چهارمین همایش مشترک
انجمن مهندسین متالورژی و انجمن علمی ریخته گری ایران
۲۴ و ۲۵ آبان ماه ۱۳۸۹، دانشگاه علم و صنعت ایران

بررسی تاثیر کربن دهی چند مرحله ای و سیکل نفوذی بر روی خواص مکانیکی قطعات کربوره شده فولادی

علیرضا امیرخانی نجف آبادی [۱]، مهرداد کاشفی [۲]

۱- *دانشگاه صنعتی سهند*
۲- *دانشگاه فردوسی مشهد*

چکیده

در این تحقیق به منظور دستیابی به خواص مکانیکی مورد نظر در قطعات کربوره شده، از سیکل های عملیات حرارتی سخت کردن مستقیم، سخت کردن یک مرحله ای و سخت کردن دو مرحله ای استفاده شد. بمنظور جلوگیری از درشت شدن دانه ها در حین عملیات کربن دهی از یکی از روش های سخت کردن دو مرحله ای و یا روش ریزکردن دانه های مغز و سطح و سپس سخت کردن استفاده شد و تاثیر سیکل های عملیات حرارتی مختلف پس از کربن دهی بر روی ریزساختار و خواص مکانیکی سطح و مغز یک فولاد کربوره DIN:16MnCr5 با نام تجاری CE2 با استفاده از آزمایشات کشش و تست های ریزسختی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان می دهد که سیکل های موسوم به عملیات حرارتی پس از کربن دهی تاثیر زیادی بر بهبود خواص مکانیکی از جمله پروفیل سختی و استحکام کششی نهایی(UTS) قطعات کربوره شده دارد.

کلمات کلیدی: کربوره کردن چند مرحله ای، فولاد سمانته، استحکام کششی نهایی، پروفیل سختی

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد
[۲] استادیار

بررسی تاثیر کربن دهی چند مرحله ای و سیکل نفوذی بر روی خواص مکانیکی قطعات کربوره شده فولادی

علیرضا امیرخانی نجف آبادی [1]، مهرداد کاشفی[2]

چکیده

در این تحقیق به منظور دستیابی به خواص مکانیکی مورد نظر در قطعات کربوره شده، از سیکل های عملیات حرارتی سخت کردن مستقیم، سخت کردن یک مرحله ای و سخت کردن دو مرحله ای استفاده شد. بمنظور جلوگیری از درشت شدن دانه ها در حین عملیات کربن دهی از یکی از روش های سخت کردن دو مرحله ای و یا روش ریزکردن دانه های مغز و سطح و سپس سخت کردن استفاده شد و تاثیر سیکل های عملیات حرارتی مختلف پس از کربن دهی بر روی ریزساختار و خواص مکانیکی سطح و مغز یک فولاد کربوره DIN:16MnCr5 با نام تجاری CE2 با استفاده از آزمایشات کشش و تست های ریزسختی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان می دهد که سیکل های موسوم به عملیات حرارتی پس از کربن دهی تاثیر زیادی بر بهبود خواص مکانیکی از جمله پروفیل سختی و استحکام کششی نهایی(UTS) قطعات کربوره شده دارد.

کلمات کلیدی: کربوره کردن چند مرحله ای، فولاد سمانته، استحکام کششی نهایی، پروفیل سختی

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مواد، دانشگاه صنعتی سهند. (ara.amirkhani@gmail.com).
[2] استادیار گروه متالورژی دانشکده مهندسی،دانشگاه فردوسی مشهد

