

# تأثیر مرفولوژی کاربیدها بر رفتار تربیولوژیکی چدنهای نیکل سخت نوع ۴

مهدى صالحى\* و عبدالصمد آيت الله\*\*

دانشکده مهندسى مواد دانشگاه صنعتى اصفهان

(دریافت مقاله: ۱۳۷۴/۹/۲۱ - دریافت نسخهٔهای: ۱۳۷۵/۶/۲۵)

چکیده - در این پژوهش تأثیر حجم و مرفولوژی کاربیدهای یوتکنیکی در ساختمان میکروسکوبی بر رفتار تربیولوژیکی چدنهای نیکل سخت نوع ۴ بررسی شده است. بدین منظور ترکیب شیمیایی عمومی این آلیاژها بر طبق استاندارد ASTM A532 دسته I نوع D به عنوان مبانی پژوهش انتخاب و در تهیه نمونه‌ها تنها میزان کربن بین  $2/3\% \text{ تا } 2/1\%$  درصد تغییر داده شد. آزمایش‌های سایش لغزشی در حالت خشک به صورت دیسک بر روی دیسک تحت سرعت خطی لغزشی  $0/283 \text{ m/s}$  صورت پذیرفت. در این پژوهش برای مطالعه ساختار میکروسکوبی و مرفولوژی کاربیدها از میکروسکوپ نوری استفاده گردید و برای مشخص نبودن سایش نمونه توپوگرافی سطوح و ذرات سایش توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی صورت پذیرفت. یافته‌های آزمایش نشان می‌دهند که افزایش حجم فاز کاربید باعث کاهش تغییر شکل پلاستیکی سطوح و نهایتاً افزایش مقاومت به سایش شده است. البته این امر صرفاً در چدنهای هیپویوتکنیک صادق بوده و افزایش بیش از حد کاربید، سبب بروز ترک و اشاعه آن و کنده شدن ذرات و در نتیجه افت مقاومت سایش شده است. مطالعات میکروسکوبی همچنین نشان می‌دهند که تا پیوستگی کاربیدها در زمینه موجب افزایش مقاومت سایشی آلیاژ شده است.

## The Effect of Carbides Morphology on Tribological Behaviour of Ni-Hard 4 Cast Irons

M. Salehi and A.S. Ayatollahi

Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology

**ABSTRACT-** In this research the effect of volume and morphology of eutectic carbides on tribological behaviour of Ni-Hard 4 cast irons have been investigated. Therefore, as a result of the fact that the carbon content effects the carbides morphology of Ni-hard cast irons, the chemical compositions of five different specimens were kept constant with the exception of the carbon content, which was varied from 2.3 to 3.2%. The general composition of these alloys was selected according to Group D Class I of ASTM A532 standard. The microstructure and carbides morphology of homogenized specimens were examined by microhardness testings and metallographic examinations. Metallographic techniques include optical and scanning electron microscopy have been also used to characterise the predominant wear mechanism. The

\* استادیار \*\* کارشناسی ارشد

*Ni-hard 4 cast iron surfaces worn by a process of plastic deformation and fracture to produce wear debris. SEM examination of worn surface topography and wear debris shows the tendency to plastic deformation and wear decreased as the carbon content of the specimen increased.*

نوع، نسبت و مُرفولوژی این کاربیدها، نه تنها مقاومت به سایش را کنترل می‌کند بلکه به طور مشخص روی چقرمگی نیز مؤثر است. کاربیدهای موجود در سیستم Fe-Cr-C عبارت اند از:  $M_3C$ ،  $M_7C_3$  و  $M_{23}C_6$ . عناصر تشکیل دهنده کاربید مثل منگنز، مولیبدن و وانادیم هم در  $M_3C$  و هم در  $M_7C_3$  حل می‌شوند و همچنین ممکن است کاربیدهایی مثل  $M_2C$  و  $M_6C$  را افزایش دهنند. چنانچه مقدار گرم در آلیاژ زیر ۱۲ درصد باشد، کاربیدهای  $M_3C$  با سختی HV ۱۰۰۰ بوجود می‌آیند و در مقادیر کرم زیر ۶ درصد، این کاربیدها به صورت یوتکتیک لدبوریت پیوسته‌اند. اما در مقادیر گرم بین ۸ تا ۱۰ درصد، کاربیدهایی با پیوستگی کمتر ایجاد می‌شوند [۱]. در اکثر کارهای اخیر، محققان بر این عقیده‌اند که در آلیاژهایی با این مقدار از گرم، کاربید یوتکتیکی مرکبی تشکیل می‌شود مشتمل بر یک قسمت داخلی  $M_7C_3$  و یک پوسته بیرونی از  $M_3C$  که در حین سردشدن حالت جامد در قالب به وجود می‌آید [۲]. در مقادیر بالاتر گرم، کاربیدهای یوتکتیکی  $M_7C_3$  به صورت ناپیوسته مرکب به وجود می‌آیند. میزان پیوستگی فاز کاربید در یک کلنی یوتکتیک، به مراتب کمتر از نوع  $M_3C$  است. این مطلب به اضافه سختی بالاتر  $M_7C_3$  (HV ۱۶۰۰) سبب ترکیب بالاتری از مقاومت سایش و شکست نسبت به چدنهاست با گرم پائینتر می‌شود.

سختی کاربیدها یکی از فاکتورهای مؤثر بر سایش محسوب می‌شود. لذا با استفاده از کاربیدهایی که سختی بالایی دارند، مقاومت به سایش افزایش می‌یابد.

کاربیدها به طور کلی به عنوان فاق یا شیار داخلی عمل می‌کنند. لذا چنانچه در ساختار وجود داشته باشند کاربیدهای ناپیوسته نسبت به کاربیدهای پیوسته ارجحیت خواهند داشت. وقتی کاربید به شبکه پیوسته باشد، ترک به آسانی رشد می‌کند، اما در شکل ناپیوسته، ترک به سختی از یک کاربید به کاربید دیگر رشد می‌کند و لذا چقرمگی افزایش می‌یابد.

