نشریه علمی

پژوهش‌نامه ریخته‌گری

انجمن علمی ریخته‌گری ایران

مقاله پژوهشی:

اثر تنگستن بر سختی و مقاومت به ضربه چدن نایهارد۴

علی کریمی طاقانکی[۱]، تقی اصفهانی[۲]*، حمید غیور[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی گلپایگان

۳- دانشیار، مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران

* **نویسنده مکاتبه کننده:** E-mail: t.isfahani@gut.ac.ir t.isfahani@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۰۶

پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۳

چکیده:

کاربرد چدن‌های نایهارد۴ تقریبا مشابه چدن‌های پرکروم است ولی مشخصه‌ای که سبب ارجحیت بارز چدن نایهارد۴ در مقایسه با چدن‌های پرکروم می‌شود قابلیت سختی‌پذیری عالی آن‌هاست. در پژوهش حاضر، تاثیر تنگستن بر روی سختی و مقاومت به ضربه چدن‌های نایهارد۴ و اثر آن بر ریزساختار و تشکیل کاربیدها بررسی شده است. همچنین هدف این تحقیق افزایش هم‌زمان مقاومت به ضربه و سختی است. به این منظور، نمونه‌هایی طبق استاندارد ASTM *A532* بدون افزودن تنگستن به مذاب و با افزودن مقدارهای مختلف تنگستن به مذاب به روش ریخته‌گری آماده شدند. پس از مرحله ریخته‌گری، عملیات حرارتی، آزمایش مقاومت به ضربه، ماکروسختی و میکروسختی بر روی نمونه‌ها انجام شد. بررسی‌های صورت گرفته نشان داد که افزایش تنگستن باعث افزایش سختی فاز زمینه و تشکیل فاز کاربید M_7C_3 می‌شود و کسر حجمی کاربیدها را افزایش و قطر متوسط کاربیدها را کاهش می‌دهد. نتیجه این عوامل باعث افزایش هم‌زمان سختی و مقاومت به ضربه می‌شود.

واژه‌های کلیدی:

چدن نایهارد۴،

تنگستن،

مقاومت به ضربه،

سختی،

عملیات حرارتی.

ارجاع به این مقاله:

علی کریمی طاقانکی، تقی اصفهانی، حمید غیور، اثر تنگستن بر سختی و مقاومت به ضربه چدن نایهارد۴، پژوهش‌نامه ریخته‌گری، تابستان ۱۳۹۸، جلد ۳، شماره ۲، صفحات ۹۱-۹۹.

شناسه دیجیتال: (DOI): 10.22034/FRJ.2019.176597.1076

۱- مقدمه

کاربرد چدن‌های نایهارد۴ تقریبا مشابه چدن‌های پرکروم است. چدن‌های نایهارد اسم تجاری گروه چدن‌های سفید آلیاژ شده با نیکل و کروم است. ریزساختار این چدن‌ها از دو مولفه اصلی شامل فاز زمینه و فاز کاربید تشکیل شده است و چهار نوع مختلف دارند که در آنها با تغییر میزان عناصر آلیاژی، قیمت و خواص مکانیکی تغییر می‌کند. برای مثال نوع ۱، ارزان‌ترین بوده ولی دارای چقرمگی کمی است در حالی که نوع ۴، دارای بیشترین چقرمگی و مقاومت به خوردگی بوده در حالی که گران‌ترین نوع است. چدن نایهارد۴ دارای مقاومت در برابر سایش و چقرمگی خوب هستند. این عوامل در کنار قیمت تولید نسبتا پایین باعث شده تا مصرف این چدن‌ها افزایش یابد. مشخصه‌ای که سبب ارجحیت بارز چدن نایهارد۴ در مقایسه با چدن‌های پرکروم می‌شود قابلیت سختی‌پذیری عالی آنها است. این چدن‌ها که در سال ۱۹۵۰ معرفی شدند و از همان ابتدا در زمینه‌های گوناگونی همچون فرآوری مواد معدنی، تولید سیمان و نیز به عنوان قطعات خاص مورد استفاده قرار گرفتند[۱]. علاوه بر این، آنها در آستر تلمبه‌های لجن‌کش که در عملیات چاه‌زنی بکار می‌روند[۲]، بدنه‌ها و پروانه‌های تلمبه‌های بزرگ گریز از مرکز که برای جابجا کردن دوغاب در خطوط حمل و نقل، زره آسیاب‌ها، صفحات داخلی بدنه سنگ‌شکن‌های فکی[۳] و غلطک نوارهای نقاله[۵،۴] استفاده می‌شوند.

چدن نایهارد۴ از طریق واکنش یوتکتیک بین عناصری مانند کروم، نیکل، کربن و سیلیسیم گسترش یافته است. چدن نایهارد، چدنی با زمینه مارتنزیتی و کاربیدهای توزیع شده در آن است که کربن آن در محدوده ۲/۵ تا ۳/۶ درصد متغیر است. در چدن نایهارد عنصر نیکل در محدوده ۴/۵ تا ۷ درصد وزنی و کروم در محدوده ۷/۵ – ۱۱/۵ درصد وزنی است. چدن نایهارد۴ به دلیل واکنش یوتکتیک دارای سیالیت بهتر و نقطه‌ی ذوب پایین‌تری (حدود ۵۲°C) نسبت به چدن‌های پرکروم هستند. چدن نایهارد۴ مقاومت شکست و چقرمگی بهتری در مقایسه با سه نوع دیگر از چدن‌های نایهارد و چدن پر کروم دارد و این عاملی برای گسترش چدن نایهارد۴ است[۶-۸].

چدن نایهارد۴ دارای ساختار یوتکتیکی بوده که در آن کاربیدهای نوع M_7C_3 به طور ناپیوسته حضور دارند. مزیت این نوع ساختار کاربیدی این است که اگر چه کاربید M_7C_3 ترد است ولی ترک‌هایی که در آن ایجاد می‌شوند، قبل از این که وارد زمینه به مراتب نرم‌تری شوند، نمی‌توانند خیلی اشاعه پیدا کنند و به این دلیل است که چدن‌های نایهارد۴ مقاومت بیشتری به شکست دارند[۹-۱۲].

