و انعطاف‌پذیری بسیار بالاست که جهت جلوگیری از خوردگی بین‌دانه‌ای یا تشکیل کاربید کروم، کربن آن را تا حد زیادی کاهش داده‌اند. برطبق آزمون سختی سنجی مقدار سختی این نمونه حدودا 42 راکول سی است. استحکام نهایی کششی براساس داده‌های کارخانه سازنده الکترود حدود 520MPa است. در آزمایش کشش از فلزپایه نیتروژن‌دهی نشده گسست از داخل فلزجوش با تحمل تنش کششی خیلی بالاتر از مشخصات اعلامی کارخانه سازنده برای فلزجوش حاصل از سیم‌جوش بدون ناحیه اختلاط و باتحمل تنش کششی 860MPa اتفاق افتاده است.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.9.7]

جدول 5- نتیجه آنالیز EDS منطقه مختلف مشخص‌شده در شکل 5 از فلزجوش حاصل از پرکننده ER309L بر روی فولاد DIN 34CrAlNi7 قبل از نیتروژن‌دهی.

نوع درصد	درصد عناصر (درصد وزنی٪)				
	O	Al	Cr	Fe	Ni
درصد وزنی	–	۶۲	۱	۳۵	۲
درصد اتمی	–	۷۷	۱	۲۱	۱

جدول6-ترکیب شیمیایی جوش ایجاد شده توسط الکترود ER309 L درحالت فلزپایه بدون نیتروژن‌دهی

	ترکیب شیمیایی فلز پایه	٪۳۰ ×	ترکیب شیمیایی الکترود	٪۷۰ ×	نهایی
Cr	٪ ۱/۸	٪ ۰/۵۴	٪ ۲۵	٪ ۱۷/۵	٪ ۱۸/۰۴
Mo	٪ ۰/۲۵	٪ ۰/۰۷۵	٪ ۰/۷۵	٪ ۰/۵۲۵	٪ ۰/۶
Ni	٪ ۱/۵	٪ ۰/۴۵	۱۴	٪ ۹/۸	٪ ۱۰/۲۵
C	٪ ۰/۳	٪ ۰/۰۹	٪ ۰/۰۳	٪ ۰/۰۲۱	٪ ۰/۱۱۱
N	–	–	–	–	–

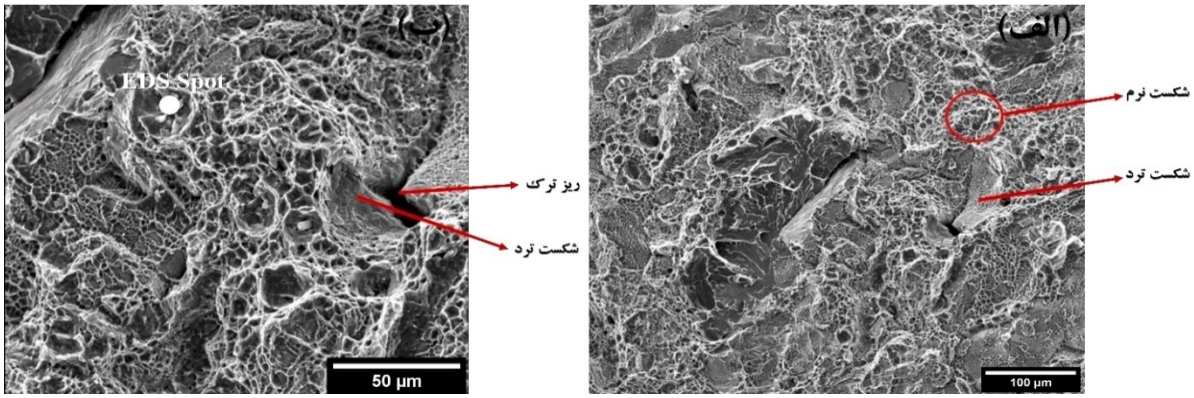
از دلایل اصلی این افزایش استحکام ورود کربن ناشی از ناحیه امتزاج فلزپایه به داخل فلزجوش است که به سختی‌پذیری فلزجوش افزوده است. در اثر افزایش سختی‌پذیری احتمال تشکیل فاز مارتنزیت افزایش پیداکرده که تصویر میکروسکوپ نوری نشان داده‌شده در شکل(4) نیز تأییدکننده این موضوع است. همچنین تشکیل کاربید کروم و رسوب کاربیدهای آلیاژی دیگر مانند کاربید منگنز باعث افزایش استحکام کششی در فلزجوش می‌شود. این افزایش خواص مکانیکی تا حد زیادی ناشی از ورود کربن از فلزپایه به درون فلزجوش هست که می‌تواند باعث تغییرات دیگری در فلزجوش مثل کاهش مقاومت به خوردگی و وقوع پدیده حساس شدن شود. علاوه بر این در تصویر میکروسکوپ نوری شکل(4) وقوع پدیده نواری شده نیز مشهود است. شکل(5) تصویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از مقطع شکسته شده این فلزجوش را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد سطح مقطع شکست متشکل از نواحی نرم و ترد هست؛ به عبارت دیگر در این شرایط شکست به صورت نیمه‌ترد اتفاق افتاده است. با توجه به تصویر میکروسکوپ نوری نشان داده‌شده در شکل (5-الف) حضور هر دو فاز آستنیت و مارتنزیت‌مشهود استو وقوع‌شکست نیمه‌ترد طبیعی به نظر می‌رسد. در تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی در بزرگنمایی‌های بالاتر وجود ریزترک‌هایی مشاهده می‌شود. این ریزترک‌ها که در شکل (4-ب) نشان داده‌شده است که می‌توانند در فصل مشترک بین فاز مارتنزیت و آستنیت تشکیل شوند. در جوشکاری با این نوع پرکننده با در نظر گرفتن درصد رقت 30 درصد، درصد تقریبی عناصر مورد نظر مطابق جدول(6) به دست آمده و مقدار کروم معادل و نیکل معادل آن برابر با 18/64 درصد و 14/135 خواهد بود. براساس نمودار WRC-1992 نشان داده شده در شکل(6) می‌توان دریافت فلزجوش کاملا آستنیتی است. ورود کربن و عناصر جزیی سخت‌کننده ناشی از ناحیه رقت جوش با حضور کروم موجود در پرکننده باعث افزایش سختی و استحکام کششی زیاد فلزجوش نسبت به فلزپایه می‌شود. در شکل (5-ب) و جدول (5) نتایج آنالیز EDS و مربوط به رسوب موجود در فلزجوش حاصل از پرکننده ER309L قبل ازنیتروژن‌دهی فلزپایه نشان داده‌شده که در آن درصد عنصر آلومینیوم بیشتر از بقیه عناصر است

