نحوه استناد به این مقاله: قبیتی حسب، مهدی؛ خیام نکویی، سید رسول (۱۳۹۰). تاثیر شرایط عملیات حرارتی بر خواص کششی فولاد کم آلیاژ. تبدیل انرژی، ۲ (۱و۲)، ۱۹-۲۳.

تاثیر شرایط عملیات حرارتی بر خواص کششی فولاد کم آلیاژ

مهدی قبیتی حسب [۱و*] و سید رسول خیام نکویی [۲]

[۱] استادیار، گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول، دزفول، ایران.
[۲] دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

دریافت: اردیبهشت ۹۵، بازنگری: خرداد ۹۵، پذیرش: خرداد ۹۵

چکیده

در این تحقیق تاثیر محیط کوئنچ پس از آستنیته کردن، محیط کوئنچ پس از بازپخت و انجام بازپخت در دو مرحله بر استحکام تسلیم، استحکام کششی و درصد ازدیاد طول فولاد کم آلیاژ AISI 4130 شامل عناصر آلیاژی کروم، منگنز و سیلیسیوم بررسی شد. دمای آستنیته کردن ۸۸۰ درجه سانتی گراد در زمان ۲۰ دقیقه، دمای بازپخت اول ۴۸۰ درجه سانتی گراد در زمان ۱۲۰ دقیقه و دمای بازپخت دوم ۴۳۰ درجه سانتی گراد در زمان ۶۰ دقیقه انتخاب شدند. سطح شکست نمونه های عملیات حرارتی شده تحت شرایط مختلف با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مشاهده گردید.

* **عهده‌دار مکاتبات:** ghobeiti@iaud.ac.ir

کلمات کلیدی: فولاد کم آلیاژ، بازپخت دو مرحله ای، تست کشش، سطح شکست.

۱- مقدمه

فولادهای کم آلیاژ عملیات حرارتی پذیر استحکام بالا (HTLA) از فولادهای کاربردی هستند که حاوی کمتر از ۵ درصد وزنی عناصر آلیاژی و ۰/۲۵ تا ۰/۴۵ درصد وزنی کربن می باشند. فولاد کروم- منگنز- سیلیسیم دار یک نمونه از این فولادها است که در لوله های گاز و نفت، سازه های دریایی و ساحلی، صنعت اتومبیل سازی، مخازن تحت فشار و قطعات مربوط به سازه های هوا- فضا کاربرد گسترده دارد [۱]. این فولاد به خوبی تحت فرآیندهای مختلف عملیات حرارتی قرار می گیرد و بنابر کاربرد مورد نظر بایستی سیکل مناسب برای عملیات حرارتی آن انتخاب شود. یکی از رایج ترین فرایندهای عملیات حرارتی، بازپخت (تمپر) است [۲].

بازپخت عبارت است از حرارت دادن فولاد در درجه حرارت مناسب برای تبدیل کامل به آستنیت و سپس سرد کردن آن و مجددا حرارت دهی آن در دمایی پایین تر از محدوده فاز آستنیت. هدف اصلی از عملیات حرارتی بازپخت، افزایش چقرمگی (افزایش استحکام و انعطاف پذیری) است. شرایط بهینه بازپخت با توجه به استحکام و درصد ازدیاد طول (انعطاف پذیری) انتخاب می شود [۳].

بازپخت می تواند در مراحل، دماها، زمان ها و محیط های مختلف انجام شود. انجام دادن بازپخت در مراحل مختلف، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. در بسیاری از فولادها انجام چندین مرحله بازپخت رایج شده است [۴].

متغیرهای موثر عملیات بازپخت عبارتند از: دمای بازپخت، زمان بازپخت و نرخ سرمایش از دمای بازپخت (یا محیط سرمایش). دمای بازپخت در محدوده ۷۰۰-۲۰۰ درجه سانتی گراد انتخاب می شود و هر چه کمتر باشد ساختار پس از بازپخت ریزتر و نمونه دارای خواص مکانیکی مطلوبتری است. مدت زمان بازپخت بین ۱۰ دقیقه تا ۲۴ ساعت در نظر گرفته می شود؛ که معمول ترین آن ۱ تا ۳ ساعت است. محیط سرد کردن می تواند کوره، هوا و روغن انتخاب گردد [۵-۷].