جین جو و یونگفا [۷] در سال ۱۹۸۶ مقاومت سایشی چدن نایهارد۴ و چدن پر کروم را با هم مقایسه کرده‌اند، بر طبق نتایج آنها مقاومت سایشی چدن پر کروم بالاتر از نایهارد۴ است. در تحقیقی که توسط کمینگ و همکارانش [۱۳] انجام شد، تاثیر افزودن وانادیم بر خواص و ریزساختار چدن کروم‌دار بررسی شده است. افزودن وانادیم با ایجاد کاربید وانادیم (VC) باعث افزایش مقاومت سایشی می‌شود. شفاعتی و همکارانش [۱۴] در تحقیقی ساختار چدن‌های سفید پر کروم حاوی تنگستن را بررسی کرده‌اند. بر اساس گزارش ارائه شده، با افزودن تنگستن، زمینه آستنیت به مارتنزیت تغییر می‌یابد. علمدارلو و همکارانش [۱۵] امکان بهبود رفتار سایشی چدن نایهارد ۴ را مورد تحقیق و بررسی قرار دادند. طبق گزارش آنها با افزایش تیتانیم تا ۱/۳ درصد مقاومت سایشی به میزان ۴ تا ۸۰ درصد افزایش می‌یابد. در تحقیقی دیگر ارمی و همکارانش [۱۶] افزودن میش متال را به چدن پرکروم مورد بررسی قرار دادند. طبق گزارش آنها، افزودن میش متال باعث افزایش مقاومت سایشی می‌شود. در تحقیقی ماسانوری و همکارانش [۱۷] تاثیر عناصر آلیاژی نیوبیم، وانادیم و مولیبدن را بر چدن پر کروم مورد بررسی قرار داده اند. به عنوان نتیجه، تحقیق آنها نشان داد که مقاومت سایشی با افزودن ۵ درصد از هر یک از عناصر نیوبیوم، وانادیم و مولیبدن بهبود می‌یابد. بیدلا و همکارانش [۱۸] نیز با افزودن فرو تیتانیم-رنیوم-بیسموت از ۰/۵ تا ۲ درصد، باعث بهبود خواص ریزساختاری چدن کم کروم شدند. همچنین در تحقیقی دیگر، اسدی و همکارانش [۱۹] ریزساختار چدن مقاوم به سایش نایهارد۴ را با استفاده از آزمایش جریان گردابی صورت غیر مخرب ارزیابی نمودند.

هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثر افزودن تنگستن که یک کاربیدزای قوی است بر سختی و مقاومت به ضربه چدن نایهارد۴ و بدست آوردن میزان تنگستن مناسب برای افزایش همزمان سختی و مقاومت به ضربه چدن نایهارد۴ است.

۲- روش تحقیق

نمونه‌های مورد نیاز در این پژوهش با استفاده از روش ریخته‌گری تهیه شدند. مذاب مورد نیاز از ذوب کردن قراضه‌های چدن نایهارد، ورق‌های فولاد زنگ‌نزن و فولادهای ساختمانی در کوره‌ی القایی و سپس با افزودن عناصر آلیاژی نظیر کربن، کروم، نیکل، منگنز و... به منظور جبران میزان سوخته شده در حین ریخته‌گری، تهیه شدند تا ذوب مورد نیاز در محدوده‌ی استاندارد ASTM A532 قرار گیرد، محدوده عناصر آلیاژی در جدول (۱) آمده است. جهت ایجاد شرایط یکسان، دمای ذوب‌ریزی به وسیله‌ی دستگاه پیرومتر کنترل شد در حالی که دما در زمان ریخته‌گری در محدوده ۱۴۲۰-۱۴۷۰ درجه سانتی‌گراد بود.

چهار عدد Y بلوک طبق استاندارد ASTM A536-84 ریخته‌گری شد. یک Y بلوک بدون اضافه کردن تنگستن و به سه Y بلوک دیگر بسته به میزان تنگستن مورد نیاز در هر نمونه، فرو تنگستن اضافه شد. در جدول (۲) ترکیب شیمیایی نمونه‌های تولید شده آمده است. ترکیب شیمیایی با استفاده از دستگاه کوانتومتری Foundry master PRO و مطابق استاندارد ASTM E415-99a بدست آمد.

عملیات حرارتی آستنیته کردن به مدت ۴ ساعت در دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت و نمونه‌ها سپس در هوا خنک شدند و در نهایت عملیات تمپر به مدت ۲ ساعت در دمای زیربحرانی ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد جهت تنش‌زدایی [۲۱،۲۰] صورت گرفت.

ریزساختار آلیاژها در حالت ریختگی و پس از عملیات حرارتی توسط میکروسکوپ نوری طبق استاندارد ASTM E883 مورد بررسی قرار گرفتند. برای اچ کردن ریزساختارها از محلول نایتال دو درصد استفاده شد. همچنین برای بررسی کسر حجمی کاربیدها در نمونه‌ها از میکروسکوپ دارای نرم‌افزار تحلیل تصاویر متالوگرافی کلمکس (Clemex) استفاده شد[۲۲].

اندازه‌گیری سختی ماکروسکوپی به روش ویکرز و مطابق با استاندارد ASTM E18(2005) انجام گرفت. اندازه‌گیری سختی

جدول ۱- محدوده ترکیب شیمیایی چدن نایهارد۴ بر اساس استاندارد ASTM E18 (درصد وزنی)[۸].