1. مقدمه

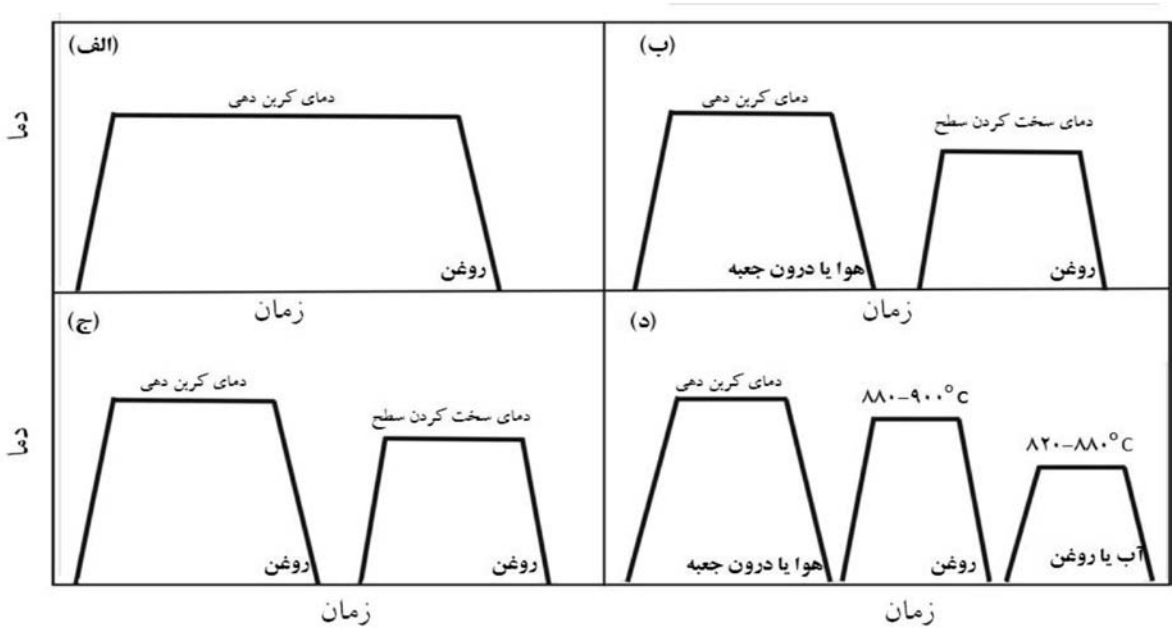
فولاد CE2 به صورت متداول یکی از فولادهای پرکاربرد در صنایع خودرو، قطعه سازی و ماشین سازی می باشد. انواع چرخ دنده، میل مرغک، مفصل گاردان، اجزاء فرمان، انواع محورها، پین، سنبه، اجراء جعبه دنده، یاتاقان تخت و انواع لاینرهای قفسه های نورد از جمله قطعات قابل ساخت توسط این فولاد هستند. این فولاد از خانواده فولادهای سمانتاسیون به شمار می رود که عموماً تحت عملیات سطحی کربوره کردن قرار می گیرد تا با تشکیل یک قشر سخت، خواص تریبولوژیکی آن بهبود یابد. عملیات کربوراسیون سطحی در محدوده حرارتی 900 تا 1040 درجه سانتی گراد در حالت جامد انجام می شود. نحوه عملیات به این صورت است که آلیاژ در محیط غنی از کربن (مایع، جامد، گاز) تا دمای معینی گرم شده و مدتی در این دما نگه داشته می شود. تحت این شرایط کربن اتمی به داخل آلیاژ نفوذ می کند و به این ترتیب لایه پرکربن در سطح به دست می آید[1و4]. برای رسیدن به سختی مناسب، نمونه وارد محیط خنک کننده مناسب می گردد. با توجه به دمای بالای عملیات کربوره کردن و همچنین نیاز به عملیات کوئنچ در این فرآیند، مشکلات اجتناب ناپذیری در این روش وجود دارد. برخی از این مشکلات عبارتند از: اعوجاج، پوسته شدن، درشت شدن دانه ها، ایجاد آستنیت باقی مانده بعد از سرد کردن نمونه و ایجاد ترک و سایش زیاد سایر قطعات درگیر با قطعه کربوره شده[2]. نکته بسیار مهم که در رابطه با عملیات حرارتی قطعات کربن داده شده باید به توجه داشت، مسئله درشت شدن دانه ها و کاهش خواص مکانیکی ناشی از آن در حین کربن دهی است[5]. در این شرایط به منظور حصول بهترین خواص مکانیکی، قبل از هرگونه سخت کاری، دانه ها باید ریز شوند، و یا روشی برای سخت کردن انتخاب شود که در ضمن سخت کردن سطح، دانه ها نیز ریز شده و بدین ترتیب خواص مکانیکی مطلوب بدست آید. بنابراین به منظور دستیابی به خواص مکانیکی مورد نظر، قطعات کربن داده شده را باید تحت عملیات حرارتی مناسب موسوم به عملیات حرارتی بعد از کربن دهی قرار داد[6و7]. این عملیات با استفاده از یکی از

روش های زیر انجام می شود.