در این مقاله سعی شده است تأثیر مرفولوژی کاربیدها بر

## ۱- مقدمه

چدنهای سفید آلیاژی به طور گسترده‌ای در مصارف ضد سایشی مثل خردکننده‌ها، سنگ شکنها، گلولهای آسیاب، تجهیزات کارخانجات سیمان و حمل مواد کاربرد دارند. این دسته از چدنها یکی از مهمترین گروه موادی هستند که باید به طور مجزا از چدنها معمولی بررسی شوند. درصد عناصر آلیاژی معمولاً "بالاتر از چهار درصد است و در بسیاری از مواقع عملیات حرارتی بر روی قطعات ریختگی به منظور بهبود خواص سایشی و انعطاف‌پذیری صورت می‌گیرد.

حجم زیاد کاربیدهای اولیه و یوتکتیکی در ساختمان میکروسکوپی سبب ایجاد سختی بالای مورد نیاز برای این گونه مصارف است. زمینه فلزی چدنها سفید هیپو یوتکتیک که فاز کاربید را در بر گرفته می‌تواند به وسیله مقدار عناصر آلیاژی و عملیات حرارتی تحت تأثیر قرار گیرد تا بسته به شرایط کاربرد، مقاومت به سایش و یا انعطاف‌پذیری لازم را ایجاد کند. برای انتخاب بهینه و مطمئن این چدنها در یک کاربرد مشخص و تحت بار و شرایط محیطی خاص باید کلیه شرایطی که قطعه در آن واقع می‌شود را شناخت. در بسیاری از حالات، لازم است تا ساختاری به دست آید که مقاومت به سایش توأم با چقرمگی کافی برای مقاومت در برابر بارهای ضربه‌ای را داشته باشد. از جمله پرصرفترین این دسته از چدنها، چدنها نیکل - سخت گروم (Ni-Hard) است. با توجه به اینکه کاربرد این چدنها علی‌رغم داشتن خصوصیات سایشی مناسب در بسیاری از موارد به دلیل شکننده بودن و ضعف در میزان ضربه‌پذیری محدود می‌شود، تحقیقاتی در ارتباط با اصلاح در ترکیب شیمیایی توأم با عملیات حرارتی صورت گرفته است. مطالعات نشان می‌دهد که از بین عناصر آلیاژی، عنصر کربن دارای تأثیر بسیار زیادی روی خصوصیات این چدنهاست.

چدنهای نیکل سخت، برای مقاومت در برابر سایش، متکی به حضور کاربیدهای یوتکتیکی سخت در ساختار میکروسکوپی‌اند.

جدول ۱ - ترکیب شیمیایی چدنها نیکل سخت ۴ مطابق استاندار ASTM A532

آهن	مولیبدن	کرم	نیکل	سیلیسیم	منگنز	کربن
بقیه	حداکثر ۱	۷-۱۱	۵-۷	۱-۲/۲	حداکثر ۱/۳	۲/۵-۳/۶

جدول ۲ - ترکیب شیمیایی نمونه های ریختگی

%C	شماره نمونه	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	CE	Cr/C
۲/۳۰	۱	۲/۱۲	۱/۲۲	۰/۰۲۳	۰/۰۳۷	۸/۸۶	۰/۰۳۱	۵/۵۴	۲/۹۴۷	۲/۸۵
۲/۶۷	۲	۲/۰۹	۱/۱۶	۰/۰۲۳	۰/۰۴۵	۸/۷۲	۰/۰۳۰	۵/۴۴	۲/۱۳۳	۳/۲۶
۲/۷۶	۳	۲/۱۴	۱/۱۴	۰/۰۲۲	۰/۰۳۹	۸/۷۰	۰/۰۳۱	۵/۴۹	۲/۴۱۶	۳/۱۵
۲/۹۸	۴	۲/۰۷	۱/۱۳	۰/۰۲۲	۰/۰۴۱	۸/۴۴	۰/۰۳۲	۵/۴۰	۲/۶۰۹	۲/۸۳
۳/۲۱	۵	۲/۱۰	۱/۱۶	۰/۰۲۰	۰/۰۳۴	۸/۵۶	۰/۰۳۰	۵/۴۲	۲/۸۵۰	۲/۶۶

در یک محیط کوئنچ با شدت کمتر، نمونه های به مدت ۴/۵ ساعت در دمای ۷۸۰ درجه سانتیگراد نگهداری و پس از سرد کردن در روغن به مدت یک ساعت در دمای ۲۴۰ درجه سانتیگراد بازگشت داده شدند.

مکانیسم سایش چدنها نیکل سخت نوع ۴ تحت شرایط ویژه ای از تریبو سیستم بررسی شود.

## ۲ - مواد و روش های آزمایشی

### ۱-۲ - مواد

در طی پژوهش انجام شده برخی از رفتارهای چدن سفید آلیاژی نیکل - سخت نوع ۴ تحت تأثیر تغییر درصد کربن در ترکیب شیمیایی آن بررسی شده است. لذا ترکیب شیمیایی عمومی این آلیاژها بر طبق استاندار ASTM A532 دسته I نوع D به عنوان مبنای کار انتخاب شده و در تهیه نمونه ها تنها درصد کربن تغییر داده شده است. جدول (۱) ترکیب شیمیایی این گروه از چدنها سفید آلیاژی را نشان می دهد.

به منظور تهیه نمونه های آزمایشی مورد نظر برای آزمایش های متالوگرافی، ضربه و سایش قطعاتی به شکل Y ریخته گری شد. تهیه ذوب توسط کوره القایی صورت گرفته و از امکاناتی نظری کواتنومتر و ترموموکوپل برای تنظیم ترکیب شیمیایی و دمای ذوب استفاده شد. ترکیب شیمیایی نمونه های ریختگی در جدول (۲) نشان داده شده است.