نام عنصر	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P
درصد وزنی	۲/۵-۳/۶	حداکثر ۲/۰	حداکثر ۲/۰	۷-۱۱	۴/۵-۷	حداکثر ۱/۵	حداکثر ۰/۱۵	حداکثر ۰/۱۰

جدول ۲- ترکیب شیمیایی نمونه‌های چدن نایهارد۴ ریخته‌گری شده بر اساس مقدار تنگستن اضافه شده (درصد وزنی).

آلیاژ	C	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	S	P	W
W-0	۳/۱	۸/۱۳	۵/۱۱	۰/۷	۱/۱۴	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰
W-3	۳/۱۳	۸/۳	۴/۹۳	۰/۸	۱/۲۰	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۳
W-7	۳/۱۶	۸/۱۹	۵/۲۴	۰/۷	۱/۱۲	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۷
W-11	۳/۲۱	۸/۲۲	۵/۰۹	۰/۷۲	۱/۱۸	۰/۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۱/۱

میکروسکوپی برای هر نمونه طبق استاندارد ASTM E18-03 با معیار ویکرز توسط دستگاه ریزسختی‌سنج کوپا تحت بار ۲۰۰ گرم به مدت ۱۰ ثانیه انجام شد. آزمایش سختی‌سنجی برای هر نمونه به تعداد ۶ مرتبه تکرار شد و در نهایت با میانگین گرفتن از نتایج به عنوان سختی سنجی نهایی گزارش شد.
آزمایش مقاومت به ضربه شارپی طبق استانداردASTM E23-02 برای نمونه‌های بدون شیار و به تعداد ۴ عدد برای هر نمونه صورت گرفت.

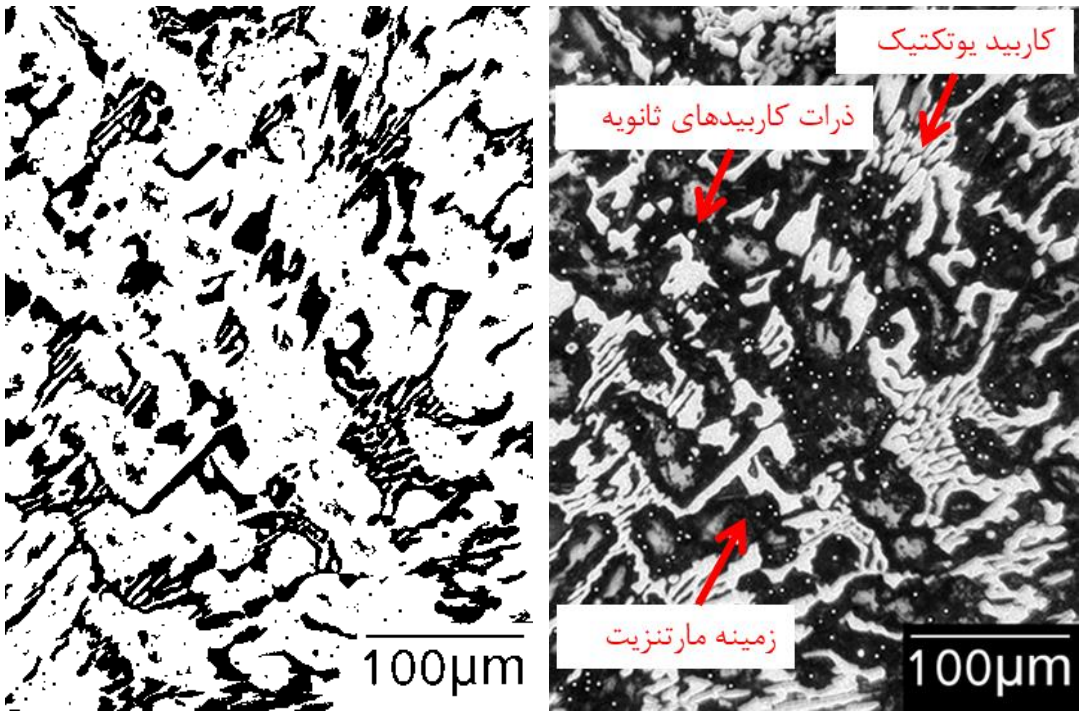
۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی ریزساختار و کسر حجمی کاربیدها

تصاویر بدست آمده از میکروسکوپ نوری از ریزساختار نمونه‌های مختلف بر حسب میزان تنگستن به دو صورت تصویر میدان روشن و تصویر میدان تاریک در شکل‌های (۱) تا (۴) به همراه جزئیات بیشتری آورده شده است.
تنگستن یک عنصر کاربیدزای قوی است و در مقادیر پایین تمایل به حل شدن در فاز زمینه دارد و سبب کاهش حد حلالیت کروم در فاز زمینه می‌شود. لذا با افزایش تنگستن مقدار آن در فاز زمینه افزایش می‌یابد و میزان کروم محلول در زمینه کاهش می‌یابد. حد حلالیت تنگستن در فاز زمینه و در دمای محیط برابر ۱/۴٪ است که این میزان ممکن است با افزودن عناصر آلیاژی همچون کروم و کربن کاهش یابد[۶]. با افزایش تنگستن، میزان کروم در کاربیدهای اولیه افزایش پیدا می‌کند. علت آن این است که با افزایش مقدار کم تنگستن به چدن این عناصر در زمینه حل شده و باعث خروج مقداری از کروم محلول در زمینه می‌شود. به عبارت دیگر تنگستن محلول در زمینه جانشین کروم شده و این کروم اضافی به ترکیب کاربید اولیه راه پیدا می‌کند.
در این بخش با استفاده از روش‌های تحلیل تصویر، کسرحجمی کاربیدهای یوتکتیک و اندازه قطر کاربیدها در نمونه‌هایی که تحت سیکل عملیات حرارتی قرار گرفته بودند بدست آمد.
در شکل (۵) میزان کسر حجمی کاربید بدست آمده از رابطه (۱) که توسط دوگان[۲۳] ارائه شده است و مقادیر اندازه‌گیری شده توسط روش‌های تحلیل تصویر با هم مقایسه شده اند. این نمودار نشان می‌دهد مقادیر پیش‌بینی شده توسط رابطه ارائه شده و مقادیر اندازه‌گیری شده از تطابق قابل قبولی برخوردار می‌باشد. همچنین بیشتر بودن مقادیر محاسبه شده با نرم‌افزار در مقایسه با رابطه (۱) نشان می‌دهد که به احتمال مقداری کاربید تنگستن نیز تشکیل شده است.