1-سخت کردن مستقیم: در این روش قطعه پس از کربن دهی و از همان دما مستقیماً و بلافاصله به محیط سخت کننده که معمولا روغن می باشد انتقال داده می شود (شکل1. الف).

2-سخت کردن یک مرحله ای: در این روش ابتدا قطعه را پس از کربن دهی به آرامی در هوای اتاق سرد می کنند(در جعبه کربوراسیون یا در هوا). سپس با توجه به درصد کربن سطح، آن را در دمای مناسب آستنیته کرده و در محیط سردکننده مناسب(ترجیحاً روغن) سرد می شود (شکل1.ب).

3-سخت کردن دو مرحله ای: این روش خود می تواند با دو چرخه انجام شود. یکی سرد کردن سریع و مستقیم قطعه کربن داده شده در روغن و سپس آستنیته کردن سطح و مغز وقطعه در دمایی پایین تر از دمای کربن دهی و سرد کردن سریع مجدد در روغن(چرخه یک). چرخه دیگر به این صورت است که قطعه کربن داده شده ابتدا در هوا تا دمای اتاق به آرامی سرد شده و سپس آنرا در دمای آستنیته مغز، آستنیته کرده و سریع سرد می کنند (مرحله اول). پس از آن قطعه را در دمای پایین تر (آستنیته سطح) حرارت داده و سریع سرد می کنند (مرحله دوم) شکل(1.ج و د). در این روش معمولا سخت کردن مرحله اول در روغن و سخت کردن مرحله دوم در آب یا روغن انجام می گیرد. شمای این عملیات در شکل 1 آورده شده است.



شکل1. عملیات حرارتی قطعات کربن داده شده (الف)سخت کردن مستقیم. (ب)سخت کردن یک مرحله ای. (ج)سخت کردن دومرحله ای(چرخه یک). (د) سخت کردن دومرحله ای(چرخه دو).

2. مواد و روش تحقیق

برای انجام این تحقیق از نمونه های میلگرد به قطر 18 میلیمتر از جنس فولاد سمانته AISI 5115 با نام تجاری CE2 استفاده شد. قبل از انجام آزمایشات تمامی نمونه ها در دمای 850°c به مدت 30 دقیقه آستنیته شده و در روغن سرد شدند و به منظور دستیابی به ساختاری ریزدانه و یکنواخت، نمونه ها به مدت 15 دقیقه در دمای 650°c تمپر شدند و به سختی 170 ویکرز رسیدند. ترکیب شیمیایی فولاد در جدول1 آورده شده است. به منظور انجام آزمون کشش، نمونه های کشش بر اساس استاندارد ASTM A370-B ماشین کاری شدند و همراه با نمونه های میلگرد به طول 5 سانتی متر و قطر 18 میلیمتر به منظور انجام آزمایشات ریزسختی و ریزساختاری در داخل جعبه سمانتاسیون قرار گرفتند.

