

توليد آرماتورهاي فولادي نيويوم دار استحکام بالا در شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان

حسين حاجی نظری^۱ - علیرضا شریف^۲

چکیده

با عنایت به توسعه صنعتی کشور و روند رو به رشد مصرف محصولات فولادی و جایگاه ویژه فولادهای میکروآلیاژی، شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان در راستای اهداف و استراتژی توسعه محصولات خود اقدام به تولید فولادهای میکروآلیاژی نیويوم دار نموده است. در این پژوهش ویژگی های ریزساختاری و تأثیر پارامترهای مختلف بر خواص مکانیکی آرماتورهای میکروآلیاژی نیويوم دار تولیدی این شرکت ارزیابی شده است. بررسی های انجام شده نشان می دهد به کارگیری سرد کردن کنترل شده حین نورد آرماتورهای فولادی نیويوم دار سبب افزایش استحکام تسلیم این محصولات تا بالاتر از 500 N/mm^2 شده است. نتایج حاکی از آن است که استفاده از دمش هوا حین نورد آرماتورهای میکروآلیاژی حاوی $0/05$ درصد نیويوم استحکام تسلیم این محصولات را تا 19 درصد نسبت به نمونه هایی که در شرایط عادی نورد شده اند افزایش داده است. این افزایش استحکام در مقایسه با نمونه های بدون نیويوم به مرز 32 درصد رسیده است.

کلید واژه ها: فولاد میکروآلیاژی نیويوم دار، استحکام تسلیم، سرد کردن کنترل شده

مقدمه

کربن به عنوان یک عنصر شیمیایی بیشترین تأثیر را جهت افزایش استحکام فولادها برعهده دارد، اما اثرات نامطلوبی روی ویژگی های تکنولوژیکی مانند قابلیت جوشکاری و تغییر شکل دارد. بعلاوه جهت دستیابی به استحکام و چقرمگی لازم جهت کاربرد در سازه ها نیازمند پشت سر گذاشتن پروسه های

۱- کارشناس ارشد مهندسی مواد، آزمایشگاه متالوگرافی مدیریت آزمایشگاه مرکزی شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان

۲- کارشناس ارشد مهندسی مواد، بخش تحقیقات مدیریت آزمایشگاه مرکزی شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان

عملیات حرارتی مانند فرایند کوئنچ و تمپر می باشد که مستلزم صرف هزینه های مالی و زمانی است [۱]. بنابراین امروزه تولید کنندگان و محققان به دنبال جایگزینی دیگر مکانیزم های استحکام بخشی به جای استفاده از کربن در تولید فولادهای با استحکام بالا و با هزینه مناسب هستند (جدول ۱).

از طرف دیگر طبق تئوری های مکانیک شکست، چقرمگی لازم جهت جلوگیری از توسعه ترک به طور نمایی با افزایش استحکام تسلیم افزایش می یابد، بنابراین فولادهای با استحکام بالاتر به چقرمگی مطلوب تری نیازمندند [۲]. چنانکه در شکل ۱ مشاهده می شود ریز کردن دانه ها بیشترین تأثیر را در جهت بهبود استحکام و چقرمگی مطابق اصل $d^{-1/2}$ داراست [۱]. اما یکی از راه های تولید فولادهای با استحکام و چقرمگی مطلوب و نیز با قابلیت جوشکاری و هزینه مناسب استفاده از عناصر میکروآلیاژی و کنترل فرایند نورد است. یکی از مهم ترین عناصر میکروآلیاژی مورد استفاده در فولادهای کم آلیاژ با استحکام بالا، نیویوم است. نیویوم از طریق دو مکانیزم اصلاح دانه^۲ و رسوب سختی^۳ سبب افزایش استحکام فولادها می شود. در حقیقت نیویوم در حین کار گرم بدو صورت سبب ریزشیدن ساختار نهایی می گردد که می توان از آن به تأثیر این عنصر بر استحکام بخشی از طریق مکانیزم اصلاح دانه یاد کرد:

الف) ذرات کاربید یا نیتروکاربید نیویوم که در آستنیت حل نشده اند (با اندازه حدود ۵۰۰-۲۰۰ nm) از رشد دانه حین عملیات حرارتی و نیز مراحل نورد جلوگیری می نمایند.

