



تحلیل تجربی خواص مکانیکی چکشی‌های کراشر چدنی تقویت‌شده با ذرات اکسید کروم

فرزاد رحمنی^{۱*}، سیدجلال هاشمی^۲، سامان مرزبان^۱

۱- گروه مهندسی مکانیک، موسسه آموزش عالی کار، قزوین، ایران

۲- گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: F.rahmani@kar.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
مقاله پژوهشی دریافت: ۴ آبان ۱۴۰۴ پذیرش: ۱۵ اردیبهشت ۱۴۰۵	یکی از چالش‌های دستگاه‌های کراشر در صنعت، سایش شدید چکش‌های آن‌ها می‌باشد که سبب ایجاد هزینه‌های بالای تعمیر و توقف خط تولید می‌شود. چکش‌های این دستگاه‌ها معمولاً از جنس چدن هستند که به روش ریخته‌گری تولید می‌شوند. برای بهبود خواص استحکامی و سایشی این چکش‌ها، ذرات تقویت‌کننده اکسید کروم در درصدهای متفاوت وزنی، به ماده پایه اصلی افزوده شد و نمونه‌ها به روش ریخته‌گری ماسه‌ای تولید شدند و بر روی نمونه‌های تولیدشده، آزمون‌های سختی و سایش و فشار انجام شد. نتایج نشان داد که کمترین مقدار سختی مربوط به نمونه بدون استفاده از پودر اکسید کروم برابر با ۴۳/۷ راکول (HRC) و بیشترین مقدار برابر با ۴۷/۰۳ راکول برای نمونه ۱۲٪ بود. همچنین کمترین کاهش وزن در آزمون سایش برای نمونه حاوی ۱۲ درصد اکسید کروم و بعد از آن برای نمونه حاوی ۹ درصد اکسید کروم برابر با ۰/۰۱۹ و ۰/۰۲۴ گرم بدست آمد. کمترین نیروی فشاری شکست در نمونه بدون افزودنی برابر با ۲۳۸/۴۲ مگاپاسکال بدست آمد. در ادامه برای بررسی بهتر نتایج، از نمونه‌ها عکسبرداری SEM نیز انجام پذیرفت.
کلیدواژگان: چدن اکسید کروم استحکام فشاری شکست	

Experimental analysis of the mechanical properties of cast iron crusher hammers reinforced with chromium oxide particles

Farzad Rahmani^{1*}, Seyed Jalal Hashemi², Saman Marzban¹

1- Department of Mechanical Engineering, Kar Higher Education Institute, Qazvin, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

* Corresponding Author's Email: F.rahmani@kar.ac.ir

Article Information	Abstract
Original Research Paper Received: 26 October 2025 Accepted: 5 May 2026	One of the main challenges of crusher machines in industry is the severe wear of their hammers, which leads to high maintenance costs and production downtime. The hammers of these machines are usually made of cast iron and produced by casting methods. To improve the strength and wear resistance properties of these hammers, chromium oxide (Cr_2O_3) reinforcing particles with different weight percentages were added to the base material, and the samples were produced using sand casting. Hardness, wear, and compression tests were performed on the produced samples. The results showed that the lowest hardness value (43.7 HRC) was obtained for the sample without chromium oxide powder, while the highest hardness value (47.03 HRC) corresponded to the sample containing 12 wt.% chromium oxide. Furthermore, the lowest weight loss in the wear test was observed for the sample containing 12 wt.% chromium oxide (0.019 g), followed by the sample with 9 wt.% chromium oxide (0.024 g). The minimum compressive fracture strength (238.42 MPa) was obtained for the sample without any additive. Additionally, SEM imaging was conducted on the samples to further investigate the results.
Keywords: Cast Iron Chromium Oxide Compressive Strength Fracture	

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Rahmani F, Hashemi SJ, Marzban S. Experimental analysis of the mechanical properties of cast iron crusher hammers reinforced with chromium oxide particles. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2025 Dec 22;12(10):45-53. doi: 10.22034/ijme.2026.538407.2147 [In Persian]