3-3- نتایج حاصل از فلزجوش با پرکننده ER309L بر روی فلزپایه بعد از نیتروژن‌دهی فلزپایه

تصویر میکروسکوپ نوری فلزجوش ER309L پس از

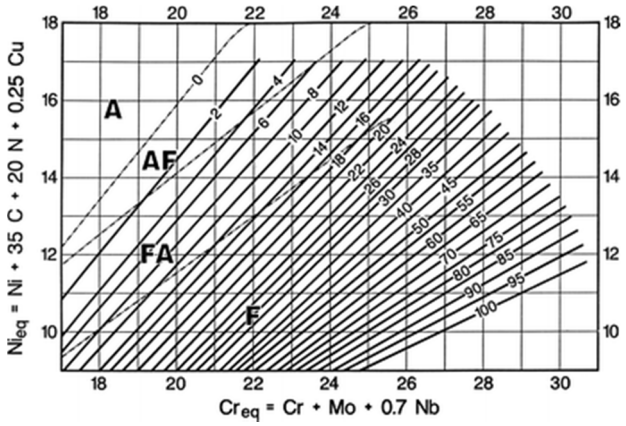
[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.9.7]



شکل5- تصویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از مقطع شکست جوش حاصل از فلزپرکننده ER309L بر روی آلیاژ 1/8550 قبل ازنیتروژن‌دهی، الف- بزرگنمایی 500 X و ب- بزرگنمایی 1500 X