ب) بدلیل اختلاف زیاد بین قطر اتم های Nb و آهن (قطر اتم های نیویوم حدود ۱۵/۲٪ بزرگ تر از آهن است)، در فاز آستنیت سبب تأخیر در آغاز تبلور مجدد می گردد. در نتیجه اندازه دانه های آستنیت در این حالت کوچک تر و بنابراین دانه های نهایی ریزتر خواهند بود.

فرایند کنترل شده نفوذی دیگر که با حلالیت نیویوم در آستنیت رخ می دهد، به تأخیر انداختن استحاله γ به α ، تشکیل بینیت و رسوب ذرات سخت کاربید یا نیتروکاربید بسیار کوچک نیویوم (با اندازه حدود ۱-۲ nm) حین استحاله است که به دلیل داشتن فصل مشترک کوهرننت با زمینه سبب افزایش استحکام توسط مکانیزم رسوب سختی می شوند [۳ و ۴].

۱- High-Strength Low Alloy Steels

۲- Grain Refinement

۳- Precipitation Hardening

مواد و روش تحقیق

نمونه‌های آزمون در تحقیق حاضر از میان محصولات نورد شده تولیدی شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان انتخاب شدند. ترکیب شیمیایی و شرایط فرایند نورد در جدول ۲ آمده‌است. همانطور که مشاهده می‌شود نمونه‌های III و IV با ترکیب شیمیایی یکسان و از فولادهای میکروآلیاژی هستند که تنها شرایط فرایند نورد از نظر کنترل سرعت سرد شدن در آنها متفاوت است. نمونه‌های I و II نیز با ترکیب شیمیایی مشابه اما بدون نیویوم، از گرید فولادهای ساختمانی هستند که شرایط نورد کنترل شده بر نمونه II اعمال شده‌است. نمونه‌های موردنظر پس از آنالیز کوانتومتری، براساس استاندارد ASTM تحت آزمون کشش قرار گرفتند. پس از آن به منظور بررسی ویژگی‌های ریزساختاری محصولات، پس از آماده‌سازی اولیه آزمون متالوگرافی انجام گرفت.

یافته‌ها و بحث

در بررسی حاضر دو فاکتور افزایش سرعت سرد کردن حین فرایند نورد با استفاده از دمش هوا و استفاده از عناصر میکروآلیاژی به طور هم‌زمان بکار گرفته شده‌است. بنابراین بمنظور مطالعه جداگانه اثر هر کدام از فاکتورهای فوق در ابتدا به مقایسه ویژگی‌های ریزساختاری و خواص مکانیکی دو گروه از فولادهای ساختمانی که تنها شرایط فرایند تولید در آنها متفاوت بوده‌است می‌پردازیم و سپس همین مطالعات را در مورد نمونه‌های نیویوم دار انجام می‌دهیم. برای بررسی تأثیر عنصر میکروآلیاژی نیویوم خصوصیات متالورژیکی نمونه‌های نیویوم دار و بدون نیویوم که در شرایط سرد شدن با استفاده از دمش هوا و نیز شرایط معمولی نورد شده‌اند مورد مطالعه قرار گرفته‌است. در نتیجه گیری نهایی نیز ویژگی نمونه‌های بدون نیویوم که در شرایط معمولی نورد شده‌اند در قیاس با آرماتورهای نیویوم دار سرد شده توسط دمش هوا ارزیابی شده‌است.

چنانکه در شکل‌های ۲ و ۳ (تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های گروه I و II) مشاهده می‌گردد، سرعت سرد کردن کنترل شده در حین فرایند نورد منجر به تغییر مورفولوژی فریت از هم محور به ویدمن اشتاتن شده‌است. چنانکه در جدول ۳ نیز مشاهده می‌گردد این تغییر ریزساختاری که تنها ناشی از فرایند نورد کنترل شده می‌باشد منجر به افزایش استحکام تسلیم شده‌است. در حقیقت به دلیل فراتبریده‌های بزرگ تر در شرایط نورد کنترل شده، گرایش شدید مبنی بر رشد بصورت صفحه‌ای روی مرزدانه‌های آستنیت در

تولید آرماتورهای فولادی نیویوم دار...

