

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان  
مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



## تأثیر سرعت سایش در عملیات سرد کردن زیر صفر بر رفتار سایشی فولاد ۱/۲۴۳۶

امین اخباری زاده<sup>۱</sup>

علی شفیعی<sup>۲</sup>

محمدعلی گل‌عذار<sup>۳</sup>

مجتبی خلقی<sup>۴</sup>

### چکیده

عملیات حرارتی سرد کردن زیر صفر (کرایو) در چند دهه گذشته به عنوان یکی از روش‌های استحکام دهی به مواد مورد توجه قرار گرفته است. این روش به دو شیوه کرایو سطحی و کرایو عمیق دسته‌بندی می‌شود و برای افزایش استحکام فولاد، چدن، تیغه‌های برش مثل کاربید تنگستن و حتی مواد کامپوزیتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فاز نیمه پایدار آستنیت در فولاد‌های ابزار از طرفی مقاومت به سایش را کاهش داده و از طرفی دیگر با تبدیل شدن به مارتنزیت باعث تغییر ابعاد ناخواسته می‌شود و در نتیجه دقت ابعادی کاهش می‌یابد. این عملیات در مورد فولادهایی که نیاز به دقت ابعادی و یا مقاومت به سایش بالایی دارند به نحو وسیعی بکار می‌رود. در این تحقیق تأثیر سرعت سایش بر نرخ و مکانیزم سایش در عملیات سرد کردن زیر صفر تا دمای  $-63^{\circ}\text{C}$  (کرایو سطحی) و  $-180^{\circ}\text{C}$  (کرایو عمیق) بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان داد که افزایش سرعت سایش از  $0.05$  تا  $0.2$  m/s باعث افزایش نرخ سایش به میزان  $70-40\%$  در نمونه‌های کرایو سطحی، کرایو عمیق می‌شود. نتایج همچنین نشان می‌دهد، در نمونه‌هایی که در زمان‌های طولانی‌تر در دمای زیر صفر باقی مانده‌اند، رفتار سایشی بهبود بیشتری نشان می‌دهد. تصاویر میکروسکوپی همچنین نشان می‌دهد در نمونه‌هایی که در سرعت‌های بالاتر تحت آزمون سایش قرار گرفته‌اند عمق شیارها افزایش می‌یابد ولی مکانیزم سایش تغییر نمی‌کند.

کلیدواژه: عملیات زیر صفر، سایش، کرایو، سرعت سایش

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد شناسایی و انتخاب مواد - دانشگاه صنعتی اصفهان Email: amin\_azzadehe@yahoo.com

Tel: 09171134163

۲. استادیار - دانشگاه صنعتی اصفهان Email: shafyei@cc.iut.ac.ir

۳. استاد - دانشگاه صنعتی اصفهان Email: Golozar@cc.iut.ac.ir

۴. مربی - دانشگاه صنعتی اصفهان

## مقدمه

عمليات کرايو يا سرد کردن زیر صفر عبارت است از سرد کردن قطعه تا دماهای پایین به منظور تغییر فاز آستنیت به عنوان فاز نرم به مارتنزیت به عنوان فاز سخت فولاد به کار می رود. این عمليات به عنوان یک عمليات دائمی که کل قطعه را شامل می شود در پایان عمليات حرارتی مرسوم و پیش از تمپر به کار می رود. در مراحل تولید، عمليات کرايو هنوز به عنوان یک عمليات مرسوم در سیکل تولید قرار نگرفته است اما در برخی از قطعات هواپیما، ماشین و صنایع الکترونیکی در امریکا، چین و سایر کشورهای پیشرفته برای بهبود مقاومت سایشی و پایداری ابعادی قطعات به کار می رود [۱]. از سویی دیگر در بسیاری از صنایع تولیدی کوچک تر مانند تولید کنندگان ابزار برش و سوراخ کاری نیز عمليات کرايو به عنوان عمليات تکمیلی برای افزایش عمر قطعات به کار می رود [۲].

تحقیقات نشان می دهد که ۱۳/۲٪ از آسیب هایی که به دنده ها وارد می شود به دلیل سایش و ۱۶/۲٪ به دلیل عیوب عمليات حرارتی است. برخی از عوامل مؤثر بر سایش عبارتند از چقرمگی، محیط، نوع نیرو، سرعت نسبی اجزای متحرک، روغن زنی، دما، سطح قطعه و وجود ذرات. در صورت ثابت بودن بقیه فاکتورها انتظار می رود که نرخ سایش ثابت بماند. مقاومت سایشی مناسب با آلیاژسازی مناسب و یا با عمليات حرارتی بهینه و استفاده از پوشش های مقاوم افزایش می یابد. برای جلوگیری از پیچیدگی اصطلاحات به دلیل وجود دماهای کاری زیاد عمليات کرايو به دو دسته کلی عمليات حرارتی کرايو سطحی (SCT)<sup>۱</sup> و کرايو عمیق (DCT)<sup>۲</sup> تقسیم بندی می شود [۱].

کرايو سطحی: در این عمليات قطعه تا محدوده دمایی  $50^{\circ}\text{C}$  تا  $100^{\circ}\text{C}$  و به منظور کاهش و یا حذف آستنیت باقی مانده و با نرخ سرد کردن پایین سرد می شود. هدف از انجام این فرآیند بهبود سختی سطحی و پایداری حرارتی می باشد [۳].

کرايو عمیق: در این عمليات قطعه با نرخ سرد کردن پایین برای جلوگیری از تولید ترک های ریز تا دمای  $125^{\circ}\text{C}$  و پایین تر سرد می شود. در کرايو عمیق دو عامل به شکل هم زمان بر روی مقاومت سایشی ماده تأثیر می گذارد [۳].

۱- پخش بهتر کاربیدها.

۲- از بین رفتن آستنیت باقی مانده.

<sup>۱</sup>- Shallow Cryogenic treatment

<sup>۲</sup>- Deeo cryogenic treatment

در عملیات حرارتی فولادهای ابزار مشکل وجود آستنیت باقی مانده پس از عملیات حرارتی علیرغم پیشرفت های زیاد در این نوع فولادها همچنان باقی مانده است. آستنیت فازی نرم و در دمای پایین ناپایدار است و امکان تبدیل آن به مارتنزیت در شرایط خاصی مانند انجام عملیات مکانیکی بر روی قطعه امکان پذیر است. این مارتنزیت تازه تولید شده بسیار ترد است و برعکس مارتنزیت باز پخت شده در عملیات حرارتی فولادها فازی پذیرفته شده نمی باشد. از سویی این تغییر فاز باعث افزایش حجمی برابر با ۴٪ می شود، که باعث اعوجاجی نسبتاً چشمگیر در قطعه می شود. به همین دلیل قبل از به کارگیری قطعات بهتر است درصد آستنیت باقیمانده به کمترین میزان خود برسد [۴]. در عملیات کرایو عمیق علاوه بر کاهش درصد آستنیت باقی مانده درصد کاربید های آلیاژی نیز افزایش می یابد. علت افزایش درصد کاربیدها در عملیات کرایو به دلیل افزایش درصد عیوب شبکه در حین سرد کردن می باشد. با توجه به تفاوت در ضریب انبساط حرارتی اجزاء مختلف در یک نمونه و تولید مارتنزیت در اثر سرد شدن، عیوب شبکه ای مثل نابجایی ها تولید می شوند که محل بسیار مناسبی برای جذب اتم های کربن و سایر عناصر آلیاژی می باشند. در اثر این جذب و افزایش اشباع بودن مارتنزیت در اثر کاهش دما، محل های اشباع از عناصر آلیاژی و کربن تولید می شوند که در تمبر و یا گرم کردن می توانند به کاربید تبدیل شوند [۵].

منگ<sup>۱</sup> با انجام عملیات کرایو بر روی فولاد Fe-12Cr-Mo-V-1.4C با استفاده از آزمون نمونه بر روی چرخ<sup>۲</sup> بهبود مقاومت سایشی را به میزان ۶۰۰-۱۱۰٪ در سرعت های مختلف گزارش کرد. منگ هم چنین نشان داد علیرغم عدم تغییر درصد مارتنزیت در دمای ۵۰ °C و ۱۸۵ °C- مقاومت سایشی در نمونه ای که کرایو عمیق بر روی آن انجام شده به دلیل رسوب کاربیدهای ریز  $\eta$  بهبود بیشتری می یابد. دلیل رسوب این کاربیدها در انقباض شبکه و وارد کردن فشار به اتم های کربن در ترک محل های اولیه می باشد. این کاربیدها باعث افزایش استحکام و چقرمگی فولاد می شوند [۶].

جنکو<sup>۳</sup> در فولاد آستینیتی Fe-25.3% Ni-0.5wt% تبدیل شدن فاز  $\gamma$  به مارتنزیت  $\alpha$  در اثر کرایو را بررسی کرد. او نشان داد که در دمای کرایو به دلیل کاهش c/a در شبکه مارتنزیت، کوهرنسی مارتنزیت با فاز آستنیت باقی مانده کاهش می یابد و به همین دلیل تنش باقی مانده زیادی در قطعه آزاد می شود. از سویی در گرم کردن از دمای کرایو مارتنزیت با استفاده از مکانیزم دوقلوبی و در سیستم  $\langle 011 \rangle \{011\}$  تنش باقیمانده خود را آزاد می کند. در عمل با گرم کردن فولاد فوق از دمای کرایو با

<sup>1</sup>- Meng

<sup>2</sup>- Sample on wheel

<sup>3</sup>- V.E.Panil' Chenko

تغير پارامتر شبکه (a)، تنش کوهرنسي در مرز آستنيت-مارتنزيت آزاد می شود و اتم های کربن در شبکه بين نشيني اکتا هدرال مجدداً منظم می شوند [7]. نیروی محرک اين تغييرات در دمای پايين ميل به پخش مجدد اتم کربن در کریستالهای  $\alpha$  می باشد. از سویی حالت فوق اشباع موجود به دليل اتم های کربن در مارتنزيت و تنش باقميانده بسيار بالا درون ماده به عنوان دلايل ناپايداری مارتنزيت بعد از کوئنچ است [8]. به دليل دمای بسيار پايين کرايو عميق امکان قرار دادن مستقيم قطعات در اين دما به دليل ايجاد شيب دمایی بسيار زياد و امکان توليد ترک کوئنچ وجود ندارد [1].