نیتروژن‌دهی شده فلزپایه در شکل (7) نشان داده‌شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود حالت انجماد به‌صورت دندریتی ستونی هست و ریزساختار از فاز آستنیت تشکیل‌شده است. سختی فلزجوش در این حالت نسبت به حالت قبل کاهش پیداکرده است و به حدود 36 راکول سی رسیده است. علت غالب شدن فاز آستنیت نسبت به مارتنزیت آن است که نیتریدهای آهن و نیتریدهای آلیاژی تشکیل‌شده در فرایند نیتروژن‌دهی بر روی سطح قطعه در حین جوشکاری حل‌شده‌اند و نیتروژن آزادشده به فلزجوش نفوذ کرده است. با توجه به قدرت آستنیت زایی بالای نیتروژن به‌عنوان یک عنصر بین‌نشین، ترغیب فلزجوش به تشکیل فاز آستنیت طبیعی به نظر می‌رسد. در آزمایش کشش جوش حاصل از پرکننده ER309L بر روی فلزپایه بعد از نیتروژن‌دهی نشان از استحکام کشش نهایی 120MPa برای فلزجوش دارد. نتیجه آزمایش کشش این نوع پرکننده بیانگر استحکام کششی خیلی پایین هست. با بررسی تصاویر به‌دست‌آمده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مشخص می‌شود شکست از نوع کاملاً ترد است ولی نکته مهم دیگری درنتیجه شکست این نمونه وجود دارد که آن تحمل تنش بسیار پایین این نمونه قبل از گسست هست و باعث شده نمونه رفتاری شبیه به نمونه ترک‌دار نشان دهد. با بررسی بیشتر وجود ترک‌های زیاد در منطقه عدم اختلاط (UMZ) قابل‌مشاهده است زیرا این گسست در فصل مشترک HAZ و فلزجوش رخ‌داده است. در شکل(8) تصویر سطح این شکست ارائه شده است. دلیل وقوع این ترک‌ها عدم انعطاف‌پذیری دردمای بالا به نظر می‌رسد. همانطورکه مشخص است فولادهای دارای عناصر آستنیت زا حساسیت بالایی جهت وقوع ترک‌های ناشی از افت انعطاف‌پذیری دردمای بالا یا DDC دارند. در جوشکاری با این نوع پرکننده و فلز پایه حاوی 0/12 درصد نیتروژن، با در نظر گرفتن 30 درصد رقت، درصد تقریبی عناصر مورد نظر مطابق جدول(8) به دست آمده و مقدار کروم معادل و نیکل معادل آن برابر با 18/64 درصد و 16/535 خواهد بود. براساس نمودار WRC-1992 نشان داده شده در شکل (6) می‌توان دریافت فلزجوش کاملا آستنیتی است.

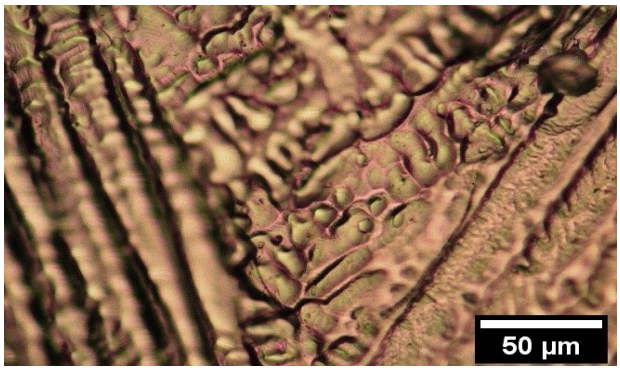


شکل6-نمودار WRC-1992 برای تخمین میزان فریت جوش و حالت انجماد

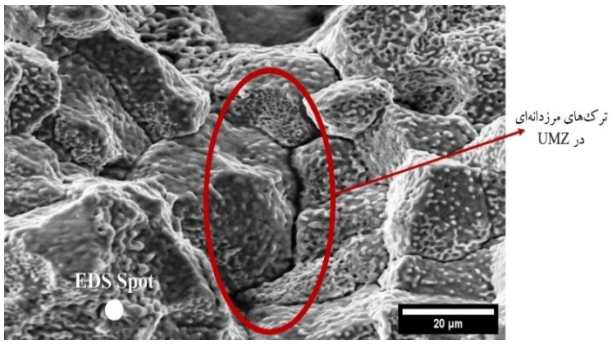
همان‌طور که در آنالیز EDS مشاهده می‌شود درصد آلومینیوم موجود در رسوب داخل مقطع شکست جوش به‌شدت نسبت به حالت جوشکاری قبل ازنیتروژن‌دهی کاهش پیداکرده و با توجه به اینکه آلومینیوم موجود در فلزجوش ناشی از ناحیه

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.9.7]

اختلاط یا (Dialution Zone) هست، این موضوع نیز اثبات‌کننده نتیجه‌گیری درباره نبود یا کمبود ناحیه اختلاط در حالت جوشکاری پس از نیتروژن‌دهی هست که باعث به وجود آمدن ناحیه UMZ و ترک ناشی از افت انعطاف‌پذیری در ناحیه مخلوط نشده که به علت نیتروژن‌دهی سختی سطحی خیلی بالایی داشته است، یا فصل مشترک جوش و فلزپایه شده است. دلیل وقوع این ترک‌ها تردی زیاد لایه نیتروژن‌دهی شده هست که این تردی و شکنندگی باعث شده سطح پخ نیتروژن‌دهی شده، انعطاف‌پذیری لازم و درنتیجه تحمل تنش‌های ناشی از جوشکاری را نداشته باشد.



شکل7- تصویر میکروسکوپ نوری فلزجوش حاصل از پرکنندهER309 L بر روی فلزپایه بعد از نیتروژن‌دهی.



شکل 8- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از مقطع شکست جوش حاصل از فلزپرکننده ER309L بر روی فلزپایه بعد از نیتروژن‌دهی.