فریت ایجاد می شود که مورفولوژی آن به صورت ویدمن اشتاتن تغییر می یابد. اما مقایسه بین تصاویر میکروسکوپی نمونه های گروه III و IV (شکل های ۴ و ۵) که از فولادهای میکروآلیاژی می باشد حاکی از تشکیل فازینیت علاوه بر تغییر مورفولوژی فریت می باشد. مقایسه نتایج آزمون کشش (جدول ۳) این نمونه ها نشانگر افزایش استحکام تسلیم به میزان ۱۹ درصد می باشد که این افزایش را می توان از یکسو به دلیل تشکیل بینیت و تغییر مورفولوژی فریت و از سوی دیگر به ایجاد مکانیزم رسوب سختی مربوط دانست. مطالعات نشان داده که حضور عنصر میکروآلیاژی نیویوم بصورت محلول در آستنیت سبب تأخیر در استحاله آستنیت به پرلیت و تقدم تشکیل بینیت می گردد. به نظر می رسد زمانی که آرماتورها حین نورد توسط دمش هوا سرد می شوند، نیویوم به صورت محلول و فوق اشباع در آستنیت باقیمانده و با ایجاد تأخیر در استحاله پرلیت و تقدم تشکیل بینیت و نیز با تشکیل رسوبات ریز کوه رنت سبب افزایش استحکام می شود [۵ و ۴].

با توجه به نتایج به دست آمده از آزمون کشش نمونه های I و II مشاهده می گردد که افزودن نیویوم به ترکیب شیمیایی فولاد سبب افزایش خواص مکانیکی شده است. با توجه به ساختار میکروسکوپی این نمونه ها (شکل های ۲ و ۴) این افزایش را می توان به ریزش دانه ها نسبت داد. اگرچه نمونه های گروه III جزو فولادهای میکروآلیاژی هستند اما همانطور که قبلاً اشاره شد به دلیل این که در شرایط معمولی نورد شده اند رسوبات درشت کاربید یا نیتروکاربید نیویوم تنها با جلوگیری از رشد دانه های آستنیت سبب ریزتر شدن ساختار نهایی می شوند.

اما نتیجه تکنیک به کارگیری همزمان هر دو فاکتور افزایش سرعت سرد کردن حین فرایند با استفاده از دمش هوا و نیز عناصر میکروآلیاژی را می توان در مقایسه ویژگی های ریزساختاری و خواص مکانیکی نمونه های I و IV مشاهده نمود. همان طور که در تصاویر میکروسکوپی این نمونه ها (شکل های ۲ و ۶) مشاهده می شود تشکیل بینیت و تغییر مورفولوژی فریت تنها تاحدی افزایش استحکام تسلیم (جدول ۳) را توجیه می نماید. همان طور که مطالعات قبلی نشان داده به کارگیری سرد کردن کنترل شده حین فرایند نورد در استفاده بهینه از عنصر میکروآلیاژی نیویوم عامل اصلی افزایش استحکام است. در حقیقت سرد کردن حین فرایند و باقیماندن نیویوم به صورت فوق اشباع و محلول در آستنیت از طرق زیر سبب بالارفتن استحکام تسلیم می گردند:

۱- تأخیر در استحاله آستنیت به پرلیت و تقدم در تشکیل بینیت.

۲- تغییر مورفولوژی فریت.

۳- رسوب سختی [۶].

نتیجه‌گیری

۱- به کارگیری سرد کردن کنترل شده حین نورد با تغییر ریزساختار سبب افزایش خواص مکانیکی آرماتورهای فولادی می‌شود. درحالی که میکروآلیاژسازی نیز با ریز کردن دانه‌ها همین تأثیر را برجای می‌گذارد.

۲- به کارگیری شرایط سرد کردن کنترل شده حین نورد آرماتورهای فولادی نیویوم‌دار سبب افزایش استحکام تسلیم این محصولات تا بالاتر از 500 N/mm^2 شده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله، حقوق مادی و معنوی این پژوهش را متعلق به مجموعه شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان می‌دانند و از مساعدت‌های صمیمانه بخش‌های مختلف شرکت به ویژه مدیریت‌های محترم امور فنی بهره‌برداری، فولادسازی، مهندسی نورد و کلیه پرسنل مدیریت آزمایشگاه مرکزی که در تهیه این مقاله آنها را یاری داده‌اند قدردانی و تشکر می‌نمایند.