قطعات ریختگی توسط دستگاه های تخلیه الکتریکی برشکاری شده و با ماشینکاری، نمونه هایی به قطر ۲۰ و ضخامت ۱۰ میلیمتر برای انجام آزمایش سایش تهیه شدند. به منظور جلوگیری از کاهش دمای شروع مارتزیت Ms و دستیابی به زمینه مارتزیتی

۲-۲ - دستگاه سایش چرخشی - لغزشی

انجام آزمایش های سایش توسط یک دستگاه سایش چرخشی - لغزشی صورت گرفت. نمونه ها به صورت دیسک ثابت توسط نگهدارنده در بالا قرار گرفته و در اثر چرخش دیسک پایین ساییده می شدند. جنس سطح مقابله از فولاد CrMoV12 X165 با سختی HV ۵۹۰ بود که ترکیب شیمیایی آن در جدول (۳) دیده می شود. فولاد مزبور به مدت یک ساعت در دمای ۹۸۰ درجه سانتیگراد آستینیته شده و پس از سرد کردن در روغن به مدت یک ساعت در دمای ۲۴۰ درجه سانتیگراد بازگشت داده شد. آزمایشها در شرایط خشک و اتمسفر معمولی انجام شد. در این دستگاه می توان شرایطی ایجاد کرد که نمونه آزمایش و سطح مقابله هر دو در حال چرخش باشند و یا شرایطی که نمونه ثابت بزوده و تنها سطح مقابله بچرخد که در این حالت دستگاه تنها حالت لغزشی دارد. آزمایشها در این بررسی در حالت دوم صورت گرفت. سرعت لغزش نسبی بستگی به دور موتور و قطر دیسک چرخنده دارد و قابل تنظیم و محاسبه است. در این آزمایشها دور موتور ۱۰۰ دور در دقیقه انتخاب شد که با توجه به قطر دیسک، سرعت خطی لغزشی  $0/283 \text{ m/s}$  حاصل شد. همچنین می توان توسط وزنه بار

### جدول ۳ - ترکیب شیمیایی فولاد X165 CrMoV12

آهن	وانادیم	مولیبدن	کربن
۱/۶	۰/۵	۰/۲	بقیه

۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ متر کاهش وزن به وسیله یک ترازوی دقیق با دقت ۰/۱ میلی گرم اندازه‌گیری شد و نتایج کاهش وزن بر حسب مسافت لغزش، در قالب منحنی مشخصه سایش رسم شد.

#### ۴-۲ - مطالعات میکروسکوپی

بررسی مکانیسم سایش نمونه‌ها توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی فیلیپس XL۳۰ صورت پذیرفت. در بررسی، مکانیسم سایش ذرات و توپوگرافی سطوح سایش نیز مطالعه شدند.

به منظور مطالعات ساختاری و تهیه تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌ها در حالت ریختگی و عملیات گرمایی از یک دستگاه میکروسکوپ نوری مدل METALUX<sup>۳</sup> با حداکثر بزرگنمایی ۱۸۰° برابر استفاده شد. سطح نمونه‌ها پس از سنباده زدن تا سنباده ۴۰۰۰ پولیش شده و در محلول پیکرال (۴ درصد اسیدپیکریک دراتanol) اچ شدند.

#### ۳ - نتایج و بحث

##### ۱-۳ بروزی ساختاری

شکل (۱) تأثیر میزان کربن در نمونه‌ها بر حجم و مرفولوژی کاربیدهای حاصله را نشان می‌دهد. به طوری که تصویر (۱-الف) که مربوط به نمونه با کمترین درصد کربن است دارای کمترین مقدار کاربید در ساختار بوده و تصویر (۱-ه) که مربوط به نمونه با بیشترین درصد کربن است، دارای بیشترین مقدار کاربید است. زمینه ایجاد شده بعد از عملیات گرمایی "عدمتأ" مارتزیتی است.

مقدار گرم به این میزان، در این آلیاژها می‌تواند نوع و مرفولوژی کاربیدها را تغییر دهد به گونه‌ای که علاوه بر کاربیدهای  $M_3C$ ، کاربیدهای  $M_7C_3$  نیز ایجاد شوند. نتایج میکروسختی نیز مؤید این مطلب است که کاربیدها از یک قسمت داخلی  $M_7C_3$  و یک پوسته بیرونی  $M_3C$  تشکیل شده‌اند. این کاربیدها در یک شکل ناپیوسته در زمینه توزیع شده‌اند. این مطلب را می‌توان به خوبی از روی شکل (۲) ملاحظه کرد. در چندنهای هیپویوتکنیک، کاربید در فواصل بین دندانیتهای آستانتی اولیه منجمد می‌شود و شکل کاربید بستگی به اندازه این فضاهای دارد. در حقیقت مرفولوژی واقعی

مورد نظر را از ۱ تا ۳۰ کیلوگرم بر روی نمونه اعمال کرد. مسافت لغزش توسط یک شمارنده اندازه‌گیری می‌شود. میزان سایش به وسیله اندازه‌گیری کاهش وزن نمونه بعد از مسافتها مورد نظر محاسبه می‌شود. همین طور کرنش‌سنجهایی بر روی بازوی عمودی دستگاه نصب شده که در نهایت امکان اندازه‌گیری ضریب اصطکاک را فراهم می‌سازد. نیروی اصطکاک توسط اهرمی به بازوی عمودی وارد شده و کرنش حاصله باعث تغییر مقاومت الکتریکی کرنش‌سنجهایی می‌شود. تغییرات مقاومت الکتریکی توسط یک پل و تستون به تغییرات ولتاژ در حد میلی ولت تبدیل شده و سپس به یک تقویت کننده ارسال می‌شود. تقویت کننده این تغییرات را از طریق یک بورد تبدیل کننده اطلاعات قیاسی به شمارگر که در یک کامپیوتر جاسازی شده توسط یک نرم افزار مناسب، در کامپیوتر ذخیره می‌کند.

سرعت نمونه برداری بین ۱ تا ۱۰۰ نمونه در ثانیه قابل تغییر بوده و کامپیوتر در هر مرحله ۵۰۰۰ داده را می‌تواند ثبت و رسم کند. تعداد نمونه برداری در آزمایشهای سایش ۱۰۰ نمونه در ثانیه تنظیم شده است.

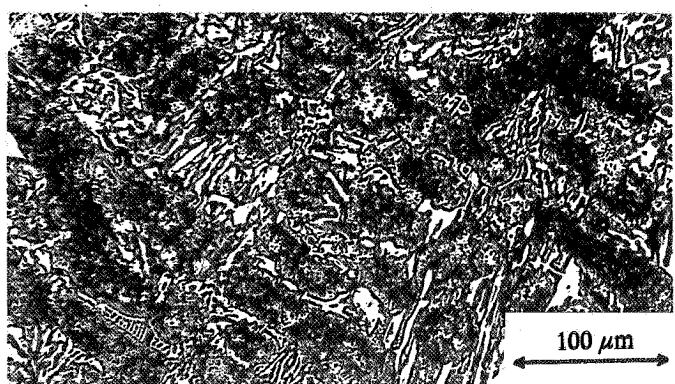
با درجه بندی کردن این سیستم، می‌توان تغییرات ولتاژ را به تغییرات نیروی اصطکاک ربط داده و با استفاده از نرم افزارهای گرافیکی نمودار نیروی اصطکاک بر حسب زمان را رسم کرد. همچنین می‌توان با استفاده از روابط و با توجه به نیروی اعمالی، محور عمودی نمودار را به ضریب اصطکاک تبدیل کرد. با در نظر گرفتن سرعت لغزش در دستگاه سایش می‌توان محور افقی نمودار را به مسافت لغزش تبدیل کرده و در نهایت نمودار ضریب اصطکاک را بر حسب مسافت لغزش رسم کرد.

#### ۳-۲ - روش اجرای آزمایشهای سایش

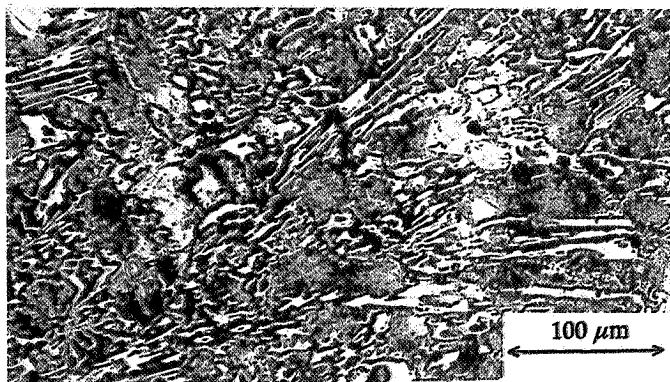
به منظور انجام آزمایشهای سایش، ابتدا دستگاه سایش چرخشی - لغزشی درجه بندی شد و آزمایشها تحت بار ۱۵ کیلوگرم و در مسافت ۱۰۰۰ متر انجام گرفت. برای کلیه نمونه‌ها در فواصل ۵۰،



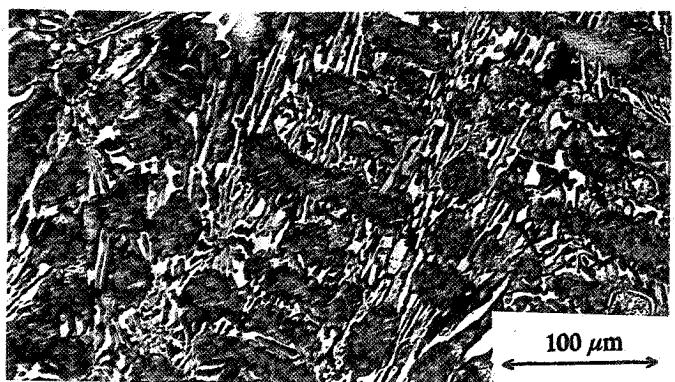
ب) ۲/۶۷ در صد کربن



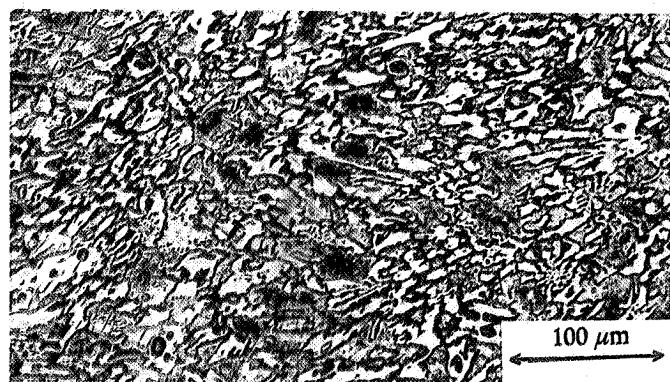
الف) ۲/۳۰ در صد کربن



د) ۲/۹۸ در صد کربن



ج) ۲/۷۶ در صد کربن



ه) ۳/۲۱ در صد کربن

شکل ۱- ساختار میکروسکوپی چند نهای نیکل سخت گروه چهار با درصد کربن مختلف



شکل ۲- ساختار میکروسکوپی چدن نیکل سخت عملیات حرارتی شده با  $2/3$  درصد کربن شامل زمینه مارتنتزیت و فاز کاربید

جدول ۴- نتایج میکروسختی ویکرز از فازهای موجود در ساختار

نمونه های عملیات حرارتی شده

شماره نمونه	۵	۴	۳	۲	۱	
---	---	۱۱۵۹	۱۱۵۹	۱۲۲۰		
۱۸۲۰	۱۸۲۸	۱۷۲۸	۱۷۴۰	۱۴۸۹		کاربید
۷۹۷	۷۹۰	۷۴۴	۷۷۰	۷۶۶		زمینه

سختی کاربیدها، یکی از عوامل مؤثر بر سایش محسوب می شود و لذا با استفاده از کاربیدهایی که سختی بالایی دارند می توان مقاومت به سایش را افزایش داد. وجود اجزای سخت در یک زمینه نرمت می توانند باز اعمال شده را به خوبی می کند زیرا اجزای سخت می توانند باز اعمال شده را به خوبی تعديل و توزیع کنند. در اینجا وجود کاربیدهای از نوع  $M_7C_3$  با سختی بالا و ناپیوستگی آنها شرایط برتری را نسبت به کاربیدهای  $M_3C$  ایجاد کنند. افزایش حجم کاربیدها نیز باعث افزایش مقاومت به سایش شده است. البته این امر صرفاً "در چدنها های هیپریوتکتیک" صادق بوده و افزایش بیش از حد کاربید در چدنها های هایپریوتکتیک سبب بروز ترک و اشاعه آن و کنده شدن ذرات و در نتیجه افت مقاومت سایش می شود [۵].

سختی و استحکام زمینه نیز از عوامل مؤثر بر مقاومت سایش

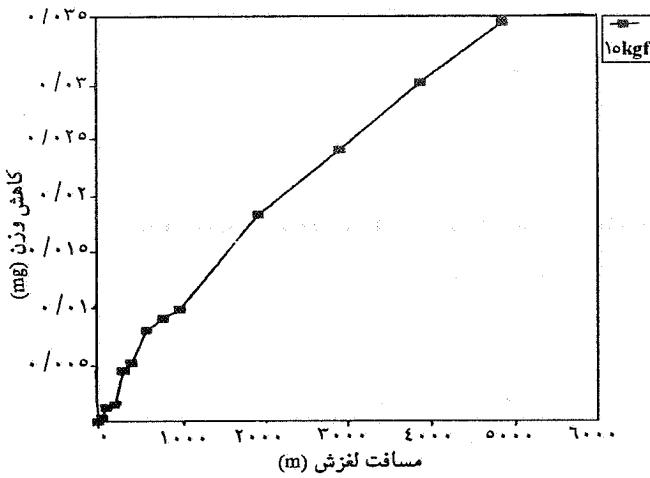
بستگی به ترکیب شیمیایی چدن نسبت به موقعیت یوتکتیک دارد [۳].

نتایج میکروسختی سنجی از فازهای که در جدول (۴) آمده است و مقایسه آن با سختی کاربیدها [۴] مؤید وجود کاربیدهای  $M_7C_3$  در ساختار است. علاوه بر این، شکل و نحوه توزیع کاربیدها که به صورت ناپیوسته در زمینه توزیع شده اند بیانگر این مطلب است که نوع و مُرفولوژی کاربیدهای ایجاد شده نسبت به چدنهای با مقدار کُرم کم و یا چدنهای سفید غیر آبیاضی که تنها کاربیدهای  $M_3C$  در شبکه ای پیوسته حضور دارند، کاملاً متفاوت است.

نتایج حاصل از میکروسختی سنجی نمونه ها در بعد از عملیات حرارتی که در جدول (۴) آمده است نشان می دهد که با افزایش درصد کربن، سختی زمینه افزایش یافته است. این امر می تواند ناشی از افزایش درصد کربن در مارتنتزیت حاصله باشد.

#### ۲-۴ رفتار سایشی نمونه ها

منحنی مشخصه سایش نمونه های ۱ تا ۵ که در شکل (۳) ملاحظه می شود نشان می دهد که با افزایش درصد کربن در نمونه ها، از میزان سایش آنها کاسته شده و یا به عبارت دیگر، مقاومت سایشی آنها افزایش یافته است شکل (۴).



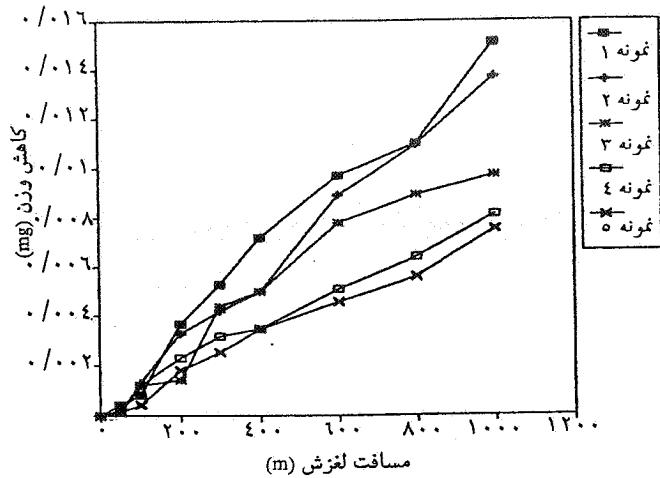
شکل ۵- منحنی مشخصه سایش چدن نیکل سخت با ۲/۷۶ درصد کربن در مسافت ۵۰۰۰ متر

جريان تغيير شكل پلاستيک در سطوح ايجاد شده و در لاييه هاي نزديك سطح کار سختي انجام می شود و در نتيجه نرخ سایش کاهش می يابد و هنگامی که يك سطح تماس پايدار بین دو سطح درگير پدید آمده، نرخ سایش تقریباً ثابت مانده است. بروز چنین حالتی در منحنی مشخصه سایش احتمالاً می تواند ناشی از يکنواخت بودن تقریبی خواص سطح و حجم قطعه باشد.

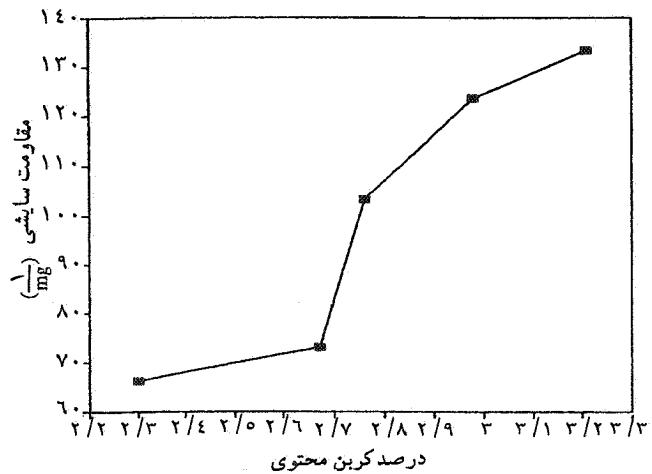
### ۳-۳ - مکانیسمهای سایش

برای مشخص کردن مکانیسم غالب در سایش نمونه ها، سطوح سایش، خرد های سایش و مقاطع زیر سطح سایش توسط میکروسکوپ الکترونی بورسی شد.

در میکروگرافهای شکل (۶)، تأثیر حجم فاز کاربید با افزایش درصد کربن بر میزان تغيير شكل پلاستيکي سطوح و سایش در نمونه ها به وضوح مشخص است. سطوح سایش در نمونه ۱ که از درصد فاز کاربید کمتری برخوردار است، تغيير شكل پلاستيکي بيشتر سطح سایش نمونه که عمدتاً ناشی از ساییده شدن فاز زمينه است، مشهود است. نمونه ۴ نسبت به نمونه ۱ تغيير شكل پلاستيکي و سایش کمتری را نشان داده و آثار ساییده شدن در نمونه ۵ از هر دو نمونه ديگر کمتر است. ساییده شدن بيشتر فاز زمينه می تواند ناشی از سختی کمتر آن نسبت به فاز کاربید باشد. در اين تصاویر آثار خراشیدگی در جهت لغزش نيز ملاحظه می شود که می تواند به علت کنده شدن ذرات سخت کاربیدی از زمينه بوده که



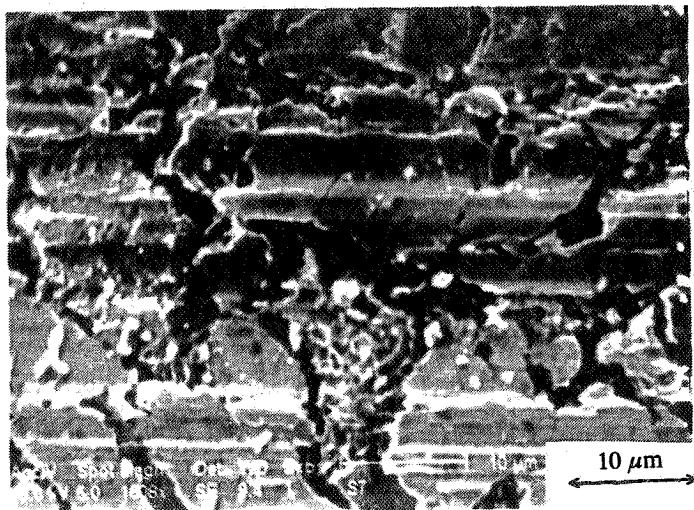
شکل ۳- منحنی مشخصه سایش نمونه ها تحت بار ۱۵ کيلوگرم نيرو



شکل ۴- تأثير درصد کربن بر مقاومت سایشی چدنهاي نیکل سخت تحت بار ۱۵ کيلوگرم نيرو و مسافت ۱۰۰۰ متر

آلباژ است. در اين مورد زمينه مارتزيتی نسبت به سایر فازها، از سختی و استحکام بالاتری برخوردار است. اين دو ویژگی همچنین سبب می شود تا ذرات کاربید در زمينه مارتزيتی نسبت به سایر زمينه ها ديرتر کنده شوند [۶].

شکل (۵) منحنی مشخصه سایشی نمونه با ۲/۷۶ درصد کربن تا مسافت ۵۰۰۰ متر را نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می شود نرخ سایش در ابتدا زياد بوده و به تدریج کاهش می يابد و از حدود ۱۰۰۰ متر به بعد تقریباً ثابت مانده است. در مراحل ابتدائي، سایش از نوع سایش اوليه یا سایش آببندي بوده و به مرور به سایش يکنواخت تبدیل می شود. علت اين امر، آن است که در آغاز با كوچکترین لغزشی که بین دو سطح صورت می گيرد يك



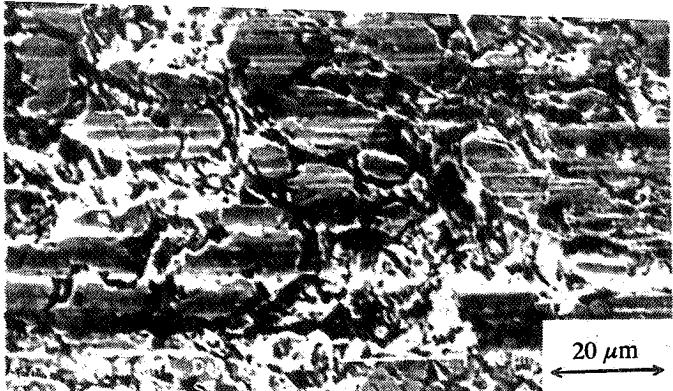
شکل ۷- تصویر میکروسکوپ الکترونی ترکهای حاصله بر روی  
برخی از ذرات سایشی را نشان می دهد

خستگی است. حرکتهای لغزشی تکراری توانم با چرخش می تواند تنشهای سیکلی را به سطح وارد کند که در اثر آن ترک در سطح یا تردیک آن شروع شده و به مرور زمان رشد کند. نتیجه این امر می تواند منجر به کنده شدن ذرات از سطح شده و حفره هایی را مشابه آنچه در تصاویر دیده می شود ایجاد کند [۸].

شکل (۸) سطح ساییده شده نمونه (۳) را در مسافت ۵۰۰۰ متر نشان می دهد. حفره های ایجاد شده ناشی از سایش زمینه مارتزیتی و نیز کنده شدن ذرات کاربیدی به مراتب بیشتر از تصاویر قبلی مشاهده می شود. همچنین می توان در پایین تصویر ذرات کاربیدی خرد شده که در حال کنده شدن از زمینه هستند را به خوبی ملاحظه کرد. علاوه بر این ذرات بسیار ریز ناشی از سایش نیز دیده می شود. این وضعیت می تواند حاکی از غالب بودن مکانیسم سایش خستگی باشد. با کنده شدن ذرات، مکانیسم سایش خراشان نیز متعاقباً پدید می آید.

#### ۴-۳- بررسی ذرات سایش

در شکل های (۹) و (۱۰)، دو نوع ذره یکی در ابعاد بسیار ریز و دیگری در ابعاد بزرگتر و به صورت تکه هایی دیده می شوند. ذرات ریز به احتمال زیاد مربوط به زمینه بوده و ذرات درشت تر مربوط به کاربیدهای خرد شده است که از زمینه کنده شده اند شکل (۶). همان گونه که در شکل های (۹) و (۱۰) ملاحظه می شود میزان ذرات ریز



الف) ۲/۳۰ درصد کربن



ب) ۲/۹۸ درصد کربن

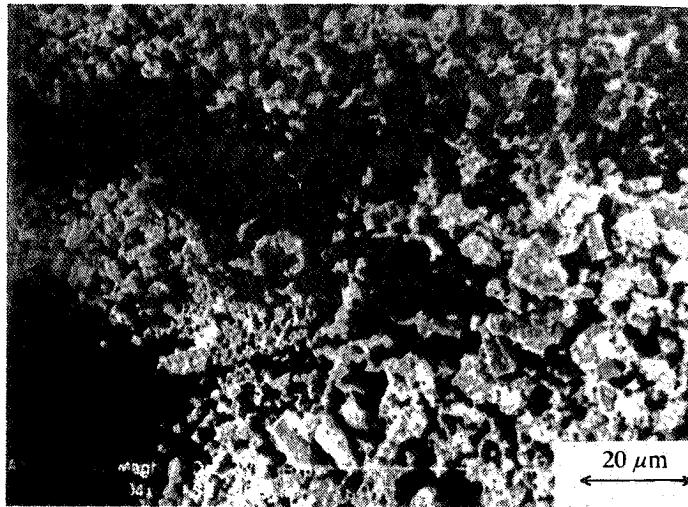


ج) ۳/۲۱ درصد کربن

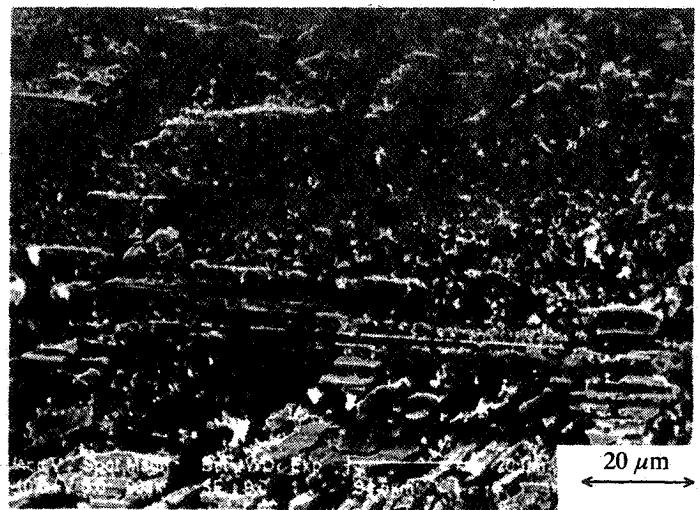
شکل ۶- تصویر میکروسکوپ الکترونی توپوگرافی سطوح ساییده شده چدنهای نیکل سخت با درصد کربن مختلف

پس از کنده شدن به عنوان جسم سوم بین دو سطح در حال لغزش واقع شده و سبب سایش خراشان شده است. عمق کم شیارهای ایجاد شده می تواند ناشی از سختی بالای کاربیدها باشد [۷].

در شکل (۷)، ترکهای ایجاد شده بر روی بعضی از ذرات کاربیدی به خوبی مشاهده می شود. این ترکها احتمالاً ناشی از



شکل ۹- تصویر میکروسکوپ الکترونی ذرات سایش چدن نیکل سخت با درصد کربن کم

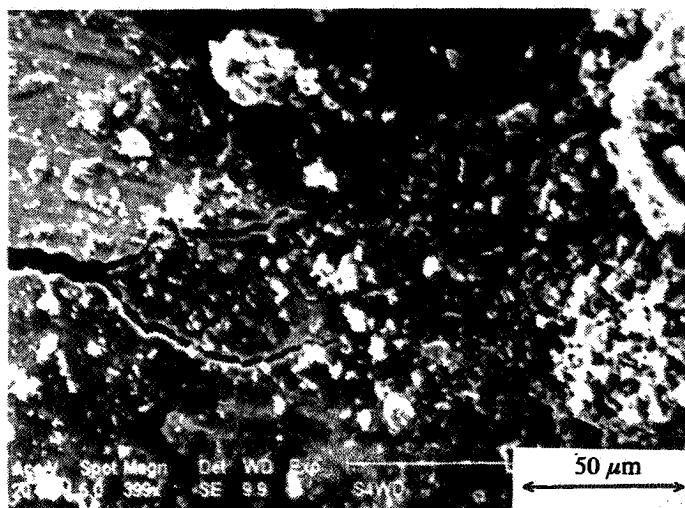


شکل ۸- تصویر میکروسکوپ الکترونی توپوگرافی سطح نمایانگر حفره های ایجاد شده ناشی از سایش زمینه مارتنتزیتی و کنده شدن ذرات کاربیدی

در نمونه ای که از درصد کربن کمتری برخوردار بوده و در عوض دارای حجم بیشتری از فاز زمینه است به مراتب بیشتر است از میزان این ذرات ریز در تصویر مربوط به نمونه ای که درصد فاز کاربید بیشتری دارد. علاوه بر این هیچ گونه آثاری از تغییر شکل پلاستیکی را نمی توان روی ذرات سایش ملاحظه کرد. در شکل (۱۰) ترک خوردگی ذره کاربیدی کنده شده به خوبی مشهود است که در اثر واقع شدن در بین سطوح لغزش در حال خرد شدن است. این ترک می تواند ناشی از تنشهای خستگی بر روی ذره جدا شده باشد.

ترک خوردگی در ذره نشان داده شده در شکل (۱۱) نیز به خوبی مشهود است که می تواند ناشی از مکانیسم خستگی باشد.

در مجموع می توان گفت که مکانیسم غالب در ابتدا مکانیسم سایش خستگی بوده که در ادامه با کنده شدن ذرات کاربیدی در سطح، مکانیسم سایش خراشان غالب شده است. همچنین آثاری از وجود مکانیسم سایش ورقه ای مشهود است که به احتمال زیاد چنانچه سایش در مسافت های طولانی تری ادامه می یافتد آثار سایش این مکانیسم مشهود تر می شد.



شکل ۱۰- تصویر میکروسکوپ الکترونی ذرات سایش چدن نیکل سخت با درصد کربن بالا

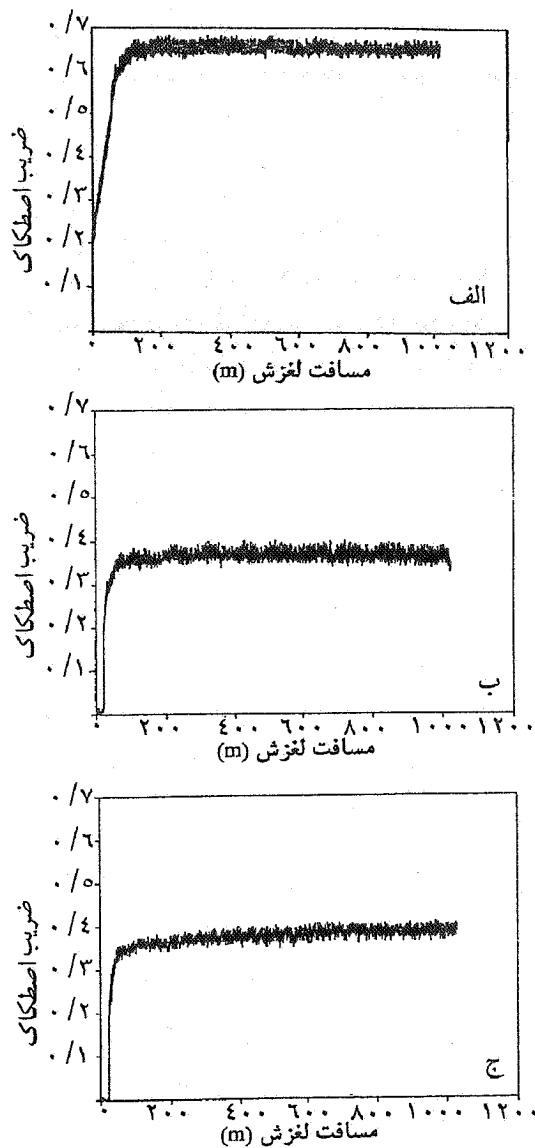
کربن در نمونه ها، ضریب اصطکاک کاهش یافته است. این امر در نتیجه افزایش تغییر شکل پلاستیکی ناهمگونی های سطحی و چسبندگی بیشتر سطوح در چنانچه کم کربن است. در نتیجه می توان گفت با کاهش ضریب اصطکاک، میزان سایش کاهش یافته است. این امر احتمالاً می تواند ناشی از افزایش کاربیدها و در نتیجه افزایش سختی باشد.

#### ۴- نتیجه گیری

براساس یافته های آزمایشی که از این پژوهش حاصل شده، نتایج زیر به دست آمده است:

#### ۵-۳- تأثیر درصد کربن بر میزان ضریب اصطکاک

شکل (۱۲) نمودار ضریب اصطکاک بر حسب مسافت لغزش را برای نمونه های (۱)، (۳) و (۵) نشان می دهد. نمونه (۱) با کمترین درصد کربن، بیشترین ضریب اصطکاک را داشته و با افزایش درصد



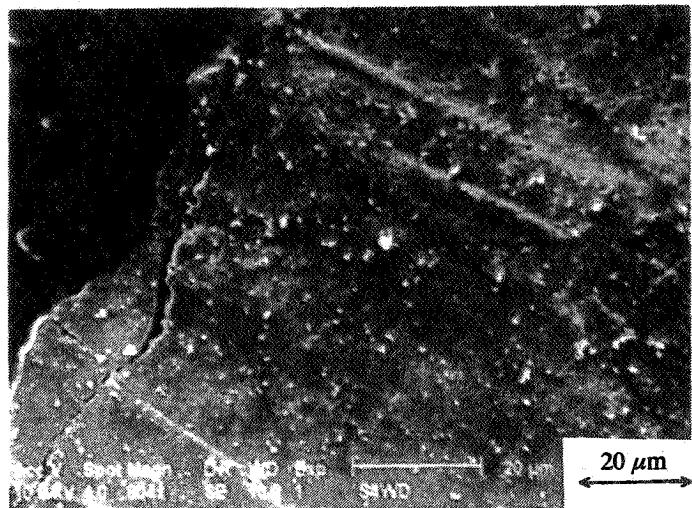
شکل ۱۲- تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب مسافت لغزش تحت

بار ۱۵ کیلوگرم نیرو برای نمونه های با درصد کربن مختلف

الف - نمونه ۱ با  $2/3$  درصد کربن

ب - نمونه ۳ با  $2/76$  درصد کربن

ج - نمونه ۵ با  $3/21$  درصد کربن



شکل ۱۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی ترک ایجاد شده بر روی یکی از ذرات سایش

- با افزایش درصد کربن در آلیاژهای نیکل - سخت نوع ۴ در محدوده هیپوبوتکنیک، کاربیدهای ایجاد شده عمدتاً از نوع  $M_7C_3$  هستند که در یک شبکه ناپیوسته در زمینه توزیع شده اند.

- افزایش میزان سایش موجب فعال شدن مکانیسمهای دیگر سایش می شود.

- مقاومت سایش لغزشی این آلیاژها، با افزایش درصد کربن در محدوده هیپوبوتکنیک، افزایش نسبتاً زیادی می یابد.

- مکانیسم خستگی، عامل مهمی در ایجاد ترک، خرد شدن و کنده شدن کاربیدهاست. کنده شدن کاربیدها موجب افزایش درصد کربن و سبب افزایش سختی فاز زمینه نیز می شود.

- با افزایش درصد کربن، میزان تغییر شکل پلاستیکی سطوح کاهش یافته و در نتیجه ضریب اصطکاک نیز کاهش می یابد. کم شدن ضریب اصطکاک، همراه با افزایش مقاومت سایشی این آلیاژهاست.

#### واژه‌نامه

1. Ni-Hard 4 Cast Irons
2. tribology
3. morphology
4. wear

5. sliding
6. debris
7. running-in wear
8. steady-state wear

9. Martensite start temperature
10. surface fatigue
11. surface asperities

1. Jackson, R. S., "Austenite Liquidus Surface and Constitutional Diagram for the Fe-Cr-C Metastable System," *Journal of the Iron and Steel Institute*, Vol. 208, pp. 163-167, 1970.
2. Thorpc, W. R., and Chicco B., "On the Formation of Duplex Eutectic Carbides in Commercially Important White Iron," *Materials Science and Engineering*, Vol. 51, pp. 11-19, 1981.
3. Maratray, F., and Usseglio-Nanot R., *Factors Affecting the Structure of Cr-Mo White Irons*, Climax Molybdenum Co., 1970
4. *Metals Hand-book*, Vol.1, 9th Ed, ASM, 1988.
5. Zhou, H., Jia, S. S., and Wang, Z.C., "The Structure Morphology of Carbides and Wear Resistance of White Cast Irons," *Physical Metallurgy of Cast Irons*, Vol. IV, MRS, pp. 387-393, 1990.
6. Bereza, J. M., "Wear and Impact Resistant White Cast Iron," *Br. Foundryman*, Vol. 74, pp. 205-211, 1981.
7. Godet, M., "Third Body in Tribology," *Wear*, Vol. 136, pp. 29-45, 1990.
8. Jost, H. P., "Tribology: Origin and Future," *Wear*, Vol. 136, pp. 1-17, 1990.