3-4- نتایج حاصل از فلزجوش با پرکننده ER312 بر روی فلزپایه قبل از نیتروژن‌دهی فلزپایه

یکی دیگر از مواد پرکننده مورداستفاده برای اتصال مشابه در این تحقیق ER312 هست. این سیم پرکننده یک سیم جوش آستنیتی است که از آن برای جوشکاری فولادهای با استحکام کششی و تسلیم بالا و با مقاومت سایش بالا در دماهای کاری کمتر از 420 درجه سانتی‌گراد استفاده می‌شود. براساس نتیجه حاصل از آنالیز EDS (جدول 9) ترکیب شیمیایی فلزجوش تغییر کرده و نسبت آستنیت به فریت در فلزجوش افزایش می‌یابد، نوع انجماد با توجه به شکل و تغییر نسبت Cr_{eq}/Ni_{eq} با در نظر گرفتن 30 درصد درجه رقت یا شرکت فلزپایه در فلزجوش نسبت کروم معادل به نیکل معادل که برای فلزپرکننده ER312 حدود2/3 هست به حدود تقریبی 1/8 می‌رسد. این کاهش شدید نسبت کرم معادل به نیکل معادل نوع فازهای موجود در فلزجوش را تغییر می‌دهد و باعث بیشتر شدن فاز آستنیت نسبت به فریت می‌شود. در جوشکاری با این نوع پرکننده با در نظر گرفتن 30 درصد رقت، درصد تقریبی عناصر موردنظر مطابق جدول (10) به دست آمده و مقدار کروم معادل و نیکل معادل آن برابر با 21/515 درصد و 12/88 خواهد بود. براساس نمودار WRC-1992 نشان داده شده در شکل(6) می‌توان دریافت فلزجوش آستنیتی با عدد فریت 12 است. استحکام نهایی کششی براساس داده‌های کارخانه سازنده الکترود ER312 حدود 770MPa است. در آزمایش کشش جوش حاصل از پرکننده ER312 بر روی فولاد موردمطالعه قبل از نیتروژن‌دهی نشان از استحکام کشش نهایی 922MPa برای فلزجوش دارد. علاوه بر این نتایج آزمایش سختی سنجی نشان داد مقدار سختی حاصل شده برای این نمونه حدودا 51 راکول سی است.

3-5- نتایج حاصل از فلزجوش با پرکننده ER312 بر روی فلزپایه بعد از نیتروژن‌دهی فلزپایه

جوشکاری با این پرکننده درصورتی‌که لایه نیتروژن‌دهی شده به همراه ناحیه رقت در جوش شرکت می‌کند با در نظر گرفتن 0/4 میلی‌متر ضخامت لایه نیتروژن‌دهی شده و وجود یک درصد وزنی نیتروژن در داخل لایه نیتروژن‌دهی شده و در نظر گرفتن 30 درصد ناحیه رقت، درصد تقریبی نیتروژن فلزجوش 0/12% به دست می‌آید. با ورود نیتروژن در فلزجوش با توجه

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.9.7]

جدول7- نتیجه آنالیز EDS منطقه مختلف مشخص‌شده در شکل 8 از فلزجوش حاصل از پرکننده ER309L بر روی فلزپایه بعد از نیتروژن

نوع درصد	درصد عناصر (درصد وزنی٪)				
	O	Al	Cr	Fe	Ni
درصد وزنی	۳	۲	۲	۹۲	۱
درصد اتمی	۱۰	۳	۲	۸۴	۱

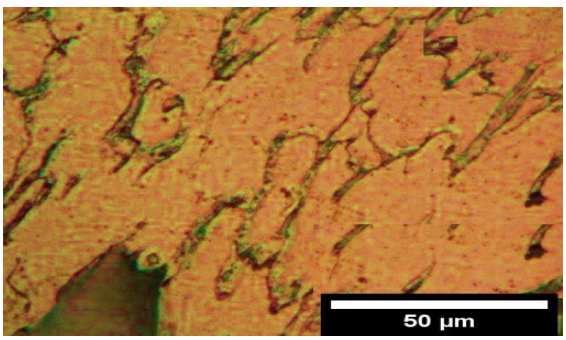
جدول 8-ترکیب شیمیایی جوش ایجاد شده توسط الکترود ER309L درحالت فلزپایه نیتروژن‌دهی

	ترکیب شیمیایی فلز پایه	٪۳۰ ×	ترکیب شیمیایی الکترود	٪۷۰ ×	نهایی
Cr	٪ ۱/۸	٪ ۰/۵۴	٪ ۲۵	٪ ۱۷/۵	٪ ۱۸/۰۴
Mo	٪ ۰/۲۵	٪ ۰/۰۷۵	٪ ۰/۷۵	٪ ۰/۵۲۵	٪ ۰/۶
Ni	٪ ۱/۵	٪ ۰/۴۵	۱۴	٪ ۹/۸	٪ ۱۰/۲۵
C	٪ ۰/۳	٪ ۰/۰۹	٪ ۰/۰۳	٪ ۰/۰۲۱	٪ ۰/۱۱۱
N	٪ ۰/۴	٪ ۰/۱۲	–	–	٪ ۰/۱۲