جدول1. ترکیب شیمیایی فولاد استفاده شده در این تحقیق

DIN:16MnCr5 (CE2)	درصد وزنی عناصر (Wt%)				
	C	Si	Mn	Cr	Fe
	0/17	0/4 >	1/15	0/95	مابقی

سیکل های مختلف کربن دهی که از آن به عنوان عملیات حرارتی بعد از کربن دهی یاد می شود به دقت مورد بررسی قرار گرفت و نهایتا بررسی هر چهار سیکل در دستور کار قرار گرفت. به منظور بررسی تأثیر سیکل نفوذی بعد از عملیات کربوراسیون، سعی شده تا حد امکان متغیرهای سیکل ها تغییر داده شود و از تغییر متغیرهای مربوط به خود فرایند جلوگیری شود. به این منظور متغیرهای دما و زمان کربن دهی و زمان آستنیه کردن در طی انجام سیکل ها ثابت در نظر گرفته شدند. برای انجام عملیات کربوراسیون از روش کربوراسیون جامد استفاده شد. محتویات جعبه سمانتاسیون شامل 80 درصد وزنی کربن الک شده و 20 درصد وزنی کربنات باریم به عنوان ماده انرژی زا انتخاب شد[3]. نمونه ها به گونه ای که از هم در سه جهت حدود 5 سانتی متر و فاصله از دیواره ها 3 سانتی متر بود، در داخل جعبه قرار گرفت و روی آنها 5 سانتی متر براده چدن و حدود 5 سانتی متر گل نسوز قرار داده شد. این جعبه به مدت 6 ساعت در دمای 925°c به منظور انجام عملیات کربن دهی در داخل کوره قرار گرفت.

بعد از انجام عملیات کربن دهی یکسان برای 6 نمونه، 2 نمونه در روغن کوئنچ و 4 نمونه دیگر در هوا سرد شدند. سپس 3 نمونه سرد شده در هوا و 1 نمونه کوئنچ شده در روغن به مدت یک ساعت در دمای 880°c قرار گرفته و هر 4 نمونه در روغن کوئنچ شدند. سپس دو نمونه از آنها که در مرحله اول در هوا سرد شده بودند به مدت 1ساعت در دمای 825°c قرار گرفتند و یکی از آنها در روغن و دیگری در آب کوئنچ شد. به طور کلی عملیات انجام شده برای نمونه ها به صورت زیر خلاصه شده است:

نمونه 1: بدون عملیات (نمونه شاهد).

نمونه 2:کربن دهی و سرد کردن در هوا (از دمای 925°c).

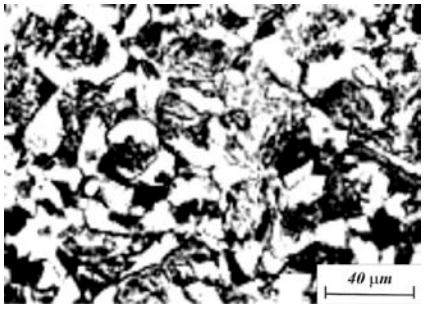
نمونه 3:سیکل مستقیم، کربن دهی و کوئنچ در روغن (از

دمای 925°c).
نمونه 4: سیکل یک مرحله ای، کربن دهی و سرد کردن در هوا (از دمای 925°c)، کوئنچ در روغن (از دمای 880°c).
نمونه 5: سیکل دو مرحله ای(چرخه یک)، کربن دهی و کوئنچ در روغن (از دمای 925°c)، کوئنچ در روغن (از دمای 880°c).
نمونه 6: سیکل دو مرحله ای(چرخه دو)، کربن دهی و سرد کردن در هوا (از دمای 925°c)، کوئنچ در روغن (از دمای 880°c)، کوئنچ در روغن (از دمای 825°c).
نمونه 7: سیکل دو مرحله ای(چرخه دو)، کربن دهی و سرد کردن در هوا (از دمای 925°c)، کوئنچ در روغن (از دمای 880°c)، کوئنچ در آب (از دمای 825°c).
جهت بررسی ضخامت لایه کربوره، نمونه ها برش خورده، و در حالت پولیش جهت انجام آزمایش ریزسختی با دستگاه سختی سنجی ویکرز آماده شدند. سطح نمونه های متالوگرافی پس از سمباده زنی و پرداخت بوسیله پودر آلومینا، توسط محلول اچ نایتال 2 درصد حکاکی شد. سپس آزمون کشش با سرعت 0/5 میلیمتر بر ثانیه در دمای محیط برای کلیه نمونه ها انجام شد.