موهان لال<sup>1</sup> برای فولاد M2 نشان داد که توزيع کاربيدها در اثر عمليات کرايو عميق يکواخت تر می شود و درصد حجمی آنها نيز حدود دو برابر می شود. از سویی در اثر جذب کربن توسط نابجایی ها، چقرمگی فولاد افزايش می يابد [2]. هم چنين هانگ شان يانگ<sup>2</sup> نشان داد که در چدن سفيد که تحت عمليات پايدارشدگی<sup>3</sup> در دمای  $900-1150^{\circ}\text{C}$  قرار گرفته است، ذرات کاربيد در عمليات کرايو پخش يک نواخت تری به خود می گيرند و به دليل پخش بهتر و افزايش درصد کاربيدها، سختی افزايش می يابد. در چدن سفيد افزايش سختی زمينه باعث سختی کنده شدن ذرات کاربيد و در نتيجه افزايش مقاومت سایشی نمونه می شود [9].

در اين تحقيق به منظور بررسی پايدار تأثير سرعت سایش در عمليات کرايو بر رفتار سایشی فولاد ابزار سرد کار<sup>۱/۲۴۳۶</sup> (Din X63-CrW12 يا AISI D6) که از فولادهای پرکاربرد در قالب سازی است استفاده شد. مشخص شد که در سرعت های بالاتر نرخ سایش در اين فولاد تشديد می شود.

<sup>1</sup>- Mohan Lal

<sup>2</sup>- Hang Shang Yung

<sup>3</sup>- Stabilization

## مواد و روش تحقیق

فولاد مورد استفاده در این تحقیق از نوع سرد کار ۱/۲۴۳۶ است که ترکیبی بسیار نزدیک به AISI D6 دارد. درصد عناصر آلیاژی این فولاد با استفاده از آزمایش کوانتومتری تعیین شد (جدول ۱)

جدول ۱. درصد عناصر آلیاژی فولاد مورد استفاده

| Fe     | C     | Si     | Mn     | Ni     | Cr    | Mo     | Co     | W      | Va    |
|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|
| %۸۳/۰۲ | %۲/۱۰ | %۰/۲۲۴ | %۰/۴۸۶ | %۰/۱۶۹ | %۱۲/۰ | %۰/۴۴۰ | %۰/۴۳۴ | %۰/۷۴۸ | ۰/۲۰> |

نمونه های سایش از فولاد فوق بریده و برای یکنواخت کردن سطح، تمام نمونه ها سنگ مغناطیسی زده شدند و پس از آن عملیات حرارتی زیر بر روی آنها انجام شد. نمونه ۱ (کوئنچ): آستنیت  $970^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲۰ دقیقه در حمام نمک - کوئنچ روغن - تمپر  $180^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت.

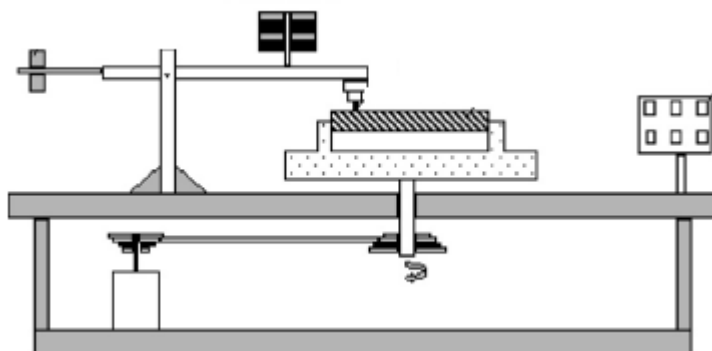
نمونه ۲ (کرایو ۲۰): آستنیت  $970^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲۰ دقیقه در حمام نمک - کوئنچ روغن - عملیات کرایو در دمای  $63^{\circ}\text{C}$  - با نرخ سرد - گرم کردن  $15\text{ K/h}$  - ۲۰ به مدت ۲۰ ساعت - تمپر  $180^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت.

نمونه ۳ (کرایو ۴۰): آستنیت  $970^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲۰ دقیقه در حمام نمک - کوئنچ روغن - عملیات کرایو در دمای  $63^{\circ}\text{C}$  - با نرخ سرد - گرم کردن  $15\text{ K/h}$  - ۲۰ به مدت ۴۰ ساعت - تمپر  $180^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت..

نمونه ۴ (کرایو عمیق): آستنیت  $970^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲۰ دقیقه در حمام نمک - کوئنچ روغن - عملیات کرایو در دمای  $63^{\circ}\text{C}$  - با نرخ سرد - گرم کردن  $15\text{ K/h}$  - ۲۰ به مدت ۲۰ ساعت - غوطه وری در نیتروژن مایع به مدت ۱۰ ساعت - گرم کردن تا دمای محیط - تمپر  $180^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت. شایان ذکر است به منظور پاک کردن نمک از روی نمونه ها و یکنواخت کردن سطح نمونه ها پس از عملیات کوئنچ تا سمباده ۶۰۰ سمباده زده شده و پس از آن عملیات تکمیلی کرایو بر روی آنها انجام شد.

آزمون سایش با استفاده از دستگاه سایش (شکل ۱) و بروش پین روی دیسک، با پین فولاد بلبرینگ و سختی HRC ۶۴ و دیسک متحرک در دو نیروی ۱۲۰ و ۱۸۰ نیوتن و در سرعت های ۰/۲، ۰/۱ و ۰/۰۵ انجام شد. در مراحل آزمایش، کاهش وزن نمونه توسط ترازوی دیجیتال و با دقت ده هزارم گرم محاسبه شد. هم زمان با آزمون سایش نمودار تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب فاصله نیز توسط دستگاه رسم می شد. آزمون سایش در مسافت ۱۰۰۰ متر، در رطوبت هوای  $2 \pm 25\%$  و دمای  $26 \pm 5^\circ C$  انجام شد.

شکل ۱. دستگاه سایش مورد استفاده



در آزمون سایش نمودار کاهش وزن بر حسب مسافت و نرخ سایش بر حسب مسافت رسم شد. نرخ سایش با استفاده از فرمول ۱ محاسبه شد.

(۱)

$$W_r = \Delta m / (\rho \times l \times F) \times 10^6$$

در این معادله  $W_r$  نرخ سایش بر حسب  $mm^3/Nm$

$\Delta m$  کاهش وزن بر حسب میلی گرم

$\rho$  چگالی فولاد بر حسب  $gr/cm^3$

$l$  مسافت طی شده بر حسب متر

$F$  نیروی اعمای بر حسب نیوتن و ضریب  $10^6$  برای تبدیل واحد است.

### نتایج:

آزمون سختی به روش HRC و با نیروی ۱۵۰ نیوتن بر روی نمونه ها انجام شد. نتایج آزمون سختی (جدول ۲) افزایش سختی نمونه ها پس از عملیات کرایو را نشان می دهد. این افزایش در کرایو عمیق شدید تر و در حد ۲ HRC می باشد. سختی نمونه ها قبل از تمپر به ترتیب ۱ و ۲/۷ و بعد از تمپر به طور میانگین ۰/۵ و ۲ HRC افزایش یافت.

در نمونه هایی که کرایو طولانی تری بر روی آن انجام شده بود سختی قبل و بعد از تمپر افزایش بسیار کمی می یابد. این افزایش در کرایو ۲۰ و ۴۰ ترتیب برابر ۱ و ۱/۵ HRC برای قبل از تمپر و ۰/۵ و ۱ HRC بعد از تمپر می باشد.

جدول ۲. سختی نمونه ها قبل و بعد از تمپر

| نمونه                  | کرایو عمیق | کرایو ۲۰ | کونچ  | کرایو ۲۰ |
|------------------------|------------|----------|-------|----------|
| درصد آستنیت باقی مانده | مشاهده نشد | ۸٪       | ۱۲/۴٪ | ۶/۵٪     |

میزان آستنیت باقی مانده با استفاده از روش مقایسه مستقیم<sup>۱</sup> محاسبه شد و درصد های به دست آمده (جدول ۳) نشانگر حذف آستنیت باقی مانده از فولاد پس از کرایو عمیق بود. هم چنین در اثر کرایو ۲۰ نیز میزان آستنیت باقی مانده کاهش می یابد و از ۱۲/۴٪ به ۸٪ کاهش می یابد. درصد آستنیت باقی مانده در اثر طولانی کردن زمان کرایو کاهش می یابد و از ۸٪ در کرایو ۲۰ به ۶/۵٪ در کرایو ۴۰ می رسد.

<sup>۱</sup> Direct Method



جدول ۳. درصد آستنیت باقی مانده در نمونه ها.

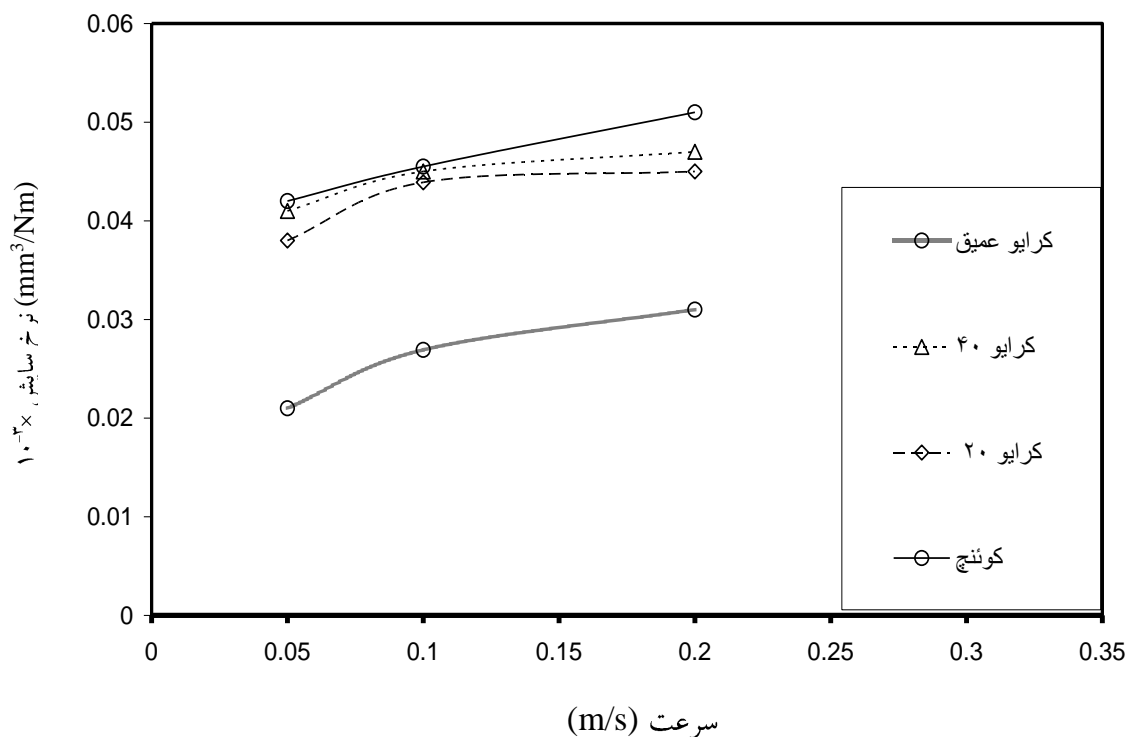
| نمونه      | سختی میانگین (بعد از تمپر) HRC | سختی میانگین (قبل از تمپر) HRC |
|------------|--------------------------------|--------------------------------|
| کوئنچ      | $62 \pm 0.5$                   | $64 \pm 0.7$                   |
| کرایو ۲۰   | $62.5 \pm 0.6$                 | $65 \pm 0.5$                   |
| کرایو عمیق | $64 \pm 0.4$                   | $66.7 \pm 0.4$                 |
| کرایو ۴۰   | $63 \pm 0.5$                   | $65.5 \pm 0.4$                 |

با توجه به نتایج به دست آمده از آزمون سایش (شکل ۲ و ۳) نرخ سایش در اثر عملیات کرایو کاهش می یابد. این کاهش در عملیات کرایو در سرعت ها و نیروهای مختلف با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد و مشخص شد که میزان بهبود در رفتار سایشی سرعت ها و نیروهای مختلف کرایو سطحی بین ۵-۱۱٪ و در کرایو عمیق در محدوده ۳۹-۶۸٪ می باشد. شکل ۲ نمودار نرخ سایش بر حسب مسافت طی شده را در نیروی ۱۲۰ نیوتن و سرعت ۱ m/s را نشان می دهد. کاهش وزن کمتر در اثر عملیات کرایو در شکل کاملاً مشخص است. نتایج حاصل در آزمون سایش با نیروی ۱۸۰ نیوتن نیز تایید می شود (شکل ۳). شکل ۲ نمودار نرخ سایش بر حسب مسافت در نیروی ۱۲۰ نیوتن و در سرعت های مختلف رسم شده است. این شکل به خوبی نشان می دهد که نرخ سایش در اثر کرایو بهبود می یابد. این بهبود در حالت کرایو عمیق بسیار شدید تر از کرایو سطحی است. در اثر افزایش سرعت در تمام نمونه ها نرخ سایش افزایش می یابد. در نیروی ۱۸۰ نیوتن (شکل ۳) نیز شرایط مشابه ای برقرار است. در تمام سرعت ها رفتار سایشی در اثر عملیات کرایو بهبود می یابد که در کرایو ۴۰ این بهبود مشخص تر است. در اثر افزایش سرعت حرکت پین، بدلیل برخورد سطوح با سرعت بیشتر با هم نرخ سایش افزایش می یابد. این افزایش در سطح سایش با عمیق تر شدن شیارها و افزایش تعداد آنها قابل تشخیص است.

[www.iran-mavad.com](http://www.iran-mavad.com)

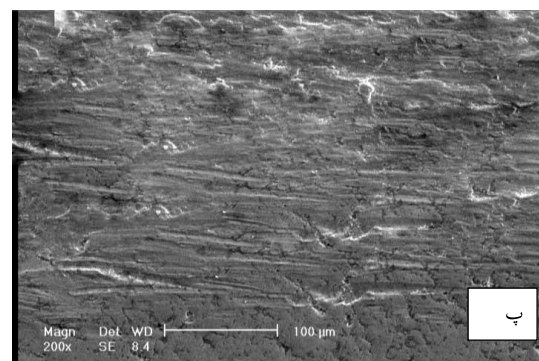
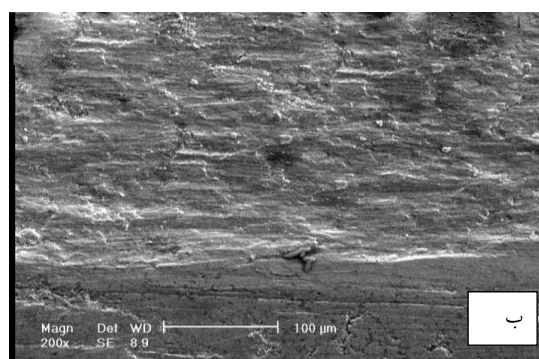
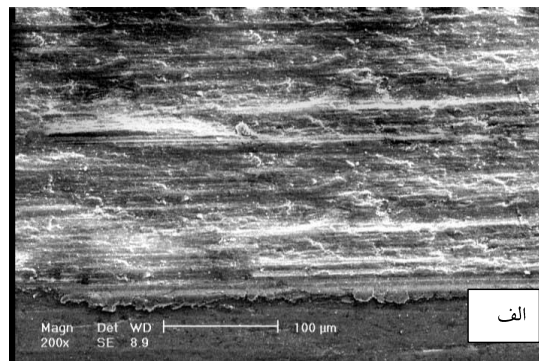
مرجع دانلود رایگان مهندسی مواد و متالورژی

شکل ۴ این تغییرات را برای نمونه کرایو ۴۰ پایدار شده نشان می دهد. در شکل مشخص است که با افزایش سرعت از  $0.2 \text{ m/s}$  در ۴ الف به  $0.5 \text{ m/s}$  در ۴ پ نرخ سایش کاهش می یابد. این کاهش با کم شدن تعداد شیارهای سایش و هم چنین عمق آنها کاملاً قابل تشخیص است. برای اطمینان از غالب بودن مکانیزم سایشی نمونه ها در جهت موازی سایش و روی خط سایش مقطع زده شدند. سپس با استفاده از سمباده و پولیش سطح نمونه ها صاف و پس از آن در محلول ۴٪ نایتال اچ شدند ( شکل ۵).



شکل ۲. نمودار نرخ سایش- سرعت، نیرو  $120 \text{ N}$ .

دومین همایش مشترک انجمن مهندسين متالورژی ايران و جامعه ريخته گران ايران



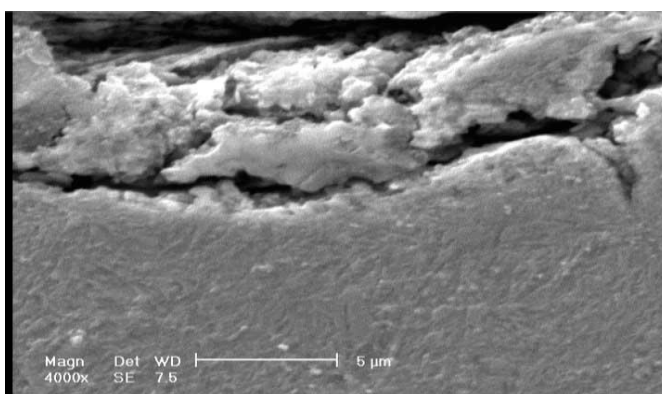
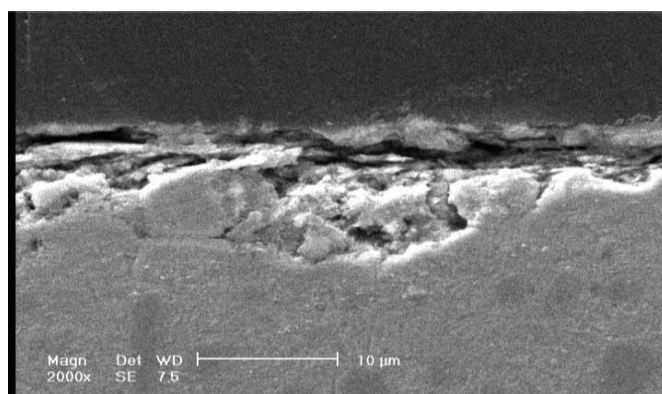
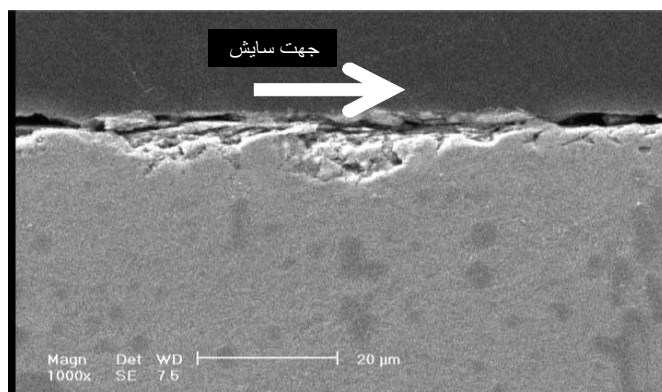
شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی الکترونی نمونه کرایو ۴۰. الف)  $0.2 \text{ m/s}$ ، ب)  $0.1 \text{ m/s}$  و

پ)  $0.05 \text{ m/s}$

[www.iran-mavad.com](http://www.iran-mavad.com)

مرجع دانلود رایگان مهندسی مواد و متالورژی

تأثیر سرعت سایش در....



شکل ۵. سطح مقطع سایش پس از اج در نایتال ۴٪.

[www.iran-mavad.com](http://www.iran-mavad.com)

مرجع دائلود رایگان مهندسی مواد و متالورژی


## بحث:

در اثر عمليات کرایو ۲۰ میزان آستنیت باقی مانده کاهش می یابد و از ۱۲/۴٪ به ۸٪ کاهش می یابد. کاهش آستنیت باقی مانده باعث افزایش سختی در اثر عمليات کرایو در نمونه ها می شود. از طرفی توزیع بهتر و یک نواخت تر کاربید ها باعث افزایش بیشتر سختی در نمونه های کرایو عمیق شده، می شود. درصد آستنیت باقی مانده در اثر طولانی کردن زمان کرایو کاهش می یابد و از ۸٪ در کرایو ۲۰ به ۶/۵٪ در کرایو ۴۰ می رسد. این کاهش به دلیل فراهم شدن زمان بیشتر برای انجام تغییر فاز است. در حالت عمومی به دلیل کند بودن تغییر فاز در عمليات کرایو با افزایش زمان در کرایو سطحی، تغییر فاز به شکل کامل تری انجام می شود [۴].

میزان بهبود در رفتار سایشی سرعت ها و نیروهای مختلف در کرایو سطحی بین ۵-۱۱٪ و در کرایو عمیق در محدوده ۳۹-۶۸٪ می باشد. دلیل بهبود بیشتر در عمليات کرایو عمیق نسبت به کرایو سطحی حذف آستنیت باقی مانده و توزیع بهتر کاربید ها می باشد [۳]. کاهش وزن کمتر در اثر عمليات کرایو در شکل ۲ کاملاً مشخص است. در اثر افزایش مسافت و به دلیل کار سرد شدن لایه های تحت سایش از نرخ کاهش وزن یا سایش بر حسب مسافت کاسته می شود. نتایج حاصل در آزمون سایش، با نیروی ۱۸۰ نیوتن نیز تایید می شود (شکل ۳). در اثر افزایش نیرو به دلیل وارد شدن نیروی بیشتر به سطوح در حال تماس نرخ سایش افزایش می یابد [۹]. در اثر افزایش سرعت در تمام نمونه ها نرخ سایش به دلیل برخورد سریعتر سطوح و تولید گرمای موضعی افزایش می یابد. به دلیل حذف آستنیت باقی مانده و پخش بهتر کاربید ها در نمونه های کرایو عمیق شده، بهبود بیشتری نسبت به نمونه های کرایو سطحی که فقط آستنیت باقی مانده در آنها کاهش یافته است مشاهده می شود. به دلیل افزایش درصد مارتنزیت و کاهش آستنیت به عنوان فاز نرم، رفتار سایشی نمونه ها در کرایو ۴۰ نسبت به کرایو ۲۰ بهبود می یابد.

[www.iran-mavad.com](http://www.iran-mavad.com)

مرجع داتلود رایگان مهندسی مواد و متالورژی

این بهبود بین ۳ تا ۱۵٪ می باشد  به دلیل کاهش بیشتر درصد آستنیت باقی مانده در کرایو طولانی تر بهبود بیشتری نسبت به نمونه هایی که زمان کمتری در دمای کرایو قرار داشته اند مشاهده می شود. با توجه به شکل ۵، تغییر فرم پلاستیک در سطح کاملاً مشخص است. عدم وجود ترک در لایه های پایین تر امکان تولید شیار و کنده شدن ذرات سایش بوسیله مکانیزم خستگی را منتفی می کند. با توجه به شیارهای موجود در سطح در نمونه ها و تغییر فرم پلاستیک در مقطع نمونه ها غالب بودن مکانیزم خراشان تایید می شود.

### نتیجه گیری:

عملیات کرایو باعث بهبود خواص سایشی و افزایش سختی این فولاد می شود. زمان نگهداری در دمای کرایو بر رفتار سایشی ماده تأثیر می گذارد در حدی که افزایش زمان نگهداری تأثیر دمای کرایوی کمتر را تا حد زیادی بر آورده می سازد. دلیل اصلی بهبود خواص در کرایو سطحی تبدیل آستنیت باقیمانده به مارتنزیت و در کرایو عمیق افزایش تعداد دانه های کاربید، توزیع یکنواخت این ذرات است. در حالت کرایو ۲۰ رفتار سایشی به میزان ۵٪-۱۱٪ نسبت نمونه ای که کرایو نشده بهبود نشان می دهد این میزان برای نمونه های کرایو ۴۰ و عمیق به ترتیب ۱۵٪-۲۱٪ و ۳۹٪-۶۸٪ است. از سویی نتایج نشان داد که در اثر افزایش سرعت در تمام نمونه ها نرخ سایش افزایش می یابد. این افزایش بدلیل به دلیل برخورد سریعتر سطوح و تولید گرمای موضعی در سطح تماس می باشد.

منابع:

- [1] Bensely, A., Prabhakaran, A., Mohan Lal, D. and Nagarajan, D., "**Enhancing the wear resistance of case carburized steel (En 353) by cryogenic treatment**", *Cryogenics*, 2005, 12, 747-754.
- [2] Zhirafar, S., Rezaeian, A. and Pugh, M., "**Effect of cryogenic treatment on the mechanical properties of 4340 steel**", *Journal of Materials Processing Technology*, 2007, 186, Issues 1-3, 298-303.
- [3] Molinari, A., Pellizzari, M., Gialanella, S., Straffelini, G. and Stiasny, K. H., "**Effect of deep cryogenic treatment on the mechanical properties of tool steels**", *Journal of Materials Processing Technology*, 2001, 118, 350-355,
- [4] Mohan Lal, D., Renganarayanan, S. and Kalanidhi, A., "**Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steel**", *Cryogenics*, 2001, 41, 149-155.
- [5] Hübner, W., "**Phase transformations in austenitic stainless steels during low temperature tribological stressing**", *Tribology International*, 2001, 34, 231-236.
- [6] Meng, F., Tagashira, K. Azuma, R. and Sohma, H., "Role of eta-carbide precipitations in the wear resistance improvements of Fe-12Cr-Mo-V-1.4 C tool steel by cryogenic treatment", *ISIJ international*, 1992, 34, 205-210.
- [7] Danil'chenko, V. E, Sagaradze, V. V. and Ph. I'Heritier, "**Martensite crystal structure of nickel steel at cryogenic temperatures**", *Materials Science and Engineering A*, 2003, 358, 26-31.
- [8] Autee, A.T, Gogte, C.L and. Dharmadhikari, H.M, "**Effect of cryogenic treatment on the wear rate of high carbon high chromium steel**", *Journal of Materials Processing Technology*, In Press, Accepted Manuscript, Available online 2007.
- [9] Yang, H. SH., Wang, J., Shen B-L., Liu, H.H., Gao, S., Huang, S., "effect of cryogenic treatment on the structure and abrasion resistance of white cast Iron subjected to destabilization treatment", *Wear*, In Press, Corrected Proof, Available online 2006.

## Effects of wear speed under cryogenic treatment on the wear behavior of 1.2436 tool steel

Amin akhbarizadeh<sup>1</sup>

Ali shafeii<sup>2</sup>

Mohammad Ali Golozar<sup>3</sup>

Mojtaba kholghi<sup>4</sup>

### Abstract:

Retained austenite in tool steels would reduce the wear resistance by transforming to Martensite. The retained austenite would produce unwanted dimensional changes too. In order to eliminate the retained Austenite in tool steels, cryogenic treatment is performed in tool steels. This extra heat treatment (cryogenic treatment) is done in steels, which need high dimension accuracy and/or high wear resistance. The cryogenic treatment is conducted on tool steels, maraging steel, cast iron, carburized steel, tungsten carbide, polymers and composites. In all of the above materials, the cryogenic treatment increases the wear resistance and subsequently increases the product life. In this study the effects of wear speed under cryogenic treatment on the wear behavior of 1.2436 tool steel was studied. For this purpose, two temperatures were used: -63 °C as shallow cryogenic temperature and -185 °C as deep cryogenic temperature. Wear tests were performed using a pin-on-disk wear tester by which two different loads (120 and 180 N) and three different velocities (0.05, 0.1 and 0.2 m/s) were applied. Results showed that in higher velocities (0.2 m/s) wear rate increases 40-70% in shallow and deep cryogenically treated samples. Also it was shown that in samples kept for longer times in shallow cryogenic temperatures wear resistance improves more than samples kept for shorter periods. It was also showed that compared with lower velocities, in higher velocities wear grooves are deeper, but the predominant wear mechanism is two-body abrasive in all the samples.

Keywords : Cryogenic treatment, wear, wear velocity, 1.2436.

---

1- Student in Master of science in material characterization and selection- Isfahan university of technology- Email: amin\_azzadehe@yahoo.com tell: 09171134163

3 -professor Isfahan university of technology- Email: [Golozar@cc.iut.ac.ir](mailto:Golozar@cc.iut.ac.ir)

2- Professor assistant Email: [shafyei@cc.iut.ac.ir](mailto:shafyei@cc.iut.ac.ir)

4 -R & D. Sakht Afza co