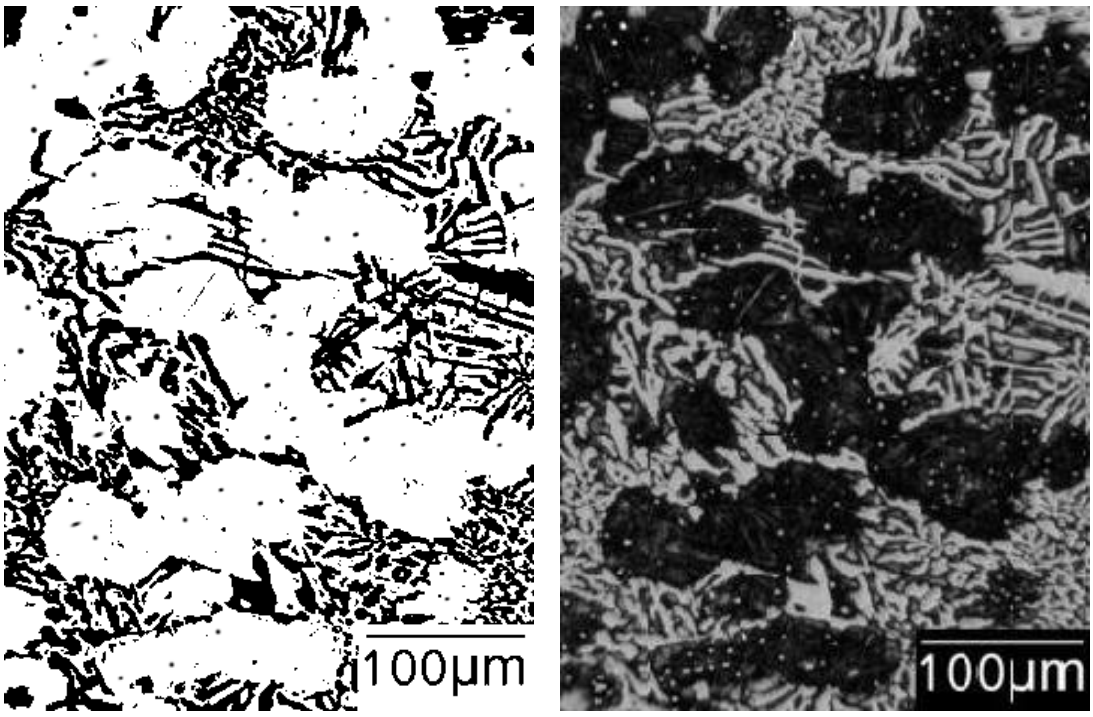
$$CVF = 12.35(\%C) + 0.55(\%Cr) - 15.2 \qquad (۱)$$

در این رابطه CVF کسر حجمی کاربیدها بوده و C% و Cr% به ترتیب درصد وزنی کربن و کروم در ترکیب شیمیایی است[۲۳].
محدودیت استفاده از چدن نایهارد مربوط به شبکه پیوسته کاربید آهن است که دانه‌های آستنیت را در خود احاطه کرده است و باعث تردی آن می‌شود. همچنین سختی فاز کاربید از کاربیدهای آلیاژی کمتر است. کاربید آهن را می‌توان با کاربیدهای دیگر جایگزین نمود به این طریق می‌توان چدنی تولید نمود که فاز کاربید آن از کاربید آهن سخت‌تر است و از نظر ساختاری نیز خواص بهتری داشته باشد. همچنین بهترین زمینه ای که می‌توان برای چدن نایهارد در نظر گرفت مارتنزیت است که سختی آن ناشی از کاربیدهای ثانویه پراکنده است.



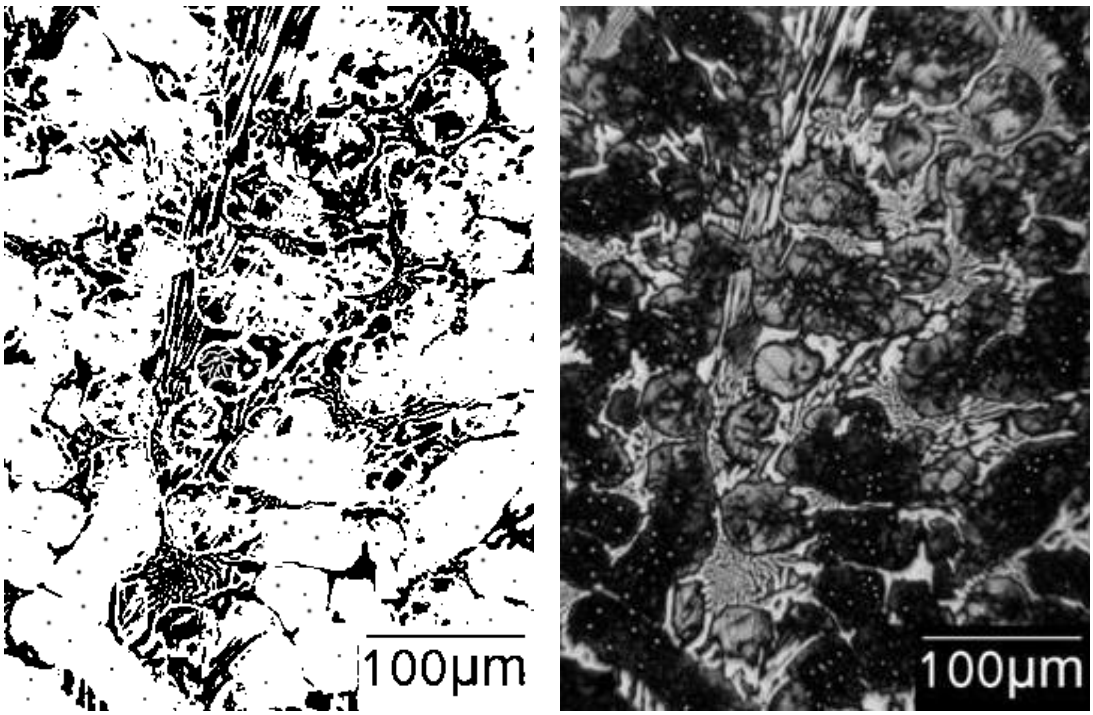
(ب) (الف)