مراجع

- [1] "Fundamentals of the Controlled Rolling Processes", Niobium Information No.7/94, CBmm, Brazil.
- [2] "Characteristic Features of Titanium, Vanadium and Niobium as Microalloy Additions to Steel", Niobium Information No.17/98, CBmm, Brazil.
- [3] K. Hulka & F. Heisterkamp, "High Strength Reinforcing Bar Steels with Niobium", Niobium Product Co. GmbH, 1985.
- [4] E.J. Palmiere, C.I. Garcia & A.J. deArdo, "Compositional and Microstructural Changes which Attend Reheating and Grain Coarsening in Steels Containing Niobium",

Metallurgical and Materials Transaction A, 1994, Vol.25A, pp 277-286.

[5] B. Eghbali and A. Abdollah-zadeh, "the Influence of Thermomechanical Parameters in Ferrite Grain Refinement in Low Carbon Nb-microalloyed Steels", Scripta Materialia, July 2005, Volume 53, Issue 1, Pages 41-45.

[6] J. Majta, R. Kuziak and M. Pietrzyk, "Modeling of the Influence of Thermomechanical Processing of Nb-microalloyed Steel on the Resulting Mechanical Properties", Journal of Materials Processing Technology, Volumes 80-81, 1 August 1998, Pages 524-530.

جداول و شکل‌ها

جدول ۱. روش‌های افزایش استحکام تسلیم آرماتورها [۳]

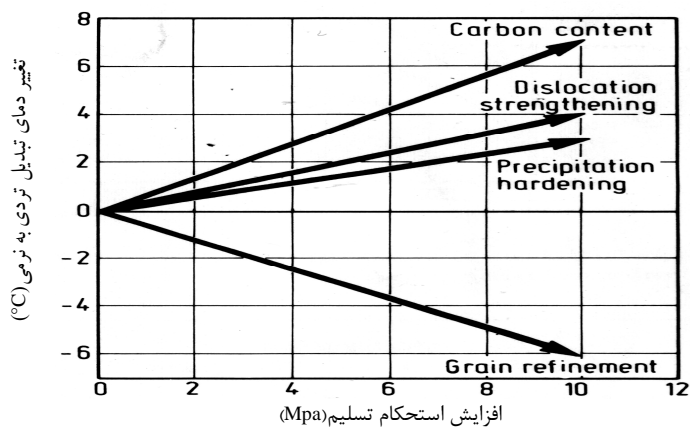
نورد گرم	تغییر شکل سرد (پیچش، کشش، نورد سرد)
الف) افزایش مقدار کربن و منگنز * کاهش قابلیت جوشکاری ب) عملیات حرارتی بعد از نورد (ترمکس) * سرمایه‌گذاری اضافی و مصرف آب ج) میکروآلیاژسازی * هزینه‌های آلیاژسازی	* هزینه‌های عملیات اضافی * سرمایه‌گذاری اضافی