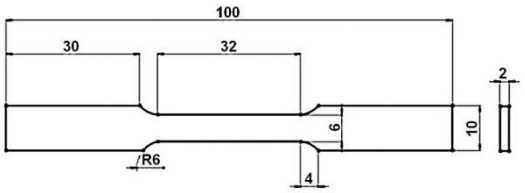
در این تحقیق چند سیکل عملیات حرارتی با تغییر در محیط کوئنچ پس از آستنیته کردن، محیط کوئنچ پس از بازپخت و انجام بازپخت دو مرحله ای بر روی فولاد کم آلیاژ AISI 4130 انتخاب گردید و خواص مکانیکی (استحکام تسلیم، استحکام کششی و درصد ازدیاد طول) نمونه های عملیات حرارتی شده تحت شرایط مختلف مورد مقایسه قرار گرفتند.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1390.2.1.2.8]

۲- مواد و روش انجام آزمایش

در این تحقیق از نمونه های فولاد AISI 4130 با ضخامت ۴ میلی متر و ابعاد ۳۶۰×۲۸۰ میلی متر استفاده گردید. نمونه های تست کشش طبق استاندارد ASTM E8M با ابعاد داده شده در شکل (۱) تهیه و با دستگاه تست کشش یونیورسال (مدل Santam-STM 150) تحت بررسی قرار گرفتند. ترکیب شیمیایی ورق با آنالیز کوانتومتری (جدول (۱)) نشان داد که این فولاد حاوی ۰٫۲۸ درصد کربن، ۰٫۹۰ درصد کروم، ۰٫۹۱ درصد منگنز و ۰٫۹۴ درصد سیلیسیم و مقادیر بسیار ناچیز فسفر و گوگرد است.



شکل(۱): ابعاد نمونه های تست کشش (بر حسب میلی متر).

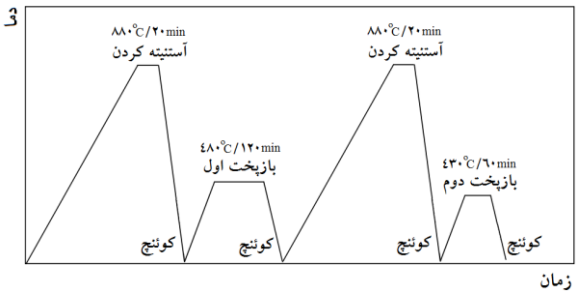
جدول(۱): آنالیز کوانتومتری فولاد مورد بررسی

عنصر	درصد وزنی
Fe	پایه
C	۰٫۲۸
Cr	۰٫۹۰
Mn	۰٫۹۱
Si	۰٫۹۴
P	۰٫۰۱۶
S	۰٫۰۱۴

برای بررسی تاثیر شرایط عملیات حرارتی، ۵ سیکل مختلف عملیات حرارتی در نظر گرفته شد که در هر کدام دو نمونه تهیه و پس از انجام عملیات حرارتی، تست کشش بر روی آنها انجام گردید. استحکام تسلیم، استحکام کششی و درصد ازدیاد طول برای هر نمونه تعیین و مقدار میانگین برای هر یک از شرایط مختلف عملیات حرارتی گزارش شد. سیکل کلی عملیات حرارتی در شکل (۲) نشان داده شده است. دمای آستنیته کردن ۸۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۰ دقیقه، دمای بازپخت اول ۴۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲۰ دقیقه و دمای بازپخت دوم ۴۳۰ درجه سانتی گراد به مدت ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شدند. شرایط ۵ سیکل عملیات حرارتی در جدول (۲) ارائه شده است. نمونه (۱) تحت شرایط کوئنچ در روغن پس از آستنیته شدن و کوئنچ در هوا پس از هر دو مرحله بازپخت قرار گرفت. نمونه (۲) برای بررسی تاثیر محیط کوئنچ پس از بازپخت در نظر گرفته شد، لذا به جای هوا در روغن کوئنچ شد. نمونه (۳) برای بررسی تاثیر محیط کوئنچ پس از آستنیته کردن طراحی گردید، لذا به جای روغن در آب کوئنچ شد. نمونه (۴) برای بررسی تفاوت خواص مکانیکی بین بازپخت یک مرحله ای و بازپخت دو مرحله ای انجام شد. نمونه (۵) نیز در شرایط کوئنچ شده و بازپخت نشده تهیه شد تا تاثیر بازپخت بر خواص مکانیکی بررسی گردد.