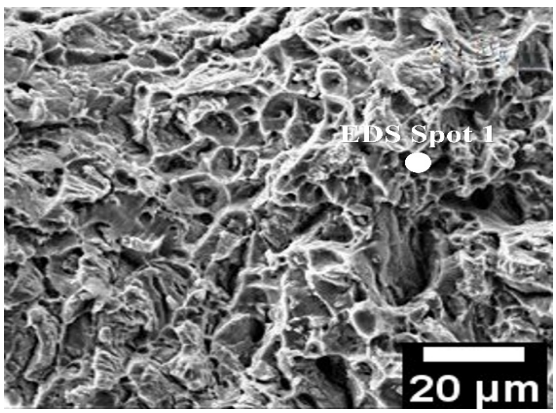
به آستنیت زایی آن و کاهش نسبت کروم معادل به نیکل معادل تا حدود 1/55 فلزجوش به‌صورت آستنیتی-فریتی با درصد فریت بین 10-8 درصد منجمد خواهد شد. فلزجوش حداقل فریت لازم برای جلوگیری از ترک انجمادی در این نسبت رقت را دارا هست. باید توجه داشت که میزان رقت بیشتر از این حد نشود در صورت افزایش نسبت رقت از 30% و کاهش نسبت کروم معادل به نیکل معادل از معیار 1/5 افزایش شدید حساسیت جوش به ترک انجمادی در جوش‌های ذوبی این دسته از فولادها رخ خواهد داد.

در جوشکاری با این نوع پرکننده و فلزپایه حاوی 0/12 درصد نیتروژن، با در نظر گرفتن 30 درصد رقت، درصد تقریبی عناصر مورد نظر مطابق جدول (12) به دست آمده و مقدار کروم معادل و نیکل معادل آن برابر با 21/515 درصد و 15/28 خواهد بود. براساس نمودار WRC-1992 نشان داده شده در شکل(6) می‌توان دریافت فلزجوش آستنیتی با عدد فریت 4 است. در آزمایش کشش جوش حاصل از پرکننده ER312 بر روی فلزپایه DIN 34CrAlNi7 بعد از نیتروژن‌دهی نشان از استحکام کشش نهایی 759MPa برای فلزجوش می‌دهد که تقریباً نزدیک به مقدار استحکام کشش نهایی فلزجوش حاصل از پرکننده ER312 براساس ادعای کارخانه سازنده الکترود که برابر 770MPa است. همچنین مقدار سختی نمونه حاصل شده حدودا 48 راکول سی است.

همان‌طور که در شکل(12) و جدول (11) آنالیز EDS (نقطه 1) از رسوبات موجود در فلزجوش پس از نیتروژن‌دهی فلزپایه نشان داده‌شده عنصر گوگرد (S) وجود دارد.



شکل9- تصویر میکروسکوپ نوری فلزجوش حاصل از پرکنندهER312 بر روی فلزپایه قبل از نیتروژن‌دهی.



شکل 10- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از مقطع شکست جوش حاصل از فلزپرکننده ER312 بر روی فولاد DIN 34CrAlNi7 قبل از نیتروژن‌دهی

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.9.7]

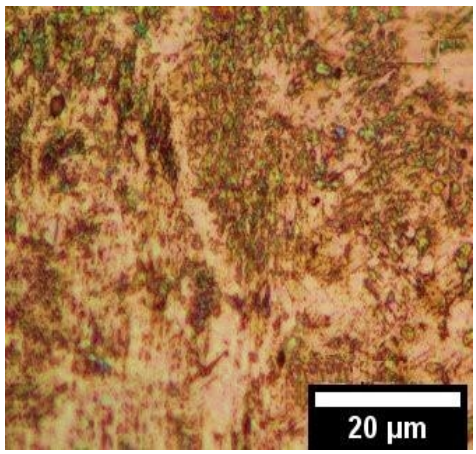
جدول 9-نتیجه آنالیز EDS منطقه مختلف مشخص‌شده در شکل 10 از فلزجوش حاصل از پرکننده ER312 بر روی فولاد DIN 34CrAlNi7 قبل از نیتروژن‌دهی.

نوع درصد	درصد عناصر (درصد وزنی٪)					
	C	O	Si	Cr	Fe	Ni
درصد وزنی	۰/۶	۰/۴	–	۲۴	۷۰	۵
درصد اتمی	۳	۲	–	۲۵	۶۶	۴

جدول10-ترکیب شیمیایی جوش ایجاد شده توسط الکترود ER312 درحالت فلزپایه بدون نیتروژن‌دهی

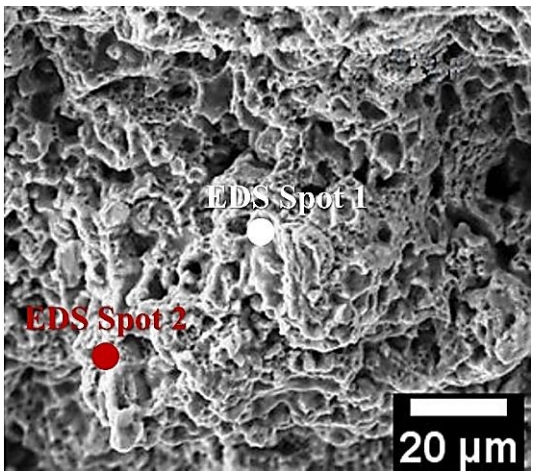
	ترکیب شیمیایی فلز پایه	٪۳۰ ×	ترکیب شیمیایی الکترود	٪۷۰ ×	نهایی
Cr	٪ ۱/۸	٪ ۰/۵۴	٪ ۲۹/۸۵	٪ ۱۷/۵	٪ ۲۱/۴۴
Mo	٪ ۰/۲۵	٪ ۰/۰۷۵	–	–	٪ ۰/۰۷۵
Ni	٪ ۱/۵	٪ ۰/۴۵	٪ ۹/۰۵	٪ ۶/۳۴	٪ ۶/۷۹
C	٪ ۰/۳	٪ ۰/۰۹	٪ ۰/۱۲	٪ ۰/۰۸۴	٪ ۰/۱۷۴
N	–	–	–	–	–

این دلیل محکمی برافزایش حساسیت به ترک انجمادی در این فلزجوش است. زیرا گوگرد از جبهه انجماد آستنیتی پس‌زده شده و درنهایت در صورت کمبود یا نبود Mn کافی در مذاب، مرز دانه‌ها را تر کرده و باعث ترک گرم می‌شود. در صورتی‌که با عنصر Mn ترکیب‌شده و تشکیل MnS دهد، باعث افت استحکام می‌شود. در جوش حاصل از پرکننده ER312 بعد از نیتروژن‌دهی این کاهش مشهود است.



شکل11- تصویر میکروسکوپ نوری فلزجوش حاصل از پرکننده ER312 بر روی فلزپایه بعد از نیتروژن‌دهی.

با توجه به ناحیه رقت فلزجوش در حالت نیتروژن‌دهی شده در آنالیز EDS (نقطه 2) مشخص است درصد مهمی از رسوب را Al به خوداختصاص داده است. دلیل آن را می‌توان جدا شدن یا تجزیه نیترید آلومینیوم روی سطح پخ یا لبه جوش فلز نیتروژن‌دهی شده و رسوب آلومینیوم به‌طور جداگانه دانست. با توجه به نقطه ذوب آلومینیوم و درنتیجه افزایش بازه انجماد، این عنصر نیز می‌تواند حساسیت به ترک انجمادی را در فلزجوش افزایش دهد.



شکل12- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از مقطع شکست جوش حاصل از فلزپرکننده ER312 بر روی فولاد DIN 34CrAlNi7 بعد از نیتروژن‌دهی.

واضح است که در حالت جوشکاری پس از نیتروژن‌دهی فلزپایه، میزان عناصر خطرساز و رسوبات، افزایش پیداکرده که از دلایل مهم آن تغییر الگوی انجماد و افزایش نسبت آستنیت به فریت به خاطر حضور نیتروژن و کربن ورودی از ناحیه رقت

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.9.7]

جدول 11- نتیجه آنالیز EDS منطقه مختلف مشخص‌شده در شکل 12 از فلزجوش حاصل از پرکننده ER312 بر روی فولاد DIN 34CrAlNi7 بعد از نیتروژن‌دهی.