جدول ۲. مشخصات نمونه‌های آزمون

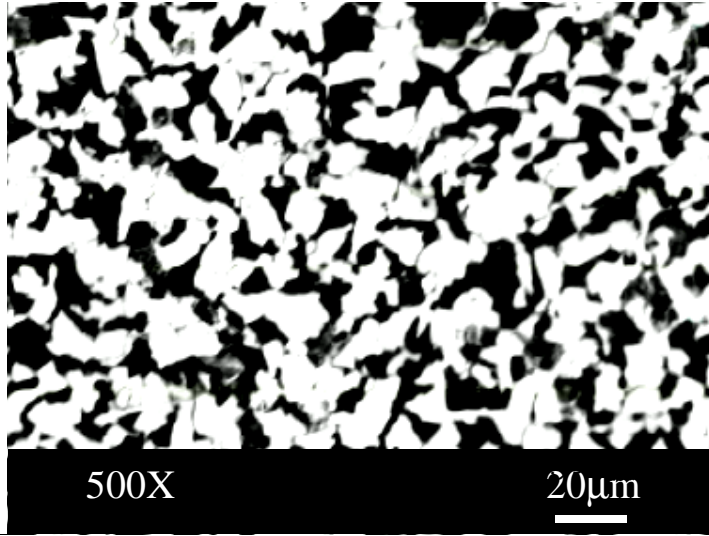
شماره گروه	%C	%Si	%Mn	%S	%P	%Nb	شرایط نورد
I	۰/۲۱	۰/۴۲	۱/۴	۰/۰۳۰	۰/۰۴۰	-	عادی
II	۰/۲۱	۰/۴۲	۱/۴	۰/۰۳۰	۰/۰۴۰	-	استفاده از دمش هوا
III	۰/۲۱	۰/۴۲	۱/۵	۰/۰۳۰	۰/۰۴۰	۰/۰۵	عادی
IV	۰/۲۱	۰/۴۲	۱/۵	۰/۰۳۰	۰/۰۴۰	۰/۰۵	استفاده از دمش هوا

جدول ۳. خواص مکانیکی نمونه‌های آزمون

شماره گروه	استحکام تسلیم (Mpa)	استحکام نهایی (Mpa)
I	۴۰۶	۶۱۲
II	۴۴۹	۶۴۹
III	۴۶۴	۶۶۱
IV	۵۴۲	۷۲۵

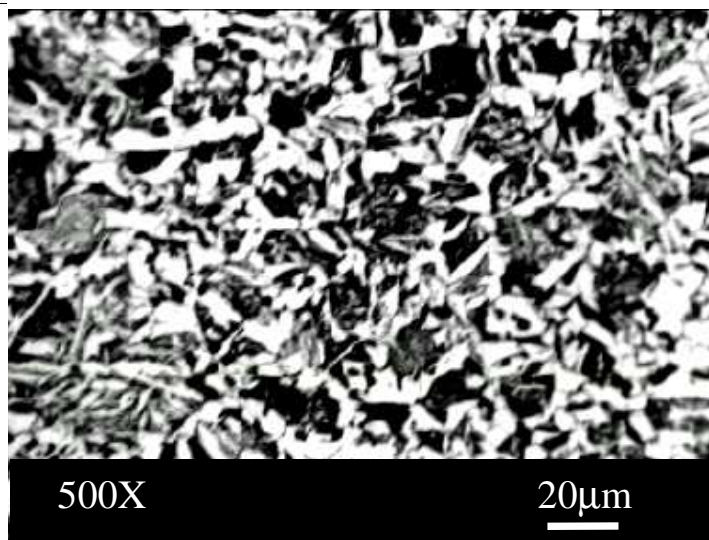


شکل ۱. تاثیر مکانیزم‌های افزایش استحکام بر تغییر دمای تبدیل تردی به نرمی [۱]

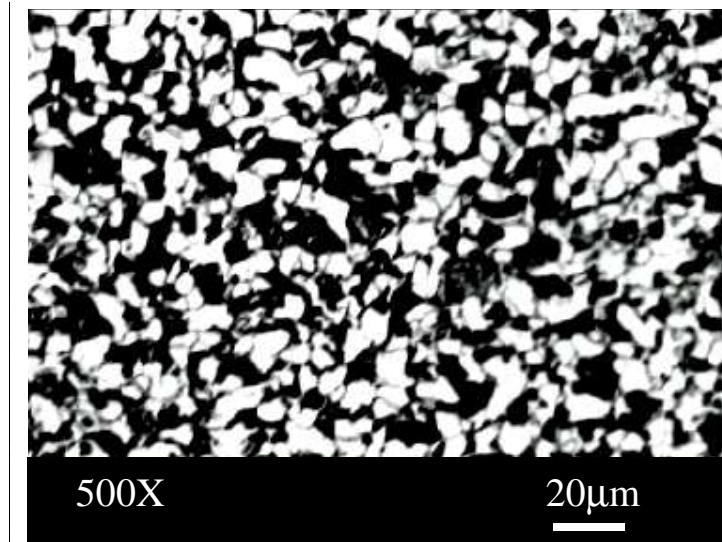


تولید آرماتورهای

شکل ۲. تصویر ریزساختار نمونه گروه I

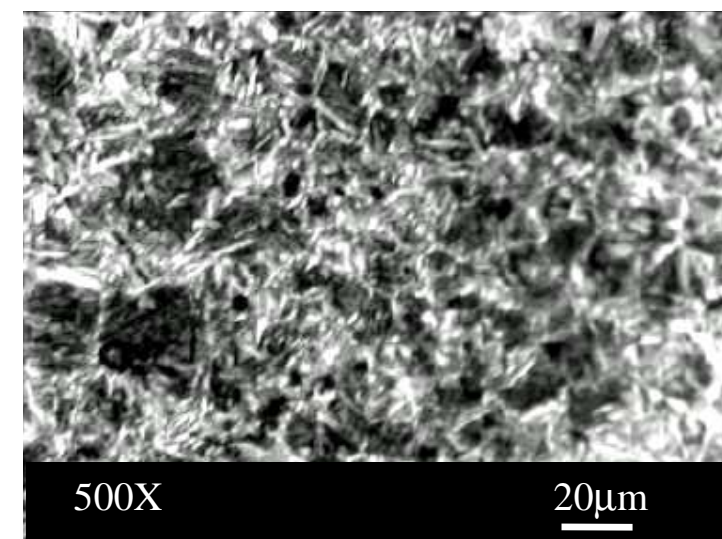


شکل ۳. تصویر ریزساختار نمونه گروه II

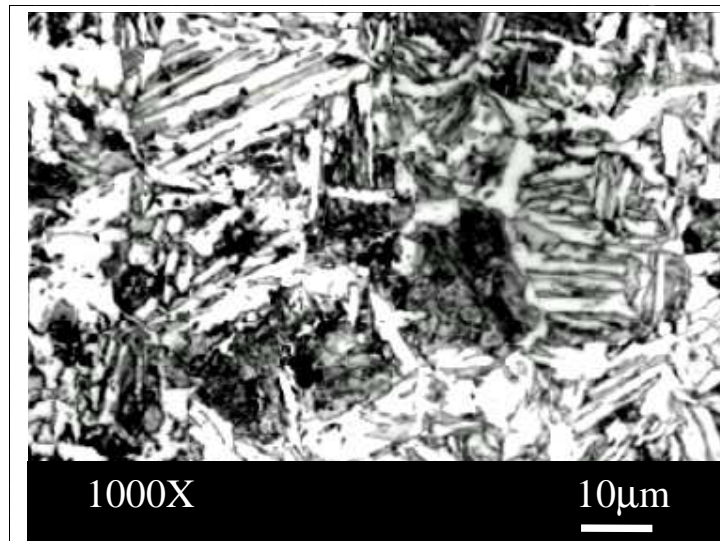


شکل ۴. تصویر ریزساختار نمونه گروه III

یازدهمین کنگره‌ی سالانه‌ی انجمن مهندسیین متالورژی ایران



شکل ۵. تصویر ریزساختار نمونه گروه IV



شکل ۶. تصویر ریزساختار نمونه گروه IV با بزرگنمایی بالاتر برای شناسایی بینیت

تولید آرماتورهای فولادی نیویوم دار...

Production of High Strength Nb-Micro alloyed Steel Bars by Esfahan Steel Company

Hossein Haji Nazari ^{1*} - Alireza Sharif ^{2**}

*- hhnazari@yahoo.com

** - alireza_sharif007@yahoo.com

Keywords: Nb-Micro Alloyed Steel, Yield Strength, Controlled Cooling

Abstract

1- M.S. Degree of Material Engineering, Metallurgy laboratory of Central Lab, ESCo.

2- M.S. Degree of Material Engineering, Rolling Research Department of Central Lab, ESCo.

By the industrial development in our country and high consumption growth rate of steel products, Isfahan steel company has produced Nb-micro alloyed steel bars with related to its goals and products development strategy.

This paper has been evaluated the microstructure and effects of different factors on mechanical properties of Nb-micro alloyed steel bars. Examinations showed that controlled cooling during rolling process increased the Nb-micro alloyed steel bars yield strength up to 500 N/mm². Using air cooling raised the yield strength about 19%. In compare with the non-micro alloyed samples this rate increased up to 32%.