شکل ۱- تصاویر بدست آمده از میکروسکوپ نوری ریزساختار نمونه بدون تنگستن : الف) تصویر میدان روشن، ب) تصویر میدان تاریک



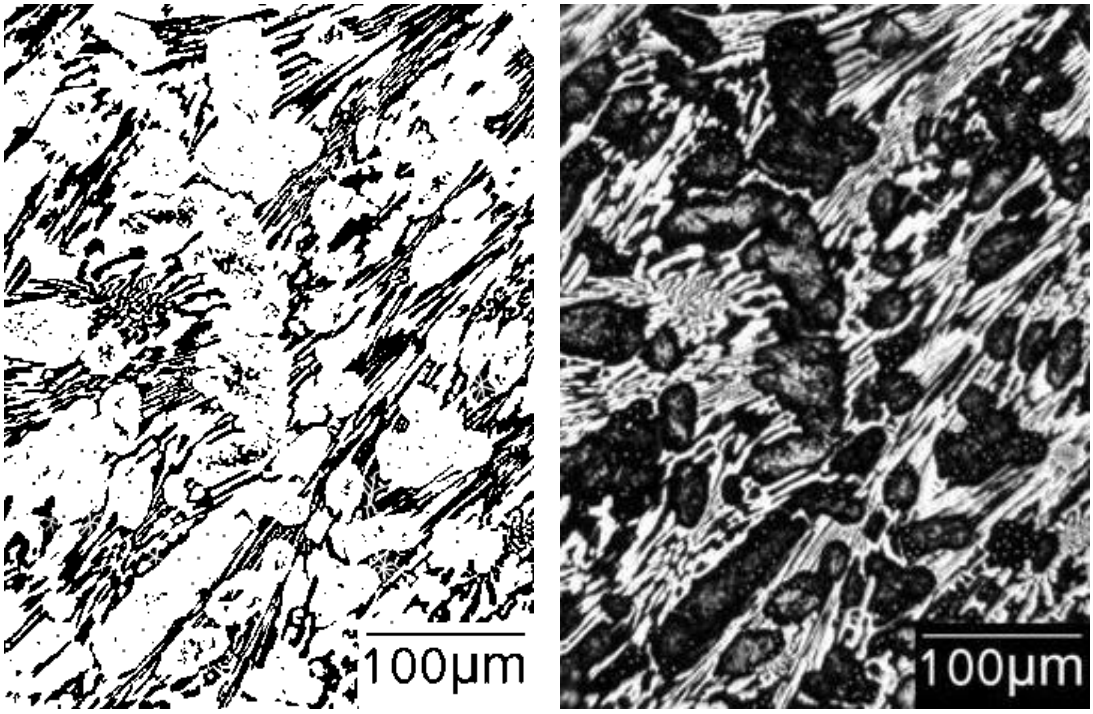
(ب) (الف)

شکل ۲- تصاویر بدست آمده از میکروسکوپ نوری ریزساختار نمونه حاوی ۰/۳ درصد وزنی تنگستن: الف) تصویر میدان روشن، ب) تصویر میدان تاریک



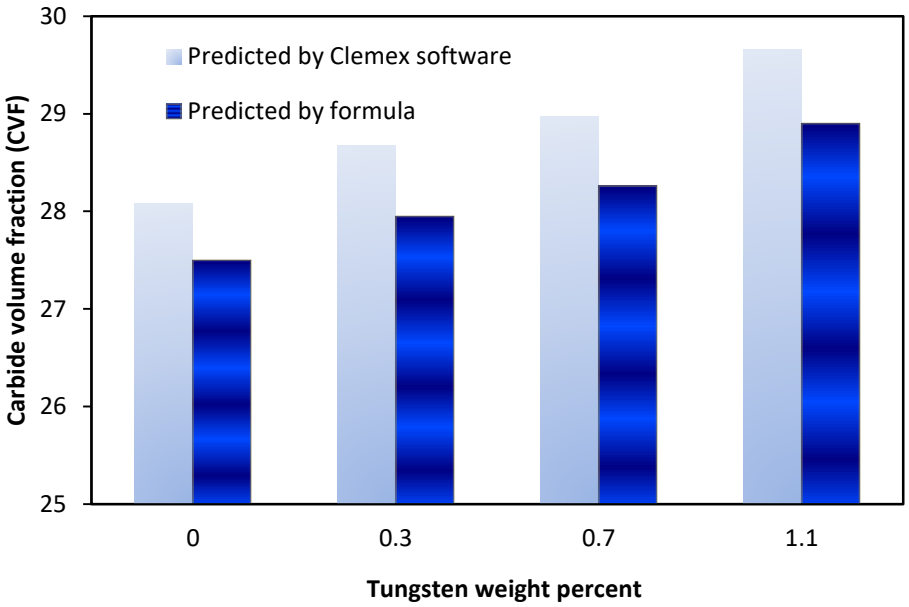
(ب) (الف)

شکل ۳- تصاویر بدست آمده از میکروسکوپ نوری ریزساختار نمونه حاوی ۰/۷ درصد وزنی تنگستن: الف) تصویر میدان روشن، ب) تصویر میدان تاریک