۳- نتایج و بحث

شکل (۳) تصویر ریزساختار نمونه خام و نمونه های عملیات حرارتی شده را با استفاده از میکروسکوپ نوری متالوگرافی (مدل Meiji-ML7100) که با محلول نایتال ۲ درصد (۲ درصد حجمی اسید نیتریک در الکل) اچ شده اند نشان می دهد.



شکل(۲): سیکل کلی عملیات حرارتی انجام شده در تحقیق.

جدول(۲): شرایط عملیات حرارتی برای هر نمونه

نمونه	محیط کوئنچ پس از آستنیته کردن	محیط کوئنچ پس از بازپخت اول	محیط کوئنچ پس از بازپخت دوم
(۱)	روغن	هوا	هوا
(۲)	روغن	روغن	روغن
(۳)	آب	هوا	هوا
(۴)	روغن	هوا	-
(۵)	روغن	-	-

همان طور که در شکل (۳- الف) مشاهده می شود ریزساختار نمونه خام، فریت- پرلیت است. ریزساختار نمونه فقط کوئنچ شده (نمونه (۵)) به صورت مارتنزیت خشن است (شکل (۳- و)). ریزساختار نمونه های بازپخت شده تحت شرایط مختلف (نمونه های (۱) تا (۴))، مارتنزیت ظریف است (شکل(۳- ب) تا (۳- ه)).

در شکل(۴- الف تا ج)، به ترتیب استحکام تسلیم، استحکام کششی و درصد ازدیاد طول نمونه های عملیات حرارتی شده تحت شرایط ذکر شده در جدول (۲) مقایسه شده است. مقایسه خواص کششی نمونه (۲) با نمونه (۱) نشان می دهد که افزایش سرعت سرد کردن پس از بازپخت (استفاده از محیط کوئنچ روغن به جای هوا) استحکام را افزایش ولی درصد ازدیاد طول

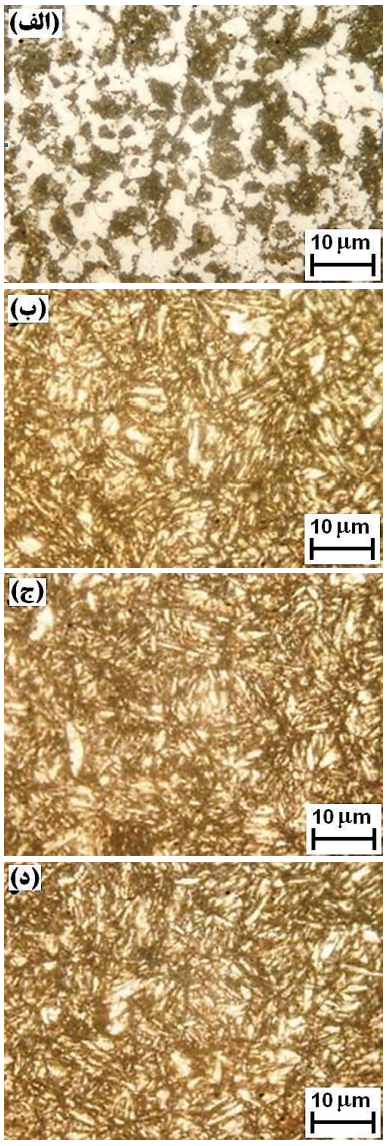
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-04]

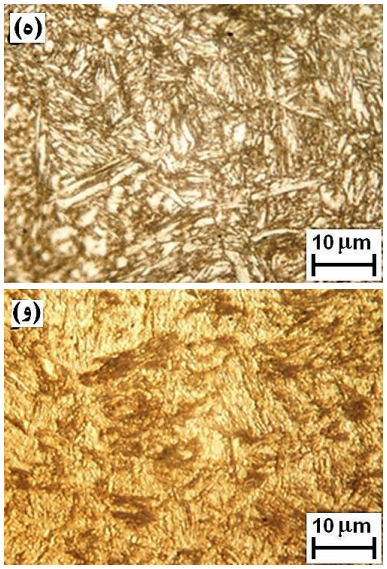
[DOR: 20.1001.1.20089813.1390.2.1.2.8]

(انعطاف پذیری) را کاهش می دهد. کاهش انعطاف پذیری می تواند ناشی از تنش های حرارتی در حین کوئنچ پس از بازپخت باشد که منجر به ایجاد تنش پسماند در نمونه شده و در نهایت در هنگام تست کشش، منجر به رفتار تردتر ماده می شود.

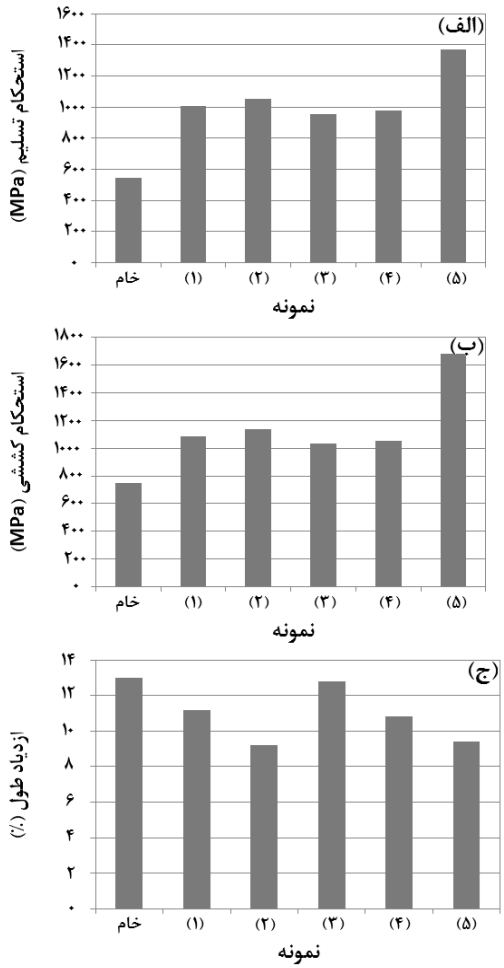
نتایج تست نمونه (۳) نشان می دهد که کوئنچ نمونه آستنیته شده در آب به جای روغن، بر روی استحکام تسلیم و استحکام کششی، اثر منفی دارد.

مقایسه نتایج تست نمونه (۱) با نمونه (۴) نشان داد که نمونه بازپخت دو مرحله ای شده، در مقایسه با نمونه یک مرحله بازپخت شده، هم استحکام و هم ازدیاد طول بیشتری دارد (افزایش چقرمگی). هدف از انجام تست نمونه (۵) مقایسه خواص مکانیکی قبل و بعد از بازپخت بود. به دلیل وجود مارتنزیت خشن بروز رفتار ترد از این نمونه انتظار می رود.





شکل(۳): ریزساختار نمونه (الف) خام (ب) ۱ (ج) ۲ (د) ۳ (ه) ۴ (و) ۵.



شکل(۴): نمودار تغییرات (الف) استحکام تسلیم (ب) استحکام کششی و (ج) ازدیاد طول در نمونه های عملیات حرارتی شده تحت شرایط مختلف.

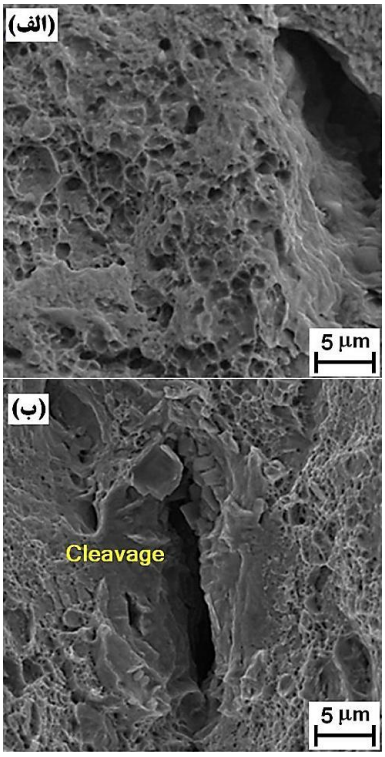
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-04]

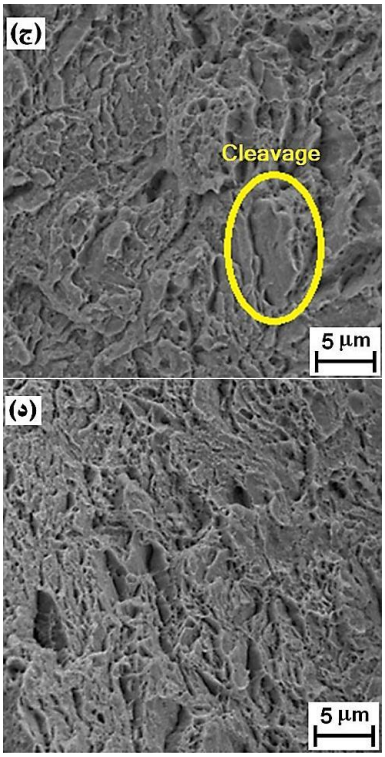
[DOR: 20.1001.1.20089813.1390.2.1.2.8]

سطوح شکست نمونه های خام، کوئنچ شده، بازپخت یک مرحله ای شده و بازپخت دو مرحله ای شده پس از تست کشش به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی (مدل CamScan MV2300) مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج در شکل (۵) ارائه شده اند. با توجه به شکل (۵- الف) شکست غالب در نمونه خام، نرم بوده و حفرات ریز و متعدد موجود در تصویر این مطلب را تایید می کند. وجود فازهای نرم فریت و پرلیت در ریزساختار این نمونه موجب شده ماهیت شکست نرم باشد.

در نمونه کوئنچ شده (شکل (۵- ب)) سطح شکست صاف تر و به صورت رَخ برگی (کلیواژ) می باشد؛ به عبارتی ماهیت شکست ترد است که ناشی از ریزساختار مارتنزیت خشن می باشد.

شکست نمونه های بازپخت شده (شکل (۵- ج)) و (شکل(۵- د)) عمدتا نرم و در برخی نقاط خصوصیات شکست ترد نیز مشاهده می گردد. کاهش نسبی سطوح شکست ترد نمونه بازپخت دو مرحله ای شده نسبت به نمونه بازپخت یک مرحله ای شده محسوس است.





شکل(۵): سطح شکست (الف) نمونه خام (ب) نمونه کوئنچ شده (ج) نمونه یک مرحله بازپخت شده و (د) نمونه دو مرحله بازپخت شده.

۴- نتیجه‌گیری

تاثیر محیط کوئنچ پس از آستنیته کردن، محیط کوئنچ پس از بازپخت و انجام دو مرحله بازپخت طی عملیات حرارتی یک نمونه فولاد کم آلیاژ عملیات حرارتی پذیر استحکام بالای کروم-منگنز- سیلیسیوم دار مورد بررسی قرار گرفتند. مقایسه خواص مکانیکی نمونه بازپخت شده در یک مرحله و بازپخت شده در دو مرحله نشان داد که بازپخت مرحله دوم منجر به افزایش حدود ۳۰ مگاپاسکال در استحکام تسلیم، ۳۵ مگاپاسکال در استحکام نهایی و ۰/۴ درصد در ازدیاد طول شده است. مشاهده سطح شکست پس از تست کشش نشان داد که شکست نمونه دو مرحله بازپخت شده نسبت به نمونه یک مرحله بازپخت شده به صورت نرم تر صورت گرفته است.

مراجع:

[1] H. Ghazanfari, M. Naderi, M. Iranmanesh, M. Seydi, A. Poshteban, A comparative study of the microstructure and mechanical properties of HTLA steel welds obtained by the tungsten arc welding and resistance spot welding, Materials Science and Engineering (A), 534 (2012) 90-100.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1390.2.1.2.8]

[2] S.A. Madyanov, Effect of double tempering on the properties of steels, Obrabotka Metal, 7 (1974) 63-64.

[3] C.F. Kuang, J. Li, S.G. Zhang, J. Wang, H.F. Liu, A.A. Volinsky, Effects of quenching and tempering on the microstructure and bake hardening behavior of ferrite and dual phase steels, Materials Science and Engineering A, 613 (2014) 178-183.

[4] M.X. Wei, S.Q. Wang, L. Wang, X.H. Cui, K.M. Chen, Effect of tempering conditions on wear resistance in various wear mechanisms of H13 steel, Tribology International, 44 (2011) 898-905.

[5] A.M. Rashidi, M. Moshrefi-Torbati, Effect of tempering conditions on the mechanical properties of ductile cast iron with dual matrix structure (DMS), Materials Letters, 45 (2000) 203-207.

[6] F.M. Khromchenko, G.L. Brodskaya, Effect of tempering conditions on the performance efficiency of welded joints in a structural steel, Welding International, 3 (1989) 250-252.

[7] H.R. Bakhsheshi-Rad, A. Monshi, H. Monajati-Zadeh, M.H. Idris, M.R. Abdul Kadir, H. Jafari, Effect of multi-step tempering on retained austenite and mechanical properties of low alloy steel, Journal of Iron and Steel Research, 18 (2011) 49-56.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-04]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1390.2.1.2.8]