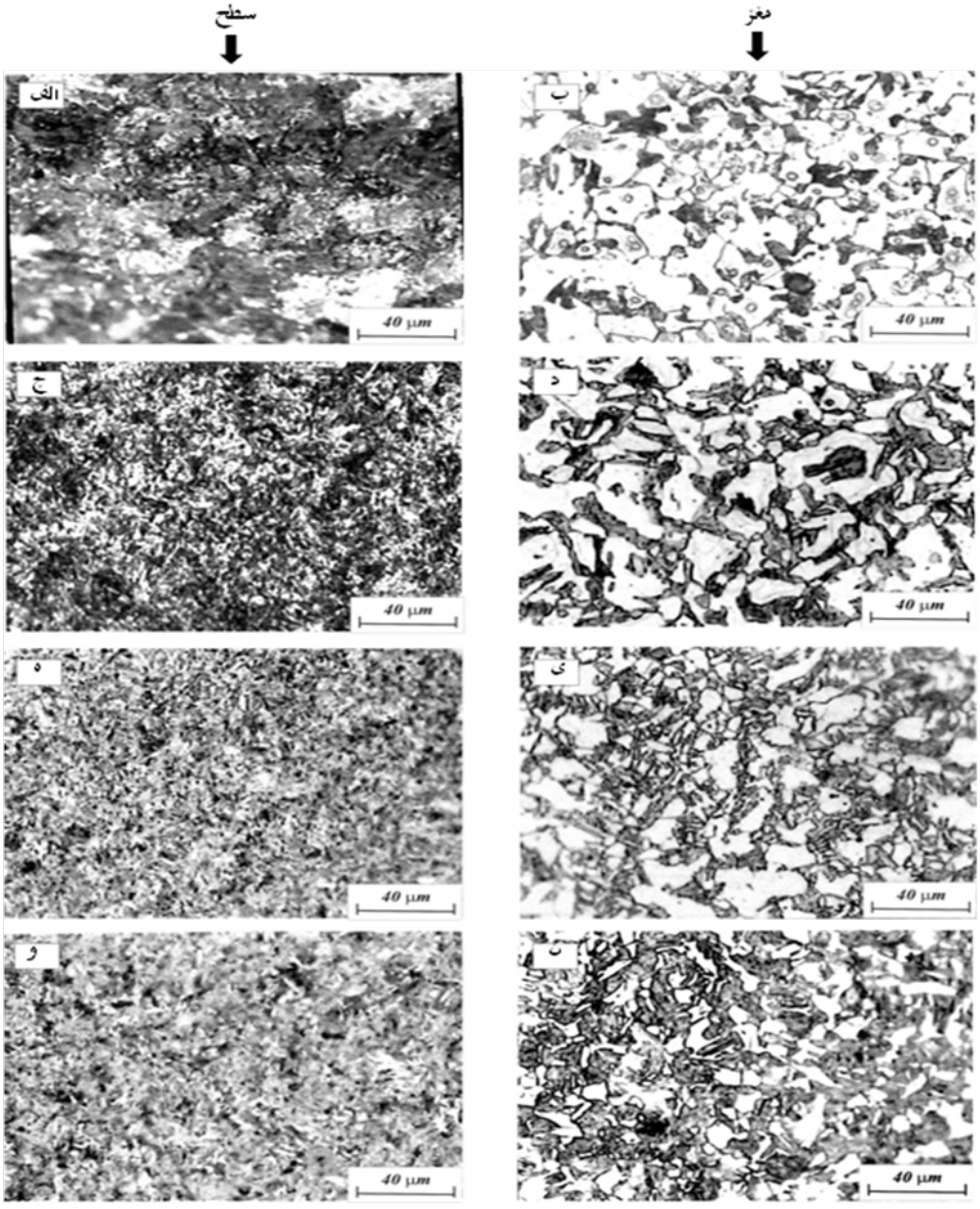
3. بحث و نتایج

شکل2 ریزساختار نمونه بدون عملیات حرارتی (شاهد) را نشان می دهد. فاز روشن فریت و ساختار تیره رنگ پرلیت را نشان می دهد. با توجه به وجود منگنز با مقدار 1/15 درصد در ترکیب شیمیایی فولاد مذکور، ساختار پرلیتی در زمینه فریت توجیه می یابد. نشان داده شده است که فاز فریت شامل دانه های هم محور و یکنواخت زمینه را در بر گرفته است. شکل3 ریزساختار مناطق مغز و لایه سخت شده در سطح نمونه های کربوره شده را نشان می دهد. نشان داده