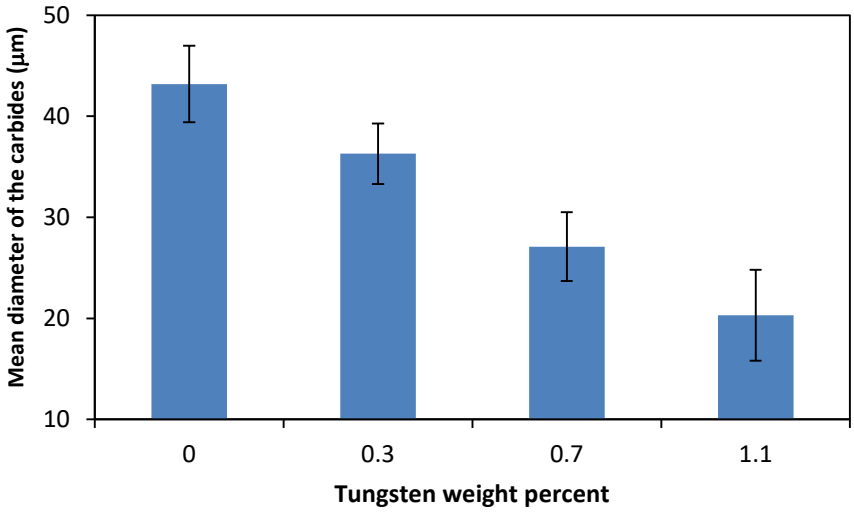


(ب) (الف)

شکل ۴- تصاویر بدست آمده از میکروسکوپ نوری ریزساختار نمونه حاوی ۱/۱ درصد وزنی: الف) تصویر میدان روشن، ب) تصویر میدان تاریک



شکل ۵- مقایسه مقادیر کسر حجمی کاربید در نمونه‌های مختلف توسط نرم‌افزار و فرمول ارائه شده توسط دوگان.



شکل ۶- متوسط اندازه قطر کاربیدها بر اساس درصد وزنی تنگستن.

در چدن نایهارد۴، مقدار کربن زیاد است که باعث حجم زیادی از کاربیدها می‌شود. از آنجایی که این کاربیدها، سختی بالایی دارند، باعث افزایش شدید کل سختی می‌شود. چدن نایهارد در حالت ریخته‌گری شده، فاقد گرافیت بوده و دارای ساختار شامل کاربیدهای یوتکتیکی با زمینه‌ای که آستنیت در آن غالب است. در صورتی که عناصر آلیاژی به مقدار کافی موجود نباشد، ممکن است به جای آستنیت، مقادیری پرلیت نرم‌تر یا گرافیت به وجود آید. ولی این اتفاق در چدن نایهارد با توجه به کروم موجود در آن اتفاق نمی‌افتد و کاربید کروم تشکیل می‌شود. مشخص شده است که چنانچه مقدار کروم پایین باشد (حدود ۳ درصد) پیدایش کاربیدهای نوع M_3C را ترغیب می‌کند و چنانچه مقدار کروم به حدود ۱۰ درصد برسد، کاربیدهای M_7C_3 تشکیل می‌شود [۲۴]. همان‌طور که گفته شد، در درصدهای پایین کروم (حدود ۳ درصد)، ایجاد کاربیدهای نوع M_3C ترغیب می‌شود و چنانچه مقدار کروم به حدود ۱۰ درصد برسد، کاربیدهای M_7C_3 تشکیل می‌شود. با افزایش درصد کروم نقطه یوتکتیک به سمت چپ متمایل شده و منطقه آستنیت نیز کاهش می‌یابد. همچنین کروم دیاگرام TTT را به سمت راست و خط مارتنزیت M_S را هم پایین می‌برد. وجود مقدار کروم بیش از حد طوری که سبب تشکیل کاربید کروم بسیار سخت $M_{23}C_6$ شود، ضرورت ندارد [۲۴]. به عبارت دیگر، میزان کروم بر مورفولوژی و نوع کاربید اثر می‌گذارد. همچنین کاربید کروم که به صورت M_7C_3 تشکیل می‌شود، توزیع ریز و غیرپیوسته‌ای دارد. همچنین قابل ذکر است که با افزایش تنگستن به آلیاژ این عنصر در زمینه حل شده و

باعث خروج مقداری از کروم محلول در زمینه می‌شود. به عبارت دیگر، تنگستن محلول در زمینه جانشین کروم شده و این کروم اضافی کاربیدهای ریز و غیرپیوسته‌ای را تشکیل می‌دهد.

با توجه به شکل (۵)، قابل مشاهده است که با افزایش مقدار تنگستن در آلیاژها، میزان کسر حجمی کاربیدها از نمونه بدون تنگستن تا نمونه حاوی ۱/۱ درصد وزنی تنگستن به میزان پنج درصد افزایش یافته است. از آنجایی که این کاربیدها به عنوان حفاظت کننده از زمینه در مقابل مواد ساینده عمل می‌کنند، انتظار می‌رود که سختی آلیاژ با افزایش کسر حجمی این کاربیدها نیز افزایش یابد.

با توجه به تصاویر متالوگرافی گرفته شده توسط میکروسکوپ نوری که در شکل‌های (۱) تا (۴) نشان داده شده‌اند و نتایج آنالیز EDX (در اینجا نشان داده نشده است) می‌توان دید که در نمونه‌های بعد از عملیات حرارتی، کاربید کروم (M_7C_3) تشکیل شده است و در نمونه بدون تنگستن حالتی درشت و خشن دارد. در حالی که با افزایش تنگستن کاربیدهای کروم به صورت ریز و ظریف‌تر شکل می‌گیرند. در شکل (۶)، متوسط اندازه قطر کاربیدها نشان داده شده است. نتایج، نشان دهنده‌ی کاهش اندازه‌ی قطر کاربید با افزایش درصد تنگستن است.

۳-۲- سختی‌سنجی

برای بررسی تاثیر تنگستن بر سختی فازهای زمینه و کاربیدهای یوتکتیک موجود در ریز ساختار، آلیاژ به طور مجزا تحت آزمایش سختی‌سنجی ماکروسکوپی و میکروسختی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۳) آورده شده است.

اندازه‌گیری ماکروسختی در تمامی نمونه‌های مورد بررسی، نشان داد که با افزایش میزان تنگستن، سختی نمونه‌ها (جدول ۳) افزایش می‌یابد. اندازه‌گیری میکروسختی فاز کاربید یوتکتیک در آلیاژها نشان می‌دهد که با افزایش میزان تنگستن در تمامی نمونه‌های مورد بررسی، سختی فاز کاربید یوتکتیک مطابق با جدول (۳) افزایش می‌یابد. به طور کلی، کاربید تنگستن دارای سختی بیشتری نسبت به کاربید کروم است که به خاطر هم‌بستگی بیشتر آن با کربن است و با جایگزینی این عنصر به جای کروم در کاربید یوتکتیک سختی این فاز نیز افزایش می‌یابد. مطابق با جدول (۳) سختی فاز زمینه نیز با افزایش میزان تنگستن در آلیاژها افزایش یافته است. سختی فاز زمینه می‌تواند ناشی از چند عامل زیر باشد: حضور مارتنزیت تمپر شده که سختی بالایی دارد، حضور کاربیدهای ثانویه موجود در زمینه مارتنزیتی که سختی بالایی دارند و نیز از طریق سخت‌سازی محلولی توسط تنگستن که سبب افزایش سختی مارتنزیت حاصله می‌شود. از طرف دیگر تنگستن به عنوان یک کاربیدزای قوی با جذب کربن از فاز آستنیت در مرحله ناپایدارسازی آستنیت، میزان کربن محلول در فاز آستنیت را کاهش می‌دهد و با افزایش دمای شروع استحاله مارتنزیت باعث می‌شود که میزان آستنیت باقی‌مانده در ریز ساختار کاهش و در نتیجه سختی فاز زمینه افزایش یابد.

جدول ۳- نتایج آزمایش‌های سختی‌سنجی و ضربه برای نمونه‌های حاوی مقادیر مختلفی از تنگستن

آلیاژ	ماکروسختی (HV)	میکروسختی زمینه (HV)	میکروسختی کاربید یوتکتیک (HV)	انرژی ضربه (J)
W-0	۵۴۰	۶۸۵	۷۴۹/۱	۱۱/۴
W-3	۵۸۱	۷۲۳/۶	۷۸۵	۱۷/۳
W-7	۶۳۲	۷۴۲/۵	۸۳۷	۲۲/۷
W-11	۶۷۴	۷۷۸/۹	۸۹۷/۹	۲۶/۲

۳-۳- نتایج آزمایش ضربه

نتایج حاصل از آزمایش ضربه در جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به این نمودار می‌توان دید که مقاومت به ضربه چدن نایهارد۴ نسبتاً ضعیف است. همان‌طور که از نمودار قابل مشاهده شده است، با افزایش تنگستن، مقاومت به ضربه افزایش یافته است. یکی از متغیرهای مهم و موثر بر مقاومت به ضربه این چدن‌ها، ریزساختار آنها است. با افزایش تنگستن، کاربیدهای یوتکتیک از حالت ضخیم به حالت ظریف تبدیل می‌شوند و باعث کاهش متوسط اندازه قطر کاربیدها می‌شوند.

کاربیدهای تنگستن بر روی کاربیدهای یوتکتیک جوانه زده و رشد می‌کنند. این کاربیدها، چقرمگی و انعطاف‌پذیری خوبی داشته و استحکام و پیوند مناسبی را با فاز زمینه دارند و همچنین با انجام عملیات حرارتی و به وجود آمدن کاربیدهای ثانویه به صورت کروی شکل در زمینه پخش می‌شوند. همه‌ی این تغییرات به وجود آمده در ریزساختار باعث یک‌پارچه شدن ساختار و در نتیجه بهبود مقاومت به ضربه خواهد شد.

۴- نتیجه‌گیری

۱- با افزایش مقدار تنگستن تا ۱/۱ درصد، کسر حجمی کاربیدها، ۵ درصد افزایش یافته است.

۲- با افزایش مقدار تنگستن تا ۱/۱ درصد، متوسط اندازه قطر کاربیدها در حدود نصف اندازه کاربیدهای نمونه بدون تنگستن است.

۳- نتیجه افزایش مقدار تنگستن تا ۱/۱ درصد، افزایش سختی به میزان ۷/۶ راکولC در نمونه بدون تنگستن است.

۴- میکروسختی فاز زمینه و کاربیدها به دلیل حل‌شدن تنگستن در آنها افزایش یافته است.

۵- با افزایش مقدار تنگستن تا ۱/۱ درصد، مقاومت به ضربه آلیاژ نسبت به نمونه بدون تنگستن بیش از ۲ برابر شده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از مدیریت محترم شرکت فرافن به خصوص آقای مهندس شاه‌محمدیان کمال قدردانی را دارند.

مراجع

[1] Tang X.H., Chung R., Li D.Y., Hinckley B., Dolman K, Variations in microstructure of high chromium cast irons and resultant changes in resistance to wear, corrosion and corrosive wear, Wear, 2009, 267(1–4) 116-121.

[2] Ding H., Liu Sh., Zhang H., Guo J., Improving impact toughness of a high chromium cast iron regarding joint additive of nitrogen and titanium. Materials & Design 2016, 90, 958-968.

[3] Çöl M., Gül Koç F., Öktem H., Kır D., The role of boron content in high alloy white cast iron (Ni-Hard 4) on microstructure, mechanical properties and wear resistance, Wear, 2016, 348, 158-165.