نقاط	نوع درصد	درصد عناصر (درصد وزنی٪)							
		O	Al	Cr	Fe	Ni	Mn	S	Si
EDS Spot 1	درصد وزنی	۰/۸	۰/۲	۲۰	۵۱	۴	۱۵	۹	–
	درصد اتمی	۳/۵	۱/۵	۱۹	۴۵	۳	۱۳	۱۵	–
EDS Spot 2	درصد وزنی	۴	۱۹	۱۹	۵۳/۵	۱	۲/۵	۱	–
	درصد اتمی	۱۰	۲۹	۱۶	۳۸	۲	۳/۵	۱/۵	–

جدول12-ترکیب شیمیایی جوش ایجاد شده توسط الکترود ER312 درحالت فلزپایه نیتروژن‌دهی

	ترکیب شیمیایی فلز پایه	٪۳۰ ×	ترکیب شیمیایی الکترود	٪۷۰ ×	نهایی
Cr	٪ ۱/۸	٪ ۰/۵۴	٪ ۲۹/۸۵	٪ ۱۷/۵	٪ ۲۱/۴۴
Mo	٪ ۰/۲۵	٪ ۰/۰۷۵	–	–	٪ ۰/۰۷۵
Ni	٪ ۱/۵	٪ ۰/۴۵	٪ ۹/۰۵	٪ ۶/۳۴	٪ ۶/۷۹
C	٪ ۰/۳	٪ ۰/۰۹	٪ ۰/۱۲	٪ ۰/۰۸۴	٪ ۰/۱۷۴
N	٪ ۰/۴	٪ ۰/۱۲	–	–	٪ ۰/۱۲

هست. همین موضوع می‌تواند باعث افزایش عیوب و رسوب ترکیبات ناخواسته مثلMnS و درنتیجه افت استحکام کششی، انعطاف‌پذیری و در کل چقرمگی فلزجوش شود.

4-نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی کیفیت جوش‌های حاصل از پرکننده‌های (ER 309 L، ER312) روی فلزپایه نایترایدینگ DIN 34CrAlNi7 قبل و بعد از نیتروژن‌دهی پرداخته شد.

- با توجه به اثرات مخرب لایه نیتروژن‌دهی شده بر روی استحکام اتصال بهتراست جوشکاری این فولادها قبل از نیتروژن‌دهی فلزپایه انجام شود.

- در جوشکاری این فولادها پس از توجه به اینکه نیتروژن‌دهی سطحی انجام‌شده یا نه، درصورتی‌که نیتروژن‌دهی انجام‌شده باشد لازم است، به عمق، نوع نیتریدهای موجود، و درصد نیتروژن موجود در سطح توجه نموده، ترکیب نهایی و نحوه انجماد فلزجوش نیز پیش‌بینی شود.

- استفاده از فلزپرکننده ER309L در حالت پس از نیتروژن‌دهی فلزپایه با توجه به تغییر نحوه انجماد آن و افزایش احتمال ترک گرم، مجاز نیست. از این پرکننده فقط جهت جوشکاری این فولادها در شرایط قبل از نیتروژن‌دهی فلزپایه با نسبت رقت کمتر از 30% استفاده می‌شود.

- در حالت جوشکاری پس از نیتروژن‌دهی با استفاده از فلزپرکننده ER309L، به دلیل ورود نیتروژن که یک آستنیت‌زایی قوی است علاوه بر عناصر دیگر از ناحیه رقت به داخل فلزجوش، نوع انجماد به‌طور کامل در منطقه تک فازی آستنیتی قرار می‌گیرد که این تغییر باعث افزایش حساسیت جوش به ترک گرم شده منجر به کاهش استحکام کششی و سختی فلزجوش می‌شود.

- با توجه به‌سختی و استحکام بالای جوش حاصل از فلزپرکننده ER312 ونیز کاربردهای فولاد نایترایدینگ 1/8550 که اغلب در محیط‌های سایشی است می‌توان با رعایت نکات فنی و الزامات جوشکاری این فولادها را قبل و بعد از نیتروژن‌دهی با این نوع پرکننده جوشکاری نمود.

- در نمونه جوشکاری شده با فلزپرکننده ER312 ورود کربن از ناحیه رقت در فلزجوش در حالت قبل از نیتروژن‌دهی تشکیل کاربید و همچنین افزایش سختی‌پذیری، سختی و استحکام فلزجوش را در پی خواهد داشت. ولی در حالت بعد از نیتروژن‌دهی ورود نیتروژن علاوه بر کربن و عناصر دیگر از ناحیه رقت، باعث آستنیت زایی بیشتر و درنتیجه رسوب رسوبات ناخواسته مثلMnS می‌شود.

منابع

1-Kovacı, H., Seçer, Y., "Improved tribological

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.9.7]

performance of AISI 316L stainless steel by a combined surface treatment: Surface texturing by selective laser melting and plasma nitriding", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 400, pp. 126178, 2020.

2-Voevodin, A.A., Donley, M.S., Zabinski, J.S., "Pulsed laser deposition of diamond-like carbon wear protective coatings: a review", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 92, No. 1, pp. 42–49, 1997.

3-Anders, S., Anders, A., Brown, I.G., Wei, B., Komvopoulos, K., Ager, J.W., Yu, K.M., "Effect of vacuum arc deposition parameters on the properties of amorphous carbon thin films", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 68–69, pp. 388–393, 1994.