شده است که نمونه های با دو مرحله سخت کردن حاوی مارتنزیت ریزتر و یکنواخت تر نسبت به سایر نمونه ها می باشد و بنابراین با افزایش سختی در این نمونه ها مواجه هستیم. همچنین در این نمونه ها، علاوه بر مارتزیت ریزتر، کاهش آستنیت باقیمانده در ریزساختار آنها مشهود است. مقایسه تصاویر مغز نمونه ها در شکل 3 نیز بیانگر همگونی بیشتر در ریز ساختار عمق نمونه های

عملیات حرارتی شده می باشد.

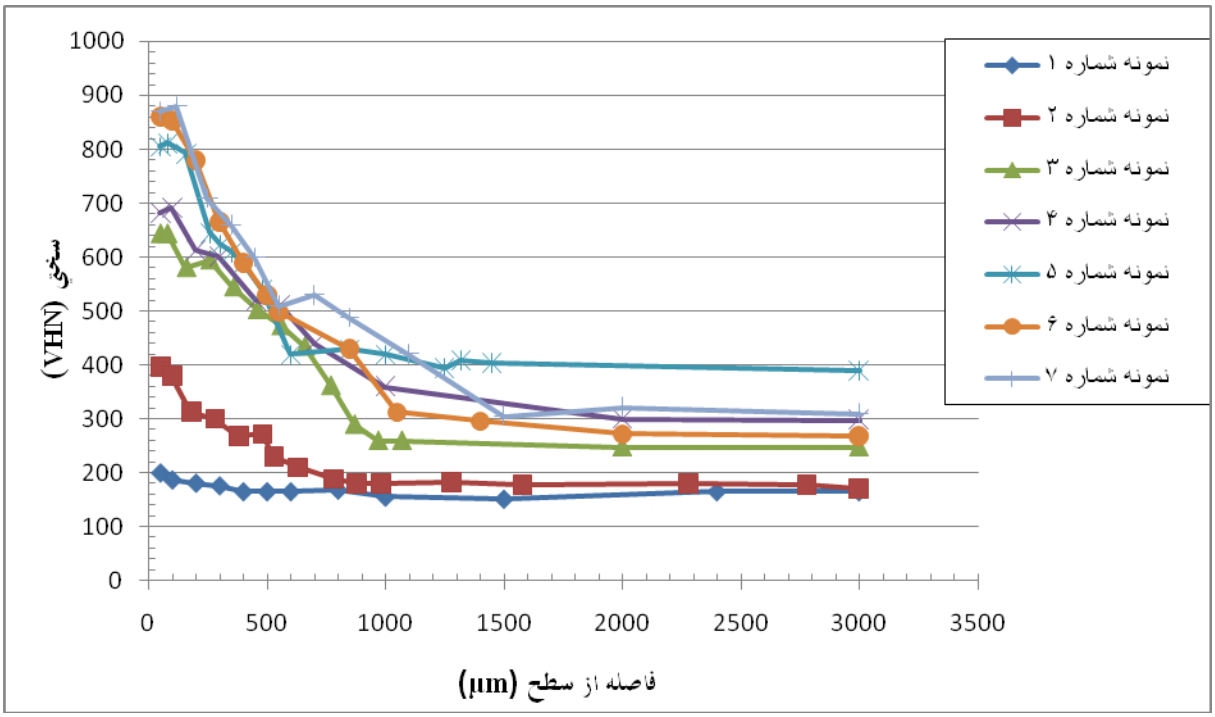


شکل2. ریزساختار فولاد CE2 قبل از عملیات حرارتی.



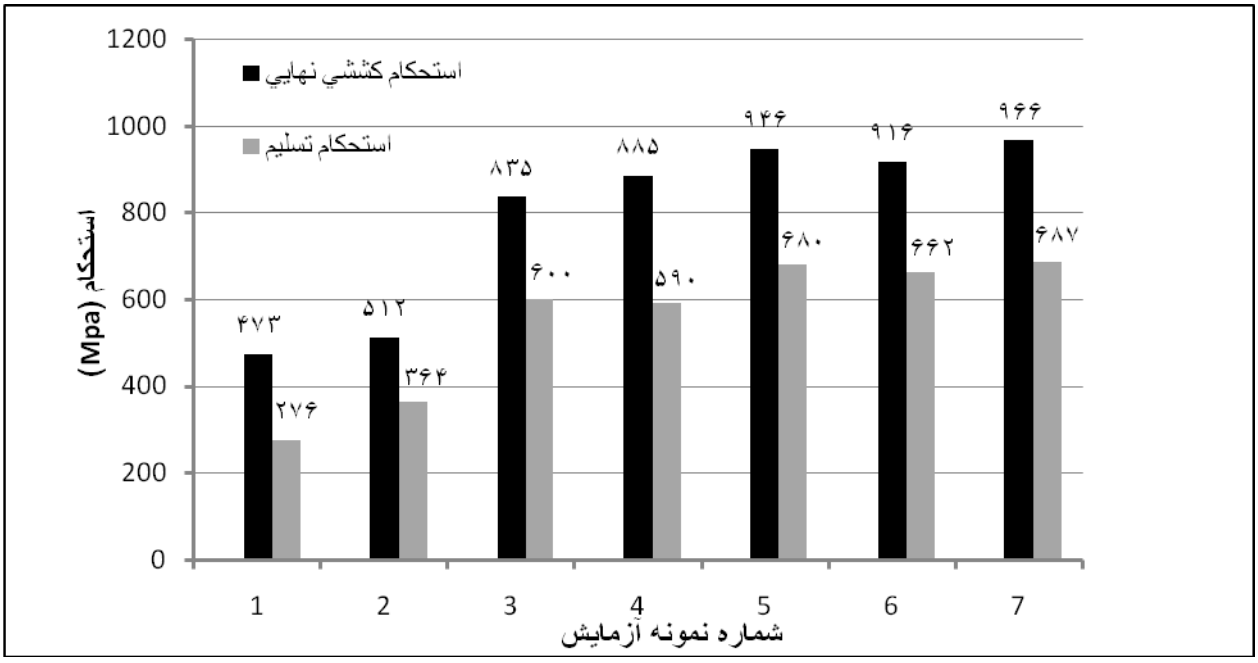
شکل3. ریزساختار نمونه ها در مناطق مغز و سطح لایه سخت شده. (الف-ب)نمونه2، (ج-د)نمونه4، (ه-ی)نمونه6، (و-ن)نمونه7.

در شکل4 تغییرات سختی بر حسب فاصله برای نمونه ها در شرایط مختلف عملیات حرارتی رسم شده است. سختی اندک در نمونه عملیات حرارتی نشده مربوط به حضور فازهای تعادلی فریت و پرلیت می باشد. تغییر سختی از سطح به عمق، مربوط به گونه های متفاوت ساختارهای مارتنزیتی و پایداری فازهای تعادلی در عمق نمونه ها می باشد. میزان سختی یکسان در عمق نمونه ها به علت همگونی فازهای تعادلی(پرلیت در زمینه فریت) می باشد. با انجام کوئنچ دومرحله ای، سطح فولاد ریزدانه شده و به همین دلیل سختی بالاتری می گیرد و مغز فولاد در مرحله دوم، به علت کاهش زمان و پایین بودن دما، به دمای آستنیته نرسیده و سختی کمتری می گیرد. تفاوت سختی سطح در بین نمونه های عملیات حرارتی شده مربوط به توزیع متفاوت ساختارهای مارتنزیتی ناشی از نوع عملیات و حضور فاز آستنیت می باشد.



شکل4. نمودار تغییرات سختی ویکرز از سطح برای نمونه های مورد آزمایش.

شکل5 استحکام کششی نهایی و استحکام تسلیم نمونه ها در حالت های مختلف عملیات حرارتی را با هم مقایسه می کند. نمونه عملیات حرارتی نشده (شاهد)، حاوی فاز پرلیت در زمینه فریت دارای کمترین استحکام کششی می باشد. و بیشترین استحکام مربوط به نمونه با کوئنچ دو مرحله می باشد. نشان داده شده است که عملیات حرارتی موسوم به عملیات حرارتی بعد از کربوره کردن تأثیر زیادی بر استحکام قطعات دارد. علت عمده اختلاف در استحکام کششی مورفولوژی مارتنزیت و حضور فاز آستنیت باقیمانده در نمونه های مختلف می باشد.



شکل5. مقایسه استحکام کششی نهایی و استحکام تسلیم نمونه ها در شرایط مختلف عملیات حرارتی.

نتیجه گیری

1. با انجام عملیات حرارتی سرمایش دو مرحله ای ، ساختار دانه اولیه فولاد یکنواخت تر و ریز تر

گرديده و بسته هاي مارتنزيتی کوچکتر به همراه آستنيت باقيمانده کمتر حاصل شد.

2. عمليات حرارتی سرمايش دو مرحله اي باعث سختی بيشتر در سطح و مغز نمونه هاي کربوره شده نسبت به روش هاي سرمايش مستقيم و تک مرحله اي می شود.
3. انجام عمليات حرارتی سرمايش دو مرحله اي موجب افزايش قابل ملاحظه استحکام کششی نهايی و استحکام تسليم نسبت به عمليات حرارتی سرمايش مستقيم و تک مرحله اي می شود.

4. مراجع

[1] awes, D., Tranter, D. F., and Smith, C. G., " Nitriding Non- Alloy Steel Components", Heat Treatment of Metals, No.1, PP. 1-4, 1980.

[2] Q.Y. Wang, C. Bathias, N. Kawagoishi and Q. Chen,"Effect of inclusion on subsurface crack initiation and gigacycle fatigue strength", International Journal of Fatigue, No.24, pp.1269-1274, 2002.

[3] Krauss, G., Steel, Heat Treatment and Processing Principles, American Society for Metals, 1990.

[4] G. Kranss, "Principles of Heat Treatment of Steels", MA Grass Mann and EC Published, 1964

[5] س. ر . علميحسيني، ا. ت وحيدلو و م . شفيعي آفاراني، "بررسي تأثير زمان کربوراسيون بر ضخامت لايه کربوره فولاد AISI 8620"، سمانته چهارمين همايش ملي عمليات حرارتي، اصفهان، 1387

[6] Metals Handbook, "Heat Treatment", American Society for Metals, 9th Ed, Vol. 4, 1987.

[7] K. H. Prabhuder, "Handbook of Heat Treatment of Steels", Tata McGrow Hill Publishing Company Limited, 1988.

Investigation on Influence of Multistage Carburization and Difussion Cycle on the Mechanical Properties of Carburized Steel part

Alireza Amirkhani Najafabadi*, Mehrdad Kashefi
** Materials and Metallurgical Engineering Department, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran*
E-mail: ara.amirkhani@gmail.com

Abstract
In this research, direct hardening, single level and two levels hardening were investigated to increase mechanical properties of Carburized Specimes. To avoid grain growth while carburizing, two step hardening or fining the grains of core and surface before hardening, and the effect of different heat treatment cycles on microstructure and mechanical properties of surface and core of CE2 steel were evaluated by using tensile and micro-hardness tests. Results show heat treamtment cycles improved the mechanical properties such as hardness profile and ultimate tensile strenght (UTS) of carburized spcimens.

Keywords: Multistage Carburizing, CE2 Steel, Ultimate Tensile Strenght, Hardness Profile.