

مقایسه تأثیر هوای اضافی و فعال ساز بر عمق سختی در فرآیند کربن دهی جامد فولاد DIN 18CrNi8

سید رضا علمی حسینی^۱، حامد خسروی^۲ و احسان قادری^۲

۱- مربی، گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان

Elmi@eng.usb.ac.ir

چکیده

فولاد مورد استفاده در این تحقیق، فولاد DIN 18CrNi8 نام دارد که عملیات کربوراسیون جامد بر روی آن صورت گرفت. پس از کربوراسیون و سپس کوئنچ، ساختار مارتنزیتی در سطح فولاد تشکیل شده که باعث افزایش سختی سطح می گردد. مغز فولاد به دلیل داشتن کربن کمتر دارای سختی کمتر و انعطاف پذیری بیشتری نسبت به سطح کربن دهی شده است. بررسی عمق سختی یکی از پارامترهای مهم در عملیات سخت کاری این فولادهاست. در این تحقیق نمونه های فولادی در پودر گرافیت قرار گرفته و در مدت زمانهای ۳، ۵، ۸ و ۱۲ ساعت در دمای ۹۲۵ درجه سانتی گراد حرارت داده شده و سپس در روغن کوئنچ شدند. نحوه پر شدن محفظه کربوره به صورت های محفظه کربوره دارای فاصله هوایی، محفظه بدون فاصله هوایی و محفظه دارای ماده فعال ساز انجام گرفت. ماده فعال ساز مورد استفاده در این آزمایش کربنات سدیم بود. جهت محاسبه عمق سختی در زمان های مختلف، آزمون میکروسختی بر روی سطح مقطع نمونه های کربن دهی شده انجام شد. با ترسیم رابطه بین عمق سختی (ضخامت لایه کربوره) با زمان کربوراسیون، زمان لازم برای ایجاد عمق سختی مشخص در این فولاد در حالت های مختلف پر کردن محفظه به دست آمد. با افزایش زمان کربوراسیون، عمق سختی در تمام حالات آزمایش افزایش می یابد. فقط در حالت محفظه با فاصله هوایی است که تا یک زمان مشخص با افزایش زمان، عمق سختی افزایش یافته که پس از گذشت مدت زمان بیشتر، پدیده دکربوراسیون اتفاق افتاده که باعث کاهش عمق سختی می شود. همچنین مقایسه بین کامل پر نشدن محفظه کربوره و افزودن ماده انرژی زا بر روی عمق سختی فولادهای کربن دهی شده مورد بررسی قرار گرفت.

واژه های کلیدی:

فولاد DIN 18CrNi8، کربن دهی جامد، سختی پذیری، ضخامت لایه کربوره، پروفیل سختی، ماده فعال ساز، فاصله هوایی.

۱- مقدمه

قرار دارند، داشتن سختی و مقاومت سایشی در سطح یک نیاز مبرم می باشد. فرآیند کربوراسیون یکی از فرآیندهای سخت کاری سطحی بر روی فولادهای کم کربن به شمار می آید که به روش های جامد، مایع و گازی قابل انجام است. برای انجام این فرآیند، فولاد مورد نظر را در یک مخلوط کربن ده و در

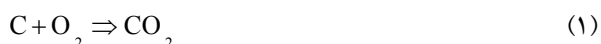
۱-۱- تکنولوژی فرآیند کربوراسیون جامد

امروزه استفاده از فولادهای کم کربن در کشور جهت ساخت قطعاتی همچون چرخنده ها، یاتاقان ها و ... افزایش یافته است. از آن جا که سطوح بیرونی این قطعات در تماس با قطعات دیگر

که هیچگونه تبادل هوا بین اتمسفر داخل محفظه و محیط اطراف انجام نگیرد. معمولاً سعی می‌شود که محفظه‌های کربوراسیون استوانه‌ای ساخته شود. این امر موجب می‌شود که خود به خود فضای بیشتری بین محفظه‌ها در کوره وجود داشته باشد. به علاوه عمر محفظه‌های استوانه‌ای بیشتر بوده و امکان تغییر شکل و یا ترک برداشتن آن‌ها در اثر گرم و سرد شدن‌های متعدد کمتر می‌باشد. کربوراسیون جامد در دمایی بین ۸۱۵ تا ۹۵۵ درجه سانتی‌گراد صورت می‌گیرد. در سال‌های اخیر حد فوقانی دمای کربوراسیون بالا رفته و تا حدود ۱۰۹۵ درجه سانتی‌گراد نیز افزایش یافته‌است. با این حال باید در نظر داشت که نگهداری قطعات به مدت طولانی در دمای بالا می‌تواند باعث درشت شدن دانه‌ها شود [۴ و ۵].

۱-۲- متالورژی فرآیند کربوراسیون جامد

محفظه کربوراسیون دارای مقداری هوا می‌باشد. اکسیژن موجود در هوای محفظه در دماهای بالا با کربن ترکیب شده و دی‌اکسید کربن تولید می‌کند (واکنش ۱). CO_2 تولیدی با کربن واکنش داده و مونواکسید کربن ایجاد می‌کند (واکنش ۲). به تدریج با گذشت زمان، مخلوط گازی از CO غنی می‌شود. در این حالت در سطح فولاد واکنش ۳ انجام شده و کربن اتمی در ساختار آستنیت فولاد نفوذ می‌کند [۶ و ۷].



دی‌اکسید کربن حاصل از واکنش ۳ مجدداً با کربن ذغال ترکیب شده و CO ایجاد می‌شود. در نتیجه عملیات کربوراسیون ادامه می‌یابد.

امروزه در صنعت جهت افزایش عمق لایه کربوره از موادی تحت عنوان انرژی‌زا^۱ یا فعال‌کننده^۲ استفاده می‌شود. در این تحقیق از کربنات سدیم به عنوان ماده انرژی‌زا استفاده شد. کربنات سدیم با قرارگیری در دمای بالا تجزیه شده و تولید گاز CO_2 می‌کند (واکنش ۴). با تولید این گاز لحظه به لحظه بر فشار

جدول (۱): خواص مکانیکی فولاد مورد استفاده [۱].

| | |
|---------------|------------------------------|
| سختی | ≤ 235 HB |
| استحکام تسلیم | ≥ 685 N/mm ² |
| استحکام کششی | ۱۲۳۰-۱۴۷۰ N/mm ² |
| کاهش سطح مقطع | $\geq 30\%$ |
| افزایش طول | $\geq 7\%$ |
| انرژی ضربه | ≥ 41 J |

دمای بالا قرار می‌دهند. با گذشت زمان کربن به داخل سطح فولاد نفوذ کرده و محتوای کربن سطح فولاد افزایش می‌یابد. در ادامه، فولاد کربوراسیون شده را در یک محیط خنک کننده کوئنچ کرده که باعث افزایش سختی سطح فولاد می‌شود [۱ و ۲]. فولادهای مناسب برای کربن‌دهی دارای تقریباً ۰/۲ درصد کربن هستند که پس از کربن‌دهی درصد کربن سطح تا حدود ۰/۸ تا ۱ درصد افزایش می‌یابد، اما اغلب درصد کربن سطح تا ۰/۹ درصد نگاه داشته می‌شود؛ زیرا مقدار کربن بالا باعث تشکیل آستنیت باقیمانده و نیز مارتزیت ترد و شکننده می‌شود. اغلب فولادهایی که کربوره می‌شوند فولادهای آرام هستند که با اضافه کردن آلومینیوم اکسیژن‌زدایی شده‌اند که ساختار ریزدانه خود را تا دمای حدود ۱۰۴۰ درجه سانتی‌گراد حفظ می‌کنند. در مورد ساختارهای درشت دانه معمولاً از کوئنچ دو مرحله‌ای استفاده می‌شود [۳ و ۴]. یکی از پرکاربردترین فولادهای کم کربن، فولاد DIN 18CrNi8 می‌باشد که برخی از ویژگی‌های این فولاد در جدول (۱) آورده شده‌است [۴].

قبل از قرار دادن قطعات در مخلوط کربن‌دهی آنها را تمیز کرده و در فواصلی در حدود ۵۰ میلیمتر از یکدیگر و ۲۵ میلیمتر از دیواره در یک جعبه فولادی موسوم به محفظه کربوراسیون بسته‌بندی می‌کنند. در صورتی که محفظه کربوراسیون به دفعات زیاد استفاده نشود، می‌توان آن را از فولادهای کم کربن انتخاب کرد، در غیر این صورت محفظه‌های کربوراسیون از فولاد نسوز که حاوی ۲۵ wt% Cr و ۲۰ wt% Ni است ساخته می‌شوند. پس از بسته‌بندی، درب محفظه کربوراسیون به کمک مواد نسوز (نظیر آزبست و یا خاک رس) کاملاً مسدود می‌شود، به نحوی

سختی‌پذیری فولاد کم کربن است. تاکنون تأثیری از وجود هوای اضافی در محفظه کربوره بر سختی‌پذیری فولادهای کم کربن ارائه نشده‌است. علاوه بر این با وجود آنکه باور بر این است که استفاده از ماده انرژی‌زا باعث افزایش سختی‌پذیری می‌شود، ولی تاکنون مقایسه‌ای بین تأثیر ماده انرژی‌زا و وجود هوای اضافی بر سختی‌پذیری فولادهای کم کربن گزارش نشده‌است [۸ و ۹].

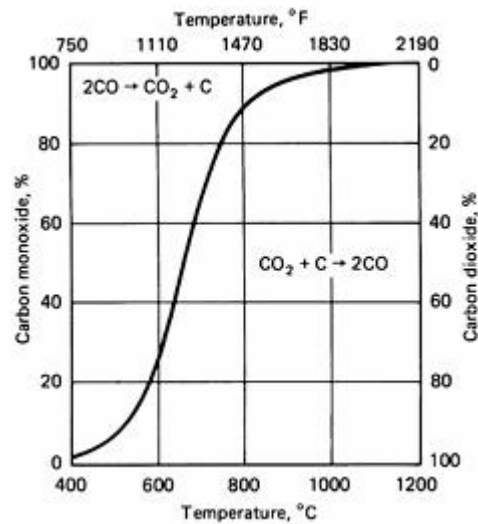
با نفوذ کربن به‌داخل فولاد، محتوای کربن سطح نسبت به مغز بیشتر می‌شود. بنابراین پس از عملیات کوئنچ سختی سطح نسبت به مغز افزایش می‌یابد. ضخامت لایه کربوره به‌فاصله بین سطح قطعه تا جایی از مغز که سختی معادل HV ۵۵۰ است گفته می‌شود [۱۰ و ۱۱].

۲- مواد و روش تحقیق

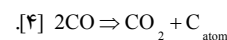
در این تحقیق از فولاد کم کربن DIN 18CrNi8 استفاده شد که ترکیب شیمیایی آن در جدول (۲) آورده شده‌است. جهت سهولت در انجام آزمایشاتی همچون کربوراسیون و میکروسختی، فولاد مورد نظر به‌شکل نمونه‌های مکعبی شکل در ابعاد ۳ cm برش زده شد.

محفظه کربوراسیون به‌صورت مکعبی با ابعاد ۱۰ cm و با جوشکاری ورق‌هایی به‌ضخامت ۰/۵ cm از جنس فولاد کم کربن ساخته شد. جهت جلوگیری از نفوذ کربن به‌داخل جداره محفظه در حین عملیات کربوراسیون، ابتدا محفظه را از پودر گرافیت پر کرده و آن را بدون حضور فولاد حرارت داده تا در حین کربوراسیون نمونه‌ها، صرفاً عامل کربن‌دهنده وارد نمونه‌ها شود. کوره مورد استفاده در این آزمایش یک کوره الکتریکی بوده که برخی از مشخصات آن در جدول (۳) آورده شده‌است. جهت کنترل دما از کنترلر مدل شینهو^۴ که از ملحقیات کوره است، استفاده شد.

در هر محفظه یک نمونه قرار گرفت. جهت بررسی تأثیر زمان بر سختی‌پذیری، عملیات کربوراسیون در مدت زمانهای ۳، ۵، ۸ و ۱۲ ساعت در دمای ۹۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت.



شکل (۱): رابطه نسبت تعادلی $\frac{CO}{CO_2}$ با دما برای واکنش



گاز CO_2 موجود در محفظه افزوده می‌شود. گاز CO_2 موجود در محفظه در اثر انجام واکنش ۲ با جذب کربن موجود در محفظه تولید گاز CO کرده که این گاز در سطح فولاد باعث کربن‌دهی می‌شود.



در شکل (۱) میزان $\frac{CO}{CO_2}$ تعادلی در هر دما برای واکنش ۳ نشان داده شده‌است [۶ و ۷].

بر اساس این شکل در یک دمای ثابت هر چه میزان $\frac{CO}{CO_2}$ از میزان تعادلی آن بیشتر باشد، واکنش ۳ در جهت تولید کربن اتمی پیشرفت کرده و در نتیجه میزان نفوذ کربن در سطح فولاد بیشتر می‌شود. بر عکس هر چه میزان $\frac{CO}{CO_2}$ کمتر از میزان تعادلی آن شود، واکنش ۳ در جهت عکس پیشرفت می‌کند. یعنی گاز CO_2 با اتمهای نفوذ کرده در سطح واکنش داده و تولید CO می‌کند. در نتیجه از میزان کربن موجود در سطح کاسته می‌شود. به‌این پدیده دکروراسیون^۳ گفته می‌شود.

هدف از انجام این پروژه بررسی تأثیر وجود فاصله هوایی در داخل محفظه و همچنین افزودن ماده انرژی‌زا بر روی

جدول (۲): ترکیب شیمیایی فولاد مورد استفاده.

| نام عنصر | C | Si | Mn | Ni | Cr | Cu | Mo | Al | P | S | V | Fe |
|-------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| مقدار (wt%) | ۰/۲۱ | ۰/۲۰۹ | ۰/۴۵۵ | ۱/۸۲۳ | ۱/۹۱۱ | ۰/۱۴۹ | ۰/۰۲۷ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۰۴ | باقیمانده |

جدول (۳): مشخصات کوره مورد استفاده در آزمایش.

| | |
|------------------|-----------------|
| ابعاد (cm) | ۳۰۰ × ۴۵۰ × ۳۰۰ |
| توان | ۹ kW |
| حداکثر دمای کاری | ۱۲۰۰°C |
| پوشش بیرونی | فولاد |
| پوشش داخلی | آجر منیزی |

ب) حالت دوم: در این حالت محفظه کاملاً از پودر گرافیت پر شده است و هیچگونه فاصله هوایی در محفظه وجود ندارد. این نوع آزمایش در نمودارها با واژه "بدون فاصله هوایی"^۷ نامگذاری شده است.

ج) حالت سوم: در این حالت علاوه بر آنکه محفظه کاملاً از پودر گرافیت پر شده و هیچگونه فاصله هوایی در آن وجود ندارد، به میزان ۵ wt% کربنات سدیم به عنوان ماده انرژی زا نیز استفاده شده است. این نوع آزمایش در نمودارها با واژه "بدون فاصله هوایی + حاوی فعال ساز"^۸ نامگذاری شده است.

۳- نتایج و مباحث

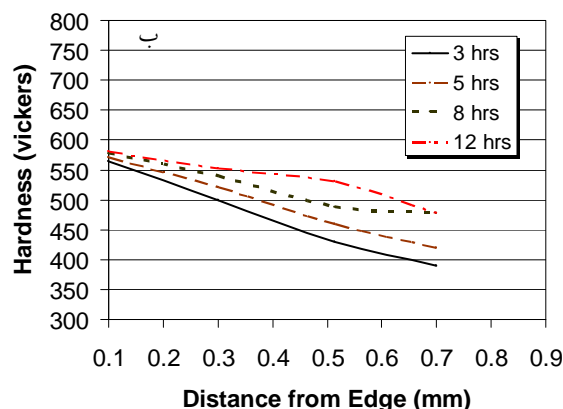
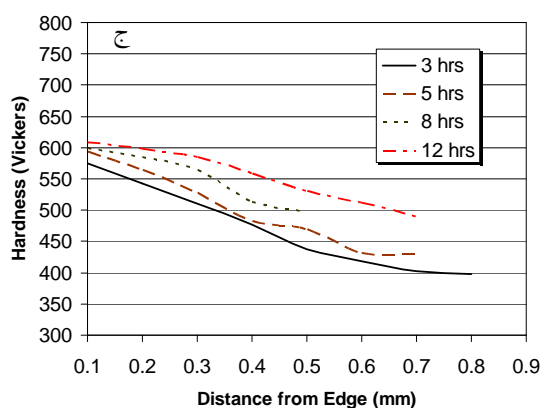
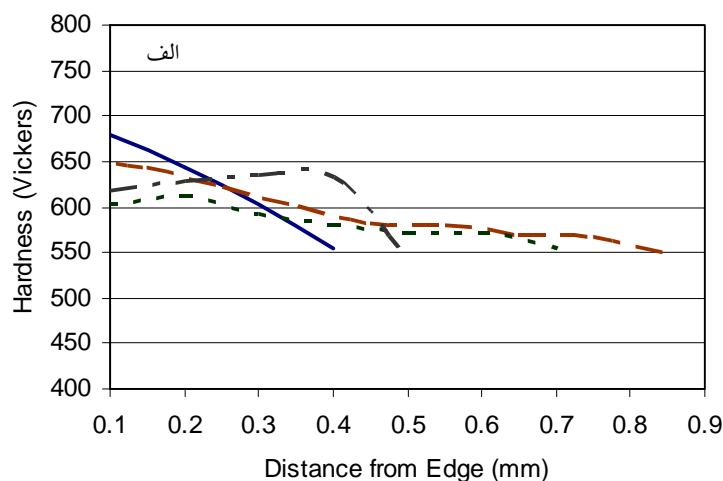
۳-۱- ترسیم منحنی سختی- فاصله

در اشکال (۲- الف) تا (۲- ج) منحنی سختی- فاصله در زمانهای ۳، ۵، ۸ و ۱۲ ساعت در سه حالت با محفظه دارای فاصله هوایی، بدون فاصله هوایی و محفظه حاوی انرژی زا رسم شده است. هر کدام از منحنیهای رسم شده میانگین سه بار تکرار آزمایش می باشد. با توجه به شکل (۲) ملاحظه می شود که بیشترین شیب منحنی سختی- فاصله در هر سه حالت آزمایش در نمونه ۳ ساعت اتفاق افتاده که با افزایش زمان کربوراسیون از میزان شیب منحنی سختی- فاصله کاسته شده است. در واقع در زمانهای بیشتر از ۳ ساعت کربن بیشتری به داخل فولاد نفوذ کرده و غلظت کربن در لایه های زیر سطح افزایش می یابد.

مدت زمان و نیز دمای کربوراسیون بر روی کنترلر کوره قابل برنامه ریزی است. جهت اطمینان از صحت نتایج، هر آزمایش سه بار تکرار گردید. سپس نمونه ها از کوره خارج شده و در روغن با دمای محیط (دمای ۲۵ درجه سانتی گراد) کوئنچ شدند. جهت بررسی ضخامت لایه کربوره، نمونه های کربوره شده از قسمت میانی برش خورده و با استفاده از سنادهای ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پولیش شدند. سپس آزمایش میکروسختی از لبه کربوره شده به سمت مغز نمونه بر حسب معیار ویکرز و بر اساس استاندارد ASTM E 384-99 انجام شد. دستگاه میکروهاردنس مورد استفاده از نوع 401MVD-VD289 است که در سال ۲۰۰۵ توسط شرکت وینسون وولپرت^۵ آلمان ساخته شده است. جهت بررسی های ساختاری از محلول حکاکی نیتال ۲٪ استفاده شد.

در این تحقیق آزمایش کربوراسیون به سه حالت زیر انجام شد:

الف) حالت اول: ابتدا در داخل محفظه به ارتفاع ۴ cm پودر گرافیت ریخته شد، سپس نمونه فولادی را روی پودر گذاشته و مجدداً بر روی آن تا ارتفاع ۴ cm پودر ریخته شد. درپوش محفظه با چسبی متشکل از خاک رس به علاوه آب بر روی محفظه محکم گردید. بدین ترتیب یک فاصله هوایی در حدود ۲ cm بین سطح بالایی مخلوط و درپوش ایجاد شد. این نوع آزمایش در نمودارها با واژه "با فاصله هوایی"^۶ نامگذاری شده است.



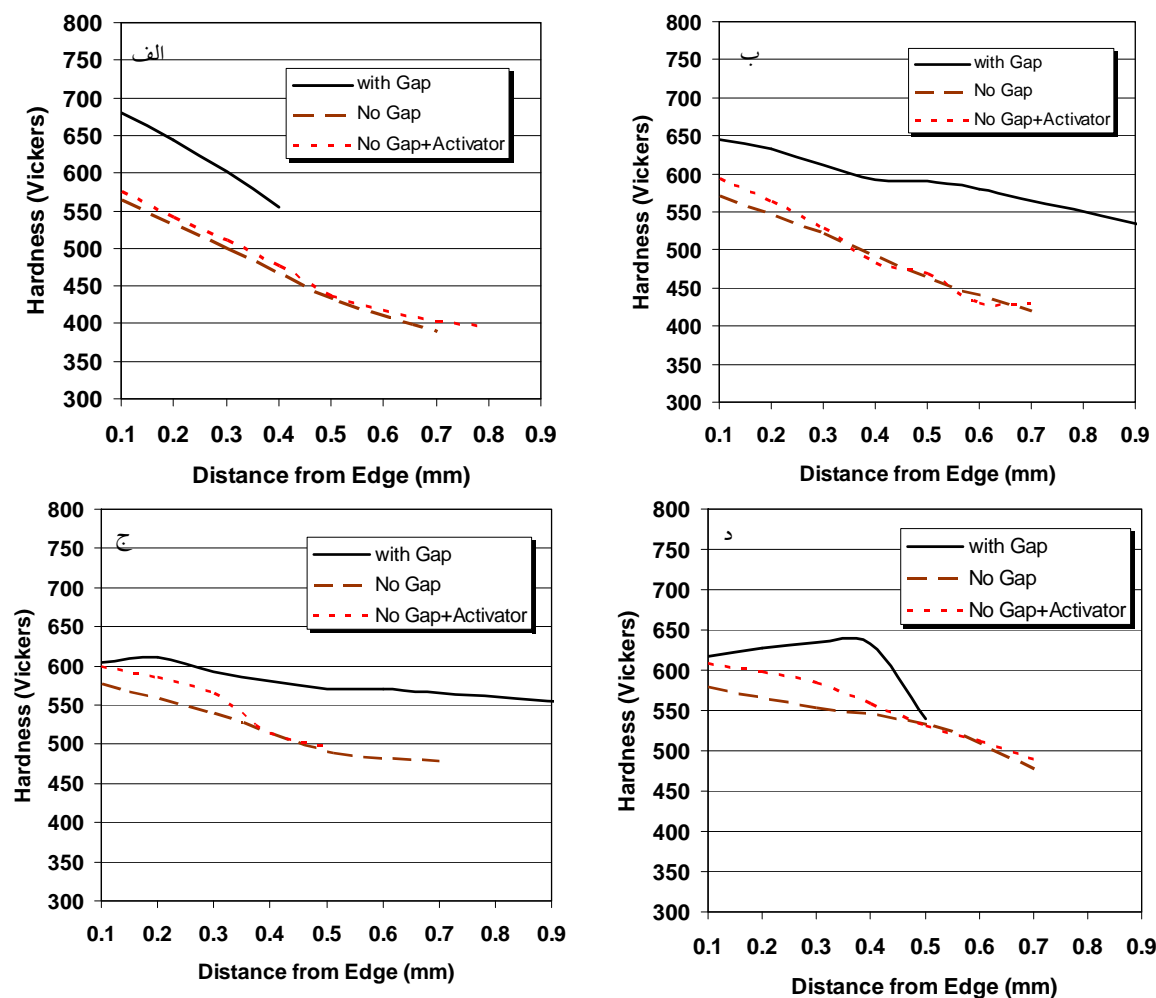
شکل (۲): منحنی سختی-فاصله در نمونه‌های کربوره شده در مدت زمانهای مختلف در محفظه، (الف) با فاصله هوایی، (ب) بدون فاصله هوایی و (ج) حاوی انرژی‌زا.

واکنش ۱ صرف تولید گاز CO در واکنش ۲ نخواهد شد. بلکه فقط مقداری از آن که در معرض کربن گذاشته است توانایی تولید گاز CO را دارد. بنابراین نسبت فشار گاز CO₂ به CO بیشتر از مقدار تعادلی آن شده و واکنش ۳ به سمت چپ پیشرفت می‌کند. در اثر انجام این واکنش کربن نفوذ کرده به داخل فولاد، از سطح آن خارج شده و سختی به سمت سطح روند کاهشی خواهد داشت.

در اشکال (۳-الف) تا (۳-د) مقایسه بهتری از منحنی سختی-فاصله در نمونه‌های کربوره شده در سه حالت ارائه شده است. با توجه به شکل (۳) ملاحظه می‌شود که اولاً در زمانهای کم (مثلاً ۳ و ۵ ساعت) منحنی سختی-فاصله در دو

بنابراین با افزایش زمان کربوراسیون از میزان شیب منحنی سختی-فاصله کاسته می‌شود.

در شکل (۲-الف) منحنی سختی-فاصله در زمانهای ۸ و ۱۲ ساعت بر خلاف اشکال (۲-ب) و (۲-ج) دچار تغییر شیب شده است. یعنی در نمونه ۸ ساعت تا فاصله ۰/۲ mm از سطح سختی به جای کاهش، افزایش داشته است. همچنین در نمونه ۱۲ ساعت تا فاصله ۰/۴ mm از سطح، سختی روند افزایشی داشته است. علت تغییر شیب منحنی سختی-فاصله در شکل (۲-الف) و در زمانهای ۸ و ۱۲ ساعت به دلیل پدیده دکربوراسیون است. با گذشت زمانهای زیاد، اکسیژن بیشتر موجود در محفظه دارای فاصله هوایی تولید گاز CO₂ بیشتری کرده و فشار گاز CO₂ لحظه به لحظه بیشتر می‌شود، اما تمام گاز CO₂ تولیدی در



شکل (۳): منحنی سختی - فاصله در سه حالت برای نمونه کربوره شده در مدت زمان‌های، (الف) ۳ ساعت، (ب) ۵ ساعت، (ج) ۸ ساعت و (د) ۱۲ ساعت.

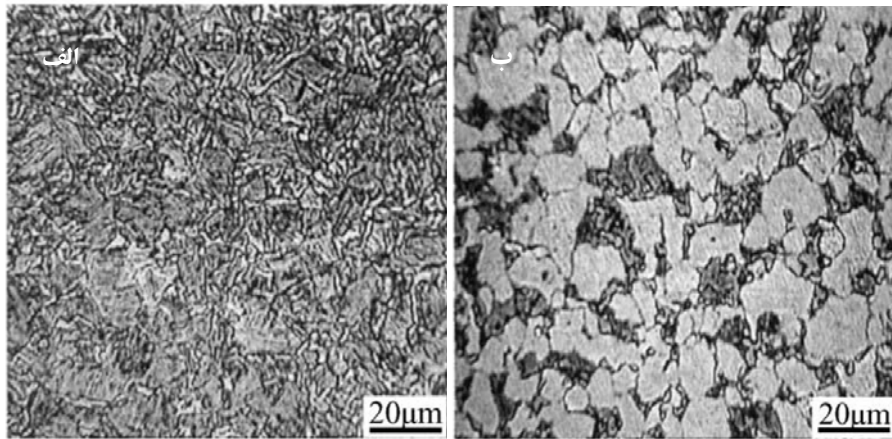
انجام واکنش ۲ گاز CO بیشتری تولید شده و در نتیجه کربوراسیون بیشتری انجام شده و غلظت کربن در فولاد افزایش می‌یابد.

۳-۲- بررسی ساختار میکروسکوپی

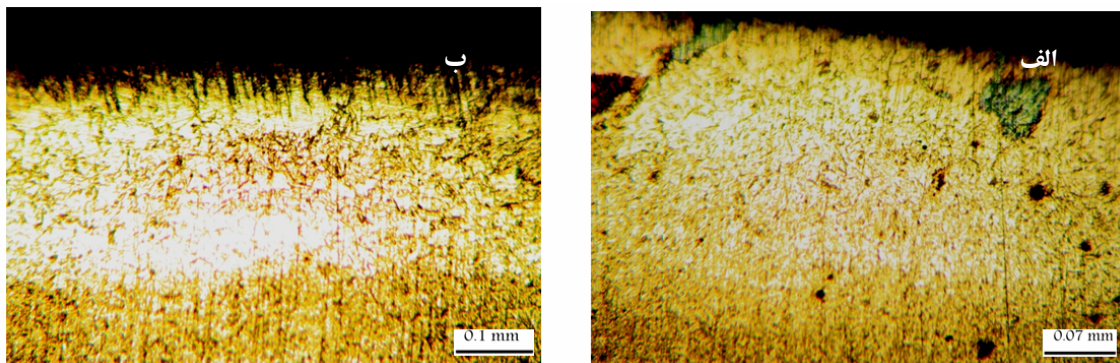
ساختار میکروسکوپی لایه کربوره موجود در لبه فولاد DIN 18CrNi8 و نیز مغز فولاد در شکل (۴) ارائه شده است. بر این اساس هر چه به سمت مغز نمونه می‌رویم از میزان مارتنزیت کاسته شده و در نتیجه سختی کاهش می‌یابد. جهت بررسی علت تغییر شیب در حالت محفظه با فاصله هوایی در زمان‌های ۸ و ۱۲ ساعت، منطقه تشکیل دکربورگی در لبه فولاد در شکل (۵) ارائه

حالت محفظه بدون فاصله هوایی و محفظه حاوی فعال‌ساز اختلاف چندانی نداشته، اما در زمان‌های بیشتر مشاهده می‌شود که منحنی سختی-فاصله در حالت محفظه حاوی فعال‌ساز بالاتر از حالت محفظه بدون فاصله هوایی بوده و باعث سختی‌پذیری بیشتری نیز شده است. علت این افزایش سختی‌پذیری را می‌توان به دلیل حضور ماده انرژی‌زا دانست.

ثانیاً در تمامی زمان‌ها منحنی سختی-فاصله حالت محفظه با فاصله هوایی بالاتر از دو حالت دیگر قرار دارد. علت آن است که در حالت محفظه با فاصله هوایی اکسیژن بیشتری در محفظه وجود داشته که می‌تواند تولید CO₂ بیشتری کند. در ادامه با



شکل (۴): (الف) ساختار مارتنزیتی در لبه و (ب) ساختار فریتی-پرلیتی از مغز فولاد DIN 18CrNi8 کربوره شده.



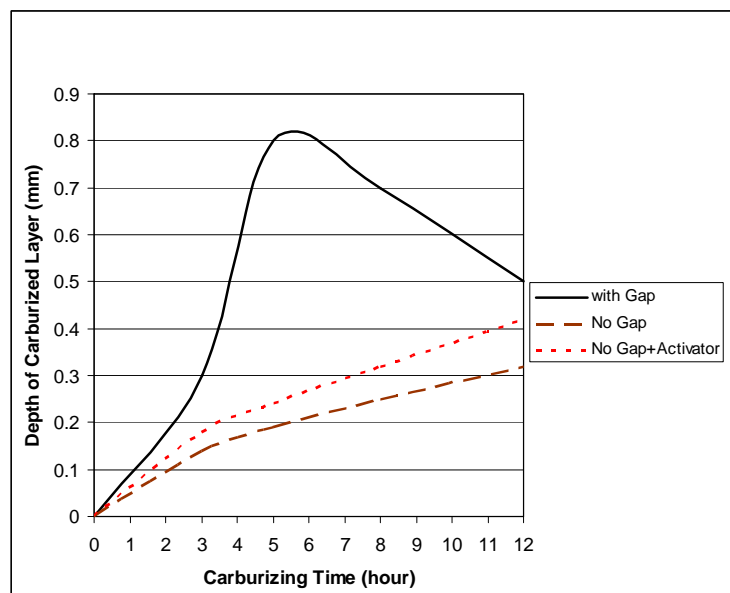
شکل (۵): تشکیل منطقه دکربورگی در لبه نمونه‌های کربوره شده در محفظه دارای فاصله هوایی در زمانهای (الف) ۸ ساعت و (ب) ۱۲ ساعت.

(الف) در حالت محفظه بدون فاصله هوایی و محفظه حاوی فعال‌ساز با افزایش زمان، ضخامت لایه کربوره افزایش می‌یابد. (ب) در حالت محفظه با فاصله هوایی در زمان‌های کمتر از ۵ ساعت با افزایش زمان کربوراسیون، ضخامت لایه کربوره افزایش می‌یابد. علت آن است که در این مدت زمان اکسیژن کمی با کربن وارد واکنش شده و در نتیجه CO_2 کمی تولید می‌شود. CO_2 تولیدی در واکنش ۱ به سرعت صرف تولید گاز CO در واکنش ۲ می‌شود. بنابراین نسبت فشار گاز CO به CO_2 بیشتر از مقدار تعادلی آن شده و واکنش ۳ به سمت راست پیشرفت می‌کند. در اثر انجام این واکنش کربن به صورت عنصر بین‌نشین به داخل فولاد نفوذ کرده و باعث افزایش عمق لایه کربوره فولاد می‌شود. در زمانهای بیشتر از ۶ ساعت با افزایش

شده‌است. در این شکل منطقه روشن‌تر واقع در لبه فولاد نشان‌دهنده منطقه دکربورگی است.

۳-۳- ارتباط ضخامت لایه کربوره با زمان کربوراسیون

با توجه به تعریف ضخامت لایه کربوره می‌توان مقادیر این کمیت را با کمک خطوط افقی مربوط به سختی $550 HV$ از روی منحنی‌های شکل (۲) به دست آورد. ارتباط بین ضخامت لایه کربوره با زمان کربوراسیون در شکل (۶) ترسیم شده‌است. با توجه به شکل (۶) حداکثر ضخامت لایه کربوره ایجاد شده در این سه حالت، در حالت محفظه با فاصله هوایی و در مدت زمان ۵ تا ۶ ساعت حاصل شده‌است. در این مدت زمان حداکثر ضخامت لایه کربوره $0.82 mm$ خواهد بود. با توجه به شکل (۶) نتایج ذیل قابل ذکر است:



شکل (۶): ارتباط ضخامت لایه کربوره با زمان کربوراسیون در نمونه‌های کربوره شده در حالت‌های مختلف.

می‌گردد. پس از گذشت مدت زمان بیشتر، پدیده دکربوراسیون اتفاق افتاده که باعث کاهش ضخامت لایه کربوره می‌شود.

۳- برای جلوگیری از پدیده دکربوراسیون در این فولاد بایستی محفظه کربوراسیون به‌طور کامل از ماده کربن‌ده پر شود. در غیر این صورت هوای اضافی باعث دکربوراسیون فولاد می‌شود.

۴- جهت ایجاد حداکثر سختی‌پذیری در این فولاد الزاماً نبایستی از ماده انرژی‌زا استفاده کرد، بلکه وجود هوای اضافی در محفظه کربوره می‌تواند باعث تسریع در انجام واکنش‌های کربوراسیون شده و با افزایش بیشتر نسبت گاز CO به CO₂ می‌تواند سختی‌پذیری بیشتری را نسبت به عامل انرژی‌زا در فولاد ایجاد کند. باید توجه داشت که با گذشت زمان بیش از ۶ ساعت، هوای بیشتری وارد محفظه شده و با اکسیدی کردن محفظه کوره باعث وقوع پدیده دکربوراسیون و در نتیجه کاهش سختی‌پذیری فولاد می‌شود.

۵- الزاماً نبایستی جهت افزایش سختی‌پذیری از حالت محفظه با فاصله هوایی استفاده کرد، بلکه با استفاده از زمان‌های بیشتر عملیات حرارتی نیز می‌توان میزان سختی‌پذیری فولاد را افزایش داد.

زمان ضخامت لایه کربوره کاهش می‌یابد که علت آن به پدیده دکربوراسیون برمی‌گردد. در واقع مدت زمان ۵ تا ۶ ساعت (نقطه اکسترمم منحنی) مرز منطقه کربوراسیون و دکربوراسیون می‌باشد.

بنابراین هر چند استفاده از ماده انرژی‌زا باعث افزایش عمق لایه کربوره (عمق سختی) می‌شود، وجود هوای اضافی در محفظه کربوره می‌تواند به‌سرعت ضخامت لایه کربوره را افزایش داده به‌طوری‌که حداکثر ضخامت لایه کربوره در حالت محفظه با فاصله هوایی از حداکثر ضخامت لایه کربوره در حالت محفظه حاوی فعال‌ساز بیشتر می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

۱- اگر فولاد DIN 18CrNi8 در دمای ۹۲۵ درجه سانتی‌گراد و در یک محفظه بدون فاصله هوایی (حاوی ماده انرژی‌زا و یا بدون آن) کربوره شود، با افزایش زمان ضخامت لایه کربوره افزایش می‌یابد.

۲- اگر این فولاد در یک محفظه با فاصله هوایی کربوره شود، تا یک زمان مشخص با افزایش زمان، ضخامت لایه کربوره افزایش یافته که علت این افزایش به پدیده کربوراسیون بر

- [8] D. U. I. OGO, TERVER-AUSE, E. J. IBANGA, "The Use of River Clam Shells (*Aspatharia Sinuata*) as an Energizer in Case Carburization of Mild Steels", *ISIJ International*, Vol. 44, No. 5, pp. 865-868, 2004.
- [9] O. Topçu and M. Beyli, "On the Microstructural and Mechanical Characterizations of a Low Carbon and Micro-Alloyed Steel", *Materials and Design*, Vol. 30, pp. 3274-3278, 2009.
- [10] M. Erdogan, S. Tekeli, "The Effect of Martensite Volume Fraction and Particle Size on the Tensile Properties of a Surface-Carburized AISI 8620 Steel with a Dual-Phase Core Microstructure", *Materials Characterization*, Vol. 49, pp. 445-454, 2003.
- [11] M. Erdogan, S. Tekeli, "The Effect of Martensite Particle Size on Tensile Fracture of Surfacecarburised AISI 8620 Steel with Dual Phase Core Microstructure, *Materials and Design*, Vol. 23, pp. 597-604, 2002.

۶- پی نوشت

- 1- Energizer
- 2- Activator
- 3- Decarburization
- 4- Shinho
- 5- Winson Wolpert
- 6- With Gap
- 7- No Gap
- 8- No Gap + Activator

۵- مراجع

- [1] G. Kranss, "Principles of Heat Treatment of Steels", MA Grass Mann and EC Published, 1964.
- [2] Metals Handbook, "Heat Treatment", American Society for Metals, 9th Ed, Vol. 4, 1987.
- [۳] س. ر. علمی حسینی، ا. توحیدلو و م. شفیع آفرانی، "بررسی تأثیر زمان کربوراسیون بر ضخامت لایه کربوره فولاد سماتنه AISI 8620"، چهارمین همایش ملی عملیات حرارتی، اصفهان، ۱۳۸۷.
- [۴] س. ر. علمی حسینی و ح. خسروی، "بررسی تأثیر مقدار کربنات سدیم به‌عنوان ماده انرژی‌زا بر عمق لایه کربوره فولاد کم کربن 1.5920"، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی مواد مجلسی، سال سوم، شماره سوم، پاییز ۱۳۸۸.
- [5] Metals Handbook, "Properties and Selection, Irons and Steels", American Society for Metals, 9th Ed., Vol. 1, 1987.
- [6] K. H. Prabhuder, "Handbook of Heat Treatment of Steels", Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1988.
- [7] Z.-X. Yuan a, Z.-S. Yu b, P. Tan a, S.-H. Song c, "Effect of Rare Earths on the Carburization of Steel", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 267, pp. 162-166, 1999.