[4] Mohammadnezhad M., Javaheri V., Shamanian M., Naseri M., Bahrami M., Effects of vanadium addition on microstructure, mechanical properties and wear resistance of Ni-Hard4 white cast iron, Materials and Design, 2013, 49, 888-893.

[5] Heino V., Kallio M., Valtonen K., Kuokkala V.T., The role of microstructure in high stress abrasion of white cast irons, Wear, 2017, 388,119-125.

[6] Gordan J., Development of abrasion-resistant Nickel-containing alloy white irons of high-hardness, American Foundrymens Society, AFS Journal, 1988, 11, 1-21.

[7] Jinzhu L., Yongfa M., Wear resistance of Ni-hard 4 and high-chromium cast iron re-evaluated, Wear, 1986, 186, 37-40.

[8] ASTM standard, ASTM 532-standard specification for abrasion resistant cast iron, 2014.

[۹] گلعذار م.ع.، عملیات حرارتی فولادها و چدن‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۶۷.

[۱۰] مرعشی م.، متالورژی کاربردی چدن‌ها، انتشارات آزاده،۱۳۸۰.

[۱۱] گردش‌زاده ح.، محبی ح.، رحمانی ا.، آلیاژسازی، نورپردازان، ۱۳۸۶.

[12] Padilha A. F., Rios P.R., Ni-hard material data and applications, Bragozi Lonate, 2002, 4(1) 1-28.

[13] Keming L., Fuming W., Changrong L., Liuyan S., Influence of vanadium on microstructure and properties of medium-chromium white cast iron, Journal of Materials Processing Technology, 2005, 207, 207-211.

[۱۴] شفاعتی فخز ع.، بررسی ساختاری چدن‌های سفید پرکروم حاوی تنگستن، دومین همایش مشترک انجمن مهندسین متالورژی ایران و جامعه ریخته‌گران ایران، ۱۳۸۷.

[۱۵] علمدارلو م. ب.، جواهری و.، تاثیر افزودن تیتانیوم بر مورفولوژی کاربید M_7C_3 در چدن Ni-hard4، دومین همایش صنایع معدنی، کرمان، ۱۳۹۱.

[۱۶] ارمی س.، بهسازی ساختاری آلیاژ چدن پر کروم ۱۷ درصد توسط عناصر خاکی نادر (Re) و آلومینیم و تاثیر آن بر خواص مکانیکی آلیاژ، ماهنامه تخصصی پروازش، ۱۳۸۹، ۷۳، ۱۲۸-۱۳۰.

[17] Masanori H., Kaoru Y., Hirofum M., Abrasion behavior of high Cr-V-Nb cast iron, Science and Processing of Cast Iron, 2011, 457, 248-243.

[18] Bedolla A., Hernandez B., Eutectic modification in a low-chromium white cast iron by a mixture of titanium, rare earths and bismuth effect on microstructure, ASM International, 2005, 14, 149-157.

[۱۹] اسدی ا.، عباسی م.، شامقلی م.، ارزیابی غیرمخرب ریزساختار چدن مقاوم به سایش نایهارد۴ با استفاده از آزمون جریان گردابی، ۱۳۹۴، ۵۹(۱۸) ۳۴-۴۳.

[20] Gundlach R.B., Microstructure, hardness and abrasion resistance of as-cast 17.5% chromium white cast iron, AFS Transactions, 1974, 309-316.

[21] Haung S, Heat treatment process of Ni-hard 4 cast iron, Heat treatment of Metals, 2012, 37, 101-104.

[22] CLEMEX software version 4.0, Clemex Technologies, Inc., https://www.clemex.com.

[23] Dogan O.N., Hawk J. A., Laird G., Solidification structure and abrasion resistance of high chromium white cast iron, Metallurgical and Materials Transaction A, 1997, 28(6) 1315-1328.

[24] Rigney D.A., Glaeser W.A., Source Book on Wear Control Technology, American Society for Metals, 1978.

IRANIAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY

Founding Research Journal

Research Paper:

Effect of Tungsten on the Hardness and Impact Resistance of Ni-Hard 4 Cast Iron

Ali Karimi Taghanaki [1], Taghi Isfahani [2*], Hamid Ghayour [3]

1. Masters candidate, Department of Materials Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
2. Assistant Professor, Department of Materials Science and Engineering, Golpayegan University of Technology, Golpayegan, Iran
3. Associate Professor, Department of Materials Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

*** Corresponding author:** t.isfahani@yahoo.com , t.isfahani@gut.ac.ir

Paper history:
Received: 26 March 2019
Accepted: 24 May 2019

Keywords:
Ni-hard 4 cast iron,
Tungsten,
Impact resistance,
Hardness,
Heat treatment,

Abstract:

The application of Ni-hard 4 cast irons are similar to high chromium cast irons but the characteristic which differs Ni-hard 4 cast iron from high chromium cast irons is its great hardenability. In the present research the effect of tungsten on Ni-hard 4 cast irons and its effect on the microstructure and formation of carbides are investigated. Also the aim of this research is to simultaneously increase the impact resistance and toughness. For this reason samples according to ASTM A532 standard were prepared without the addition of tungsten while the other samples were prepared by adding different percentages of tungsten to the melt by casting method. After the casting procedure; heat treatment, impact, macro-hardness and micro-hardness tests were done. Studies showed that the addition of tungsten leads to the increase in the hardness of the matrix phase and the formation of M7C3 carbides and it also increases the volume fraction of the carbides and decreases the average diameter of carbides. Due to these reasons the hardness and impact resistance simultaneously increase.

Please cite this article using:
Ali Karimi Taghanaki, Taghi Isfahani, Hamid Ghayour, Effect of Tungsten on the Hardness and Impact Resistance of Ni-hard 4 Cast Iron, in Persian, Founding Research Journal, 2019, 3(2) 91-99.
DOI: 10.22034/FRJ.2019.176597.1076

Journal homepage: www.foundingjournal.ir