4- Ichimura, S., Takashima, S., Tsuru, I., Ohkubo, D., Matsuo, H., Goto, M., "Application and evaluation of nitriding treatment using active screen plasma", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 374, pp. 210–221, 2019.

5- Dong, H., "S-phase surface engineering of Fe-Cr, Co-Cr and Ni-Cr alloys", *International Materials Reviews*, Vol. 55, No. 2, pp. 65–98, 2010.

6-Adachi, S., Ueda, N., "Formation of S-phase layer on plasma sprayed AISI 316L stainless steel coating by plasma nitriding at low temperature", *Thin Solid Films*, Vol. 523, pp. 11–14, 2012.

7- Nagamatsu, H., Ichiki, R., Yasumatsu, Y., Inoue, T., Yoshida, M., Akamine, S., Kanazawa, S., "Steel nitriding by atmospheric-pressure plasma jet using N2/H2 mixture gas", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 225, pp. 26–33, 2013.

8- Dehghanghadikolaei, A., Mohammadian, B., Namdari, N., Fotovvati, B., "Abrasive Machining Techniques for Biomedical Device Applications", Vol. 5, pp. 1–11, 2018.

9-Mary O Amdur, John Doull, C.D.K., "Casarett and Doull's toxicology: the basic science of poisons", *Journal of occupational and environmental medicine*, Vol. 35, No. 1, pp. 76, 1993.

10-Fotovvati, B., Namdari, N., Dehghanghadikolaei, A., *On Coating Techniques for Surface Protection: A Review*, 2019.

11-Bankim Chandra Ray, Rajesh Kumar Prusty, D.N., *Phase Transformations and Heat Treatments of Steels 1st Edition*, 2020.

12-Shetty, D.K., Kumar, S., Rao, P., "Effect of Ion Nitriding on the Microstructure and Properties of Maraging Steel (250 Grade)", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 203, pp. 1530–1536, 2009.

13-Pye, D., *Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing*, ASM International, 2003.

14- اشرفی، ف.ا.، صالحی، م.، *متالورژی سطح و تریبولوژی*، انجمن علوم و تکنولوژی سطح ایران، 1374.

15-بشارت، ا.، *عملیات حرارتی: نیترایدینگ و نیتروکربورایزینگ*، فدک ایساتیس، 1391.

16-Davis, J.R., *Surface Hardening of Steels: Understanding the Basics*, ASM International, 2002.

17-Wegst, M., *Stahlschlüssel - Key to Steel 2019*, German Edi, French & European Pubns, 2019.

18- رحیمی نگار، سعید توحید. مطالعه ریزساختار و ریزسختی جوش فولاد زنگ‌نزن 316 L جوشکاری شده به روش TIG, A-TIG, FB-TIG. علوم و فناوری جوشکاری ایران. 1398; 5(2): 39-50.

19- Rayjada, P.A., Raole, P., Jhala, G., "Plasma nitriding on welded joints of AISI 304 stainless steel", *Surface and Coatings Technology*, pp. 306–311, 2013.

20- غلامی محمد، مستعان حسین، نعمت زاده فردین، سنبلی علی. توسعه اتصالات ذوبی غیرمشابه فولاد 4130 به فولاد زنگ‌نزن آستنیتی 201 و بررسی اثر فلزات پرکننده مختلف با هدف دستیابی به خواص مکانیکی و مشخصه‌های ریزساختاری بهبود یافته با استفاده از روش قوسی تنگستن-گاز. علوم و فناوری جوشکاری ایران. 1397; 4(2): 12-1.

[21-D.L. Olson, T.A. Siewert, S. Liu, G.R.E., *ASM Handbook Volume 6: Welding, Brazing, and Soldering*, ASM International, 1993.

22- صمدی محمدرضا، مستعان حسین، رفیعی مهدی، صالحی مصطفی. بررسی تأثیر متغیرهای جریان پالسی در جوشکاری قوسی تنگستن-گاز آلومینیوم 5456 بر تحولات ریزساختاری، رفتار خوردگی و خواص مکانیکی اتصالات، علوم و فناوری جوشکاری ایران. 1399; 6(1): 146-133.

23-Nawrocki, J.G., Dupont, J.N., Robino, C.V., Puskar, J.D. and Marder, A., "The mechanism of stress-relief cracking in a ferritic alloy stee", *WELDING JOURNAL-NEW YORK*, Vol. 82(2), pp. 25-s, 2003.

24- Poorkabirian M, Mostaan H, Rafiei M. The Effect of Filler Metal on Properties of AISI 4130 to AISI 316L Dissimilar Joint. jame. 2017; 36 (2) :33-46.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1401.8.1.9.7]