۱- مقدمه

خرابی ماشین‌آلات و تجهیزات در صنعت، از مهم‌ترین عوامل توقف تولید و کاهش بهره‌وری است که هزینه‌های هنگفتی را به صنایع تحمیل می‌کند. نگهداری و تعمیرات (نت) به‌عنوان مجموعه‌ای از اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی، نقش کلیدی در حفظ عملکرد بهینه ماشین‌آلات دارد. براساس آمار، عمده خرابی تجهیزات ناشی از عواملی مانند قدیمی شدن، خرابی مکانیکی و خطای اپراتور است. در صنایع مختلف، به‌ویژه در حوزه‌های معدنی، نیروگاهی و خودروسازی، مقاومت به سایش مواد یکی از عوامل کلیدی در افزایش طول عمر و بهبود کارایی قطعات است. یکی از مشکلات مهم در تجهیزات صنعتی، سایش و خرابی چکش‌های دستگاه کراشر است که باعث توقف تولید و هزینه‌های بالا می‌شود. چکش‌ها معمولاً از جنس چدن بوده و برای افزایش مقاومت به سایش آن‌ها، روش‌های مختلفی از جمله افزودن ذرات تقویت‌کننده به ماده پایه مورد بررسی قرار گرفته است.

دستگاه کراشر وسیله‌ای است برای خرد کردن مواد مختلف از جمله چوب، سنگ، یخ و مواد صنعتی با استفاده از نیروی مکانیکی. چکش‌ها بخش مهمی از این دستگاه‌ها هستند که با چرخش روی شفت مرکزی، مواد ورودی را خرد می‌کنند. خرابی و سایش زودرس این چکش‌ها، یکی از مشکلات مهم در عملکرد دستگاه است که منجر به هزینه‌های نگهداری و توقف تولید می‌شود [۱].

در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در حوزه بهبود خواص مکانیکی قطعات چدنی و آلیاژی به روش‌های مختلف ریخته‌گری منتشر شده است [۲-۴]. این مطالعات شامل بررسی تأثیر فرآیند ریخته‌گری با مدل فومی فداشونده بر خواص آلیاژهای آلومینیوم، ایجاد پیوند بین آسترهای چدنی و بدنه آلومینیومی و همچنین بررسی خواص کامپوزیت‌های مهندسی تولید شده به روش‌های مختلف ساخت بوده‌اند. در حوزه بین‌المللی نیز تحقیقات گسترده‌ای درباره بهبود رفتار سایشی چدن‌ها و کامپوزیت‌های زمینه آهن انجام شده است. مطالعات نشان داده‌اند که تغییر ترکیب شیمیایی و میزان عناصر آلیاژی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر ریزساختار و مقاومت سایشی چدن‌های پرکروم داشته باشد. به عنوان مثال، لای و همکاران نشان دادند که تغییر میزان سیلیسیم در چدن‌های پرکروم موجب اصلاح ریزساختار و بهبود مقاومت سایشی می‌شود [۵]. همچنین پژوهش‌های انجام‌شده بر روی چدن‌های نشکن با ریزساختارهای مختلف نشان داده است که نوع زمینه و توزیع فازها نقش مهمی در رفتار سایشی و مکانیزم تخریب سطحی این مواد ایفا می‌کند [۶].

در ادامه، مطالعات متعددی در زمینه تولید کامپوزیت‌های زمینه آهن تقویت‌شده با ذرات سرامیکی انجام شده است. نتایج این تحقیقات بیانگر آن است که استحکام و چقرمگی ذرات سرامیکی تأثیر مستقیمی بر مقاومت به سایش ضربه‌ای این کامپوزیت‌ها داشته و می‌تواند عملکرد آن‌ها را در شرایط کاری سخت بهبود بخشد [۷].

همچنین، آدوبایو و همکاران [۸] نشان دادند که آلیاژسازی و عملیات آستمپرینگ در چدن‌های داکتیل می‌تواند موجب بهبود ریزساختار، افزایش استحکام و ارتقای مقاومت سایشی شود.

ریخته‌گری ماسه‌ای یکی از روش‌های متداول و مقرون‌به‌صرفه در تولید قطعات چدنی است که امکان ساخت قطعات بزرگ و پیچیده را فراهم می‌کند. این فرایند مزایایی چون هزینه پایین، سرعت تولید قالب و قابلیت استفاده از انواع آلیاژها دارد، اما معایبی مانند تخلخل و دقت ابعادی پایین نیز به همراه دارد [۹]. به همین دلیل، انتخاب ترکیب مناسب و کنترل شرایط ریخته‌گری نقش مهمی در عملکرد نهایی قطعات دارد.

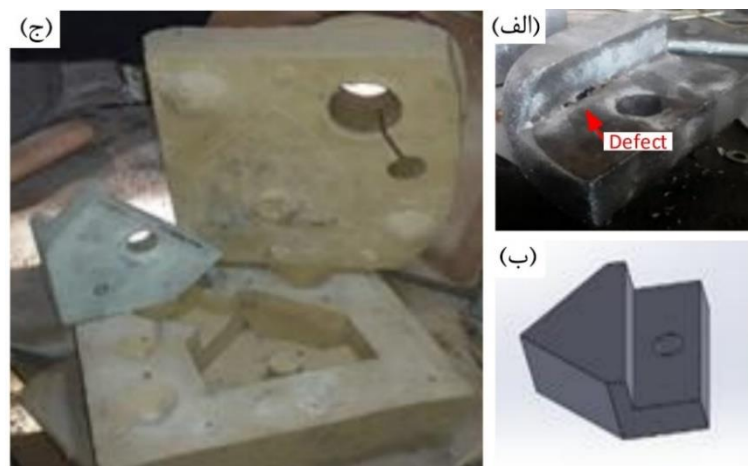
علاوه بر این، استفاده از کامپوزیت‌های زمینه آهن تقویت‌شده با ذرات $ZrO_2-Al_2O_3$ موجب بهبود خواص مکانیکی و افزایش مقاومت به سایش ضربه‌ای شده و به عنوان یکی از روش‌های مؤثر برای افزایش عمر قطعات صنعتی مطرح شده است [۱۰]. مطالعات مرتبط با رفتار بین‌سطحی و ترشوندگی در سامانه‌های فلز-سرامیک نیز نشان داده‌اند که واکنش‌های بین‌سطحی و کیفیت اتصال میان فاز تقویت‌کننده و زمینه فلزی نقش مهمی در خواص نهایی مواد کامپوزیتی دارند [۱۱]. همچنین افزودن عناصر کاربیدساز نظیر نیوبوم به چدن‌های سفید پرکروم موجب اصلاح ریزساختار کاربیدی، افزایش سختی و بهبود مقاومت به سایش ساینده شده است [۱۲].

هدف این تحقیق، ارائه راهکاری نوآورانه با هزینه کم و استفاده از روش ریخته‌گری ماسه‌ای برای تولید چکش‌های کراشر تقویت شده با ذرات اکسید کروم می‌باشد. به همین منظور نمونه‌هایی با درصدهای متفاوتی از اکسیدکروم تولید شدند و تحت آزمون فشار و سختی و سایش قرار گرفتند و اثر افزوده شدن اکسید کروم بر آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی بیشتر نیز، عکسبرداری SEM از نمونه‌ها نیز انجام پذیرفت. نوآوری اصلی این پژوهش نه در افزودن ذرات اکسید کروم، بلکه در به‌کارگیری روش ریخته‌گری ماسه‌ای برای تولید کامپوزیت چدن داکتیل تقویت‌شده با Cr_2O_3 است. در اغلب مطالعات پیشین، ساخت چدن تقویت‌شده با ذرات سرامیکی با استفاده از

روش‌های پیشرفته و پرهزینه‌ای مانند ریخته‌گری تحت فشار، تفجوشی یا فرایندهای همگن‌سازی مکانیکی انجام شده است. در این پژوهش، برای نخستین‌بار امکان‌سنجی صنعتی‌سازی این نوع کامپوزیت با استفاده از ریخته‌گری ماسه‌ای ارزان‌قیمت بررسی شد. این موضوع می‌تواند راهکاری مقرون‌به‌صرفه و قابل اجرا در صنعت برای بهبود مقاومت سایشی چکش‌های دستگاه کراشر فراهم کند.

۲- روش تجربی

در این پژوهش، ابتدا طراحی دقیق چکشی‌ها با در نظر گرفتن درصد انقباض چدن در فرایند ریخته‌گری انجام شد. انقباض یکی از عوامل مهم در طراحی قالب است که به کاهش حجم قطعه پس از سرد شدن گفته می‌شود و معمولاً بین ۱ تا ۲ درصد متغیر است. توجه به این موضوع از بروز عیوبی مانند ترک و تخلخل در قطعه جلوگیری می‌کند. به دلیل عدم وجود مدل سه‌بعدی دقیق از چکش‌ها، با استفاده از روش مهندسی معکوس اقدام به اندازه‌برداری دقیق از نمونه‌های موجود با ابزارهایی مانند کولیس و میکرومتر شد. سپس با نرم‌افزار SolidWorks، مدل سه‌بعدی چکش طراحی و نقشه‌های مهندسی آن تهیه گردید. برای ساخت نمونه اولیه، از ماده تفلون استفاده شد تا مدل فیزیکی برای قالب‌گیری تهیه شود. قالب ماسه‌ای با استفاده از ماسه سیلیسی و چسب سیلیکات سدیم در دستگاه مخلوط‌کننده به مدت ۱۰ دقیقه مخلوط و آماده شد. نمونه تفلونی در میان دو درجه قالب قرار گرفت و ماسه به صورت دقیق و منسجم در اطراف آن کوبیده شد. برای افزایش استحکام قالب، گاز CO_2 به ماسه تزریق شد که باعث واکنش سخت‌شدگی ماسه و افزایش مقاومت قالب گردید. در شکل ۱، تصاویری از نمونه معیوب، مدل نرم‌افزاری و قالب اولیه ساخته شده برای فرایند ریخته‌گری آورده شده است. ترکیب شیمیایی داکتیل پایه در جدول ۱ آمده است.



شکل ۱ (الف) تصویر چکش کراشر معیوب، (ب) نمونه طراحی شده و (ج) قالب تولیدشده برای فرایند ریخته‌گری

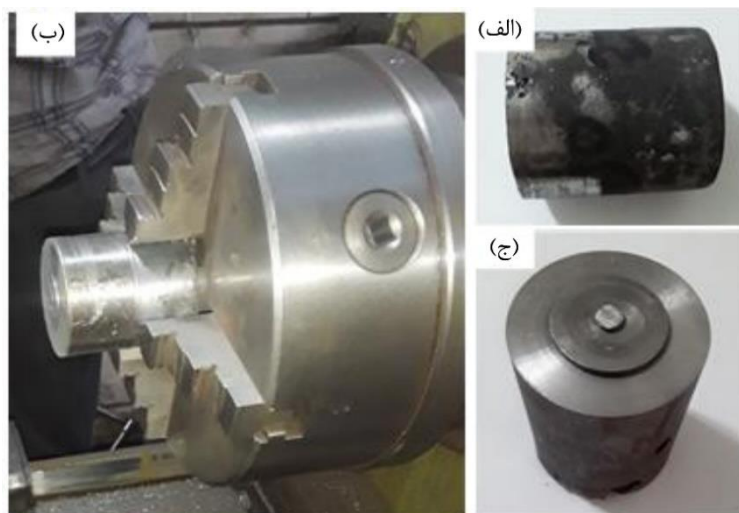
جدول ۱ ترکیب شیمیایی چدن داکتیل پایه

عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی
Fe	Balance	Mn	0.41
C	3.49	Cu	0.31
Si	2.70	Mg	0.03

در فرایند ریخته‌گری، شمش چدن داکتیل تا دمای ۱۴۶۰ درجه سانتی‌گراد ذوب شد. ماده مذاب با دقت بالا در داخل پاتیل ریخته شده و سپس با اضافه کردن مقادیر مختلف پودر اکسید کروم با سایز متوسط ۳۰ میکرون با خلوص ۹۹٪ و مورفولوژی نامنظم طبق جدول ۲، به ماده مذاب اضافه گردیدند. ذرات بعد از اضافه شدن به مدت ۶۰ ثانیه و با سرعت دورانی ۲۰ rpm همگن گردیدند. پس از ریخته‌گری، نمونه‌ها به مدت ۵ ساعت در دمای محیط (حدود ۳۵ درجه سانتی‌گراد) سرد شدند. سپس قالب‌ها باز شده، راهگاه‌ها با سنگ فرز جدا و نمونه‌ها آماده‌ی تست‌های مکانیکی شدند. تصاویر نمونه‌های اولیه و انجام فرایند ماشین‌کاری به منظور آماده‌سازی سطح آن‌ها در شکل ۲ آورده شده است.

جدول ۲ میزان ترکیبات نمونه‌های تولیدشده

نام نمونه	درصد اکسید کروم (%)	درصد چدن (%)
نمونه یک	0	100
نمونه دو	3	97
نمونه سه	6	94
نمونه چهار	9	91
نمونه پنج	12	88

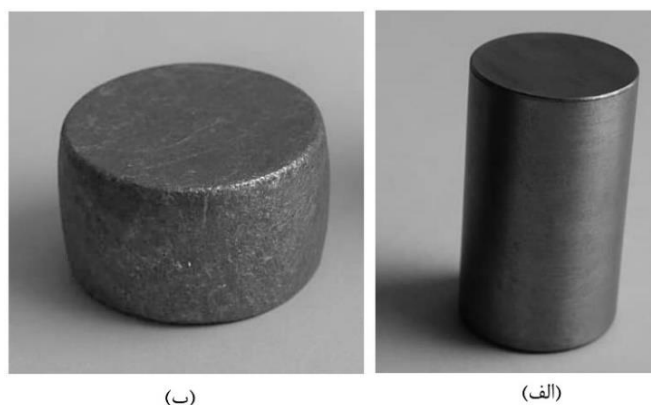


شکل ۲ (الف) نمونه اولیه، (ب) فرایند ماشینکاری، (ج) نمونه‌های آماده تست

در ابتدا آزمون سختی راکول برای تعیین مقاومت نمونه‌ها در برابر تغییر شکل پلاستیک، مطابق با استاندارد ASTM-E384، با نیروی ۲۰۰ گرم و به مدت ۱۵ ثانیه انجام پذیرفت انجام شد. این آزمون با سه بار تکرارپذیری انجام و میانگین آن‌ها گزارش شد. آزمون سایش پین بر روی دیسک با سرعت لغزشی 0.33 mm/s و نیروی ۱۵ نیوتن و به مسافت ۵۰۰ m انجام پذیرفت تصویر دستگاه تست سایش و تصویر نمونه‌های آزمون سایش در شکل ۳ قابل مشاهده است. همچنین آزمون فشار نیز بر روی نمونه‌های کامپوزیتی تولید شده انجام پذیرفت. این آزمون با پیش نیروی ۲ N و با سرعت 1 mm/min آغاز گردید و سرعت اعمال نیرو زمان انجام تست 5 mm/min انجام پذیرفت. جهت بررسی ریزساختاری و سطوح سایید شده نمونه‌ها تصاویر SEM تهیه گردید. نمونه‌های آزمون فشار به صورت استوانه‌ای با قطر ۱۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۵ میلی‌متر مطابق استاندارد ASTM E9 تهیه شدند. به منظور بررسی رفتار تغییرشکل، تصاویر نمونه شماره ۵ قبل و پس از انجام آزمون فشار ثبت و در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۳ (الف) دستگاه تست سایش پین بر روی دیسک و (ب) انجام آزمون سایش بر روی نمونه



شکل ۴ نمونه شماره ۵: الف) قبل از انجام تست فشار و ب) بعد از تست فشار

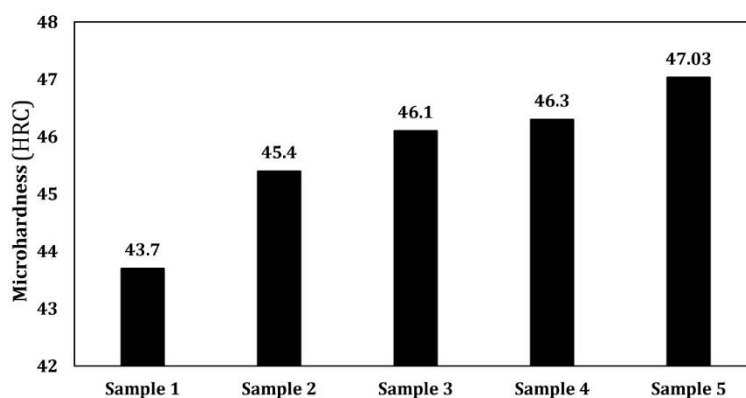
۳- نتایج و بحث

۳-۱- آزمون سختی

برای دقت بالای نتایج، بر روی سطح نمونه‌های تولیدشده آزمون میکروسختی سنجی پنج مرتبه تکرار گردید و نتایج آن در جدول ۳ بیان شده است. سپس، میانگین نتایج آزمون میکروسختی نیز به صورت نمودار شکل ۵ ترسیم گردیده است.

جدول ۳ نتایج آزمون سختی

شماره نمونه	H1	H2	H3
نمونه ۱	43.3	43.4	44.5
نمونه ۲	45.4	45.5	45.5
نمونه ۳	45.6	46.6	46.7
نمونه ۴	45.3	46.5	46.6
نمونه ۵	46.8	47.1	47.2



شکل ۵ نتایج میانگین آزمون سختی

سختی در نمونه اول برابر با ۴۳/۷ بدست آمد و با افزودن و افزایش درصد میکروذرات به نمونه‌ها، روندی افزایشی در نتایج سختی بدست آمد به طوری که سختی در نمونه‌ی دو و سه به ترتیب برابر با ۴۵/۴ و ۴۶/۱ بدست آمد. نتایج نشان داد افزودن میکروذرات سبب بهبود بیشتری در میزان سختی ماده زمینه چدن گردید که نشان از بالا بودن سختی و چقرمگی ذرات اکسیدکروم دارد. دلیل دیگر این نتایج نیز می‌تواند به بهتر قرارگرفتن میکروذرات تقویت‌کننده در کنار ماده زمینه به واسطه‌ی کوچکتر بودن اندازه‌ی این ذرات اشاره کرد. این روند افزایش سختی نمونه‌ها با افزوده‌شدن درصد میکروذرات، سختی نمونه‌ها در نمونه ۵ و ۴ برابر با

۴۷/۰۳ و ۴۶/۳ بدست آمد. دلیل این افزایش، حضور سخت میکروذرات تقویت‌کننده و توزیع یکنواخت نانوذرات و پیوند قوی و مناسب با ماده زمینه می‌باشد. همچنین، در نمونه‌های کامپوزیتی، هنگام اعمال نیرو، نانوذرات نقش اصلی تحمل بار را هنگام اعمال نیرو نسبت به ماده زمینه به عهده دارند.

۳-۲-آزمون سایش

در این بخش هم نمونه‌های با این شرایط جهت آزمون سایش پین بر روی دیسک آماده شدند. رفتار سایشی نمونه‌ها با محاسبه نرخ کاهش وزن آن‌ها بعد از آزمون سایش بیان گردید. نتایج نرخ سایش نمونه‌های تولید شده در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، نرخ کاهش وزن در نمونه‌های کامپوزیتی نسبت به نمونه‌ی چدن خالص، کاهش یافته است. نتایج آزمون سایش نشان داد که با افزایش درصد اکسید کروم، نرخ کاهش وزن کاهش یافته است. به طوری که، کمترین نرخ کاهش وزن در نمونه پنج برابر با ۰/۰۱۹ گرم بدست آمد که ۴۷/۲۲٪ کمتر از نرخ کاهش وزن نمونه اول می‌باشد. سختی نانوذرات، توزیع و پیوند مناسب بین نانوذرات تقویت‌کننده و ماده زمینه، سبب افزایش سختی، استحکام و مقاومت ماده در هنگام اعمال نیرو تغییر شکل پلاستیک گردیده است. در نمونه نانوکامپوزیتی، نانوذرات نیرو را تحمل می‌کنند و نیروی کمتری به ماده زمینه اعمال می‌گردد.

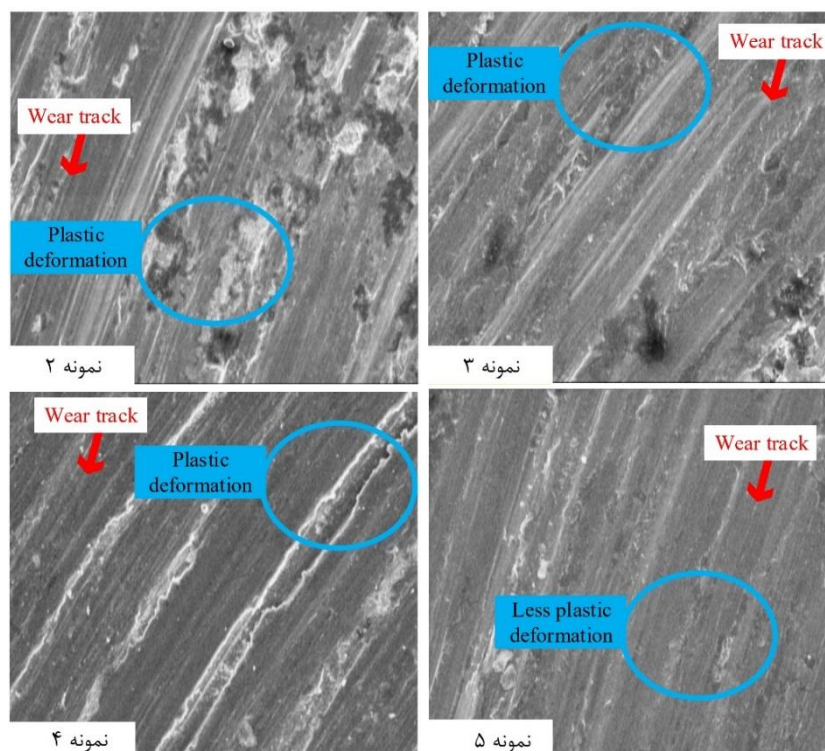
جدول ۴ نتایج آزمون سایش

شماره نمونه	جرم اولیه (gr)	کاهش جرم (g)	جرم نهایی (gr)
نمونه ۱	10.481	10.445	0.036
نمونه ۲	10.523	10.491	0.032
نمونه ۳	10.682	10.654	0.028
نمونه ۴	10.756	10.732	0.024
نمونه ۵	10.887	10.868	0.019

جهت صحت سنجی نتایج آزمون سایش، از سطوح ساییده نمونه‌ها، تصاویر SEM مطابق شکل ۶ تهیه گردید. همانطور که در شکل قابل مشاهده است، تمامی نمونه‌های کامپوزیتی به واسطه‌ی حضور ذرات اکسید کروم، دارای سطح صاف‌تر و شیارهای نازک‌تر و کمتر و کم‌عمق‌تری نسبت به نمونه‌های حاوی مقادیر کمتر ذرات می‌باشد. در این نمونه‌ها، تغییر شکل پلاستیک کمتری اتفاق افتاده است. با توجه به تعداد و نوع آسیب موجود در سطح نمونه‌ها، که در شکل مشخص گردیده است، نشان از افزایش مقاومت سایشی با افزایش درصد ذرات تقویت‌کننده دارد که سطوح ساییده شده نمونه‌ها از شرایط سطحی مطلوب‌تری برخوردار است و تغییر شکل پلاستیک کمتری در آن‌ها حاصل شده است. در نمونه‌های تقویت شده، شیارهای ممتد و موازی نشان سایش خراشان دارد و میزان نرخ کاهش وزن بدست آمده نیز این نتیجه را تایید می‌کند. در بررسی تأثیر کروم بر ساختار چدن، مشخص شد کروم عنصر کاربیدزا است که باعث تشکیل کاربیدهای پیچیده و افزایش میزان پرلیت لایه‌ای می‌شود. این ساختار باعث افزایش مقاومت سایشی، سختی، استحکام در دماهای بالا و مقاومت به اکسیداسیون می‌گردد.

۳-۳-آزمون فشار

برای انجام آزمون استحکام فشاری بر روی نمونه‌هایی کامپوزیتی با درصدهای متفاوت وزنی از اکسید کروم انجام پذیرفت. نتایج استحکام فشاری نمونه‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است. به طور کلی تمامی کامپوزیت‌ها استحکام فشاری بهتری نسبت به نمونه چدن خالص داشتند که علت آن حضور سخت میکروذرات و پیوند مناسب آن با ماده زمینه می‌باشد. همچنین، عامل اصلی افزایش استحکام فشاری نمونه، بالا بودن سفتی میکروذرات که باعث کاهش حرکت نابجایی‌ها و افزایش استحکام فشاری می‌شود. همچنین به دلیل فصل مشترک ضعیف بین میکروذرات اکسید کروم و ماده زمینه به خاطر اختلاف ضریب انبساط حرارتی آن‌ها مطابق با مکانیزم اوروان، سبب تولید نابجایی‌ها و افزایش استحکام می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد بهترین نتیجه در نمونه‌ی پنجم بدست آمد. بیشترین میزان تغییر طول نمونه‌ها برای نمونه پنجم بدست آمد و علت این پدیده، سخت بودن میکروذرات تقویت‌کننده می‌باشد.



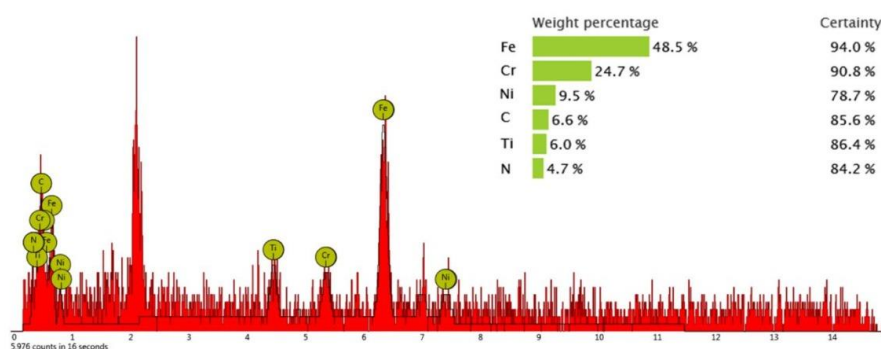
شکل ۶ نتایج تصاویر SEM سطوح ساییده شده

جدول ۵ نتایج آزمون فشار

شماره نمونه	حداکثر تنش (MPa)	حداکثر کرنش (%)
نمونه ۱	238.42	6.34
نمونه ۲	247.62	6.48
نمونه ۳	268.36	6.53
نمونه ۴	287.31	6.76
نمونه ۵	312.74	7.12

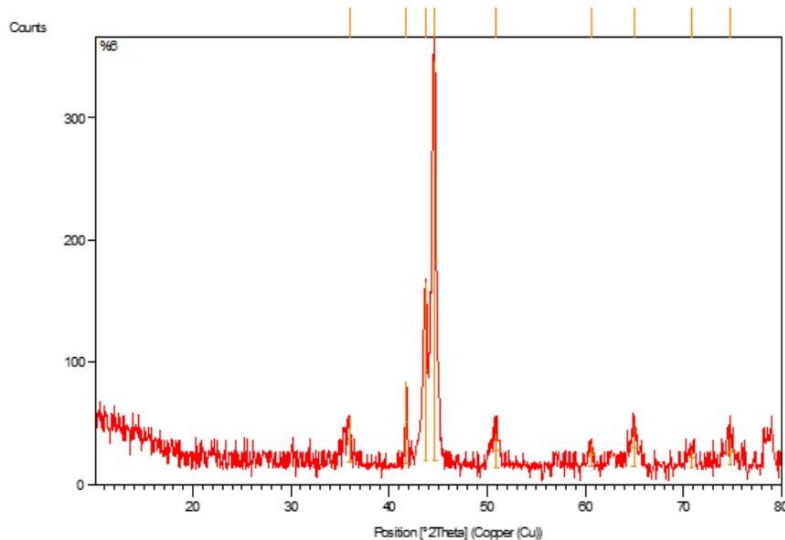
۳-۴- تحلیل ریز ساختاری

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، عناصر Fe، Cr و Ni در ماتریس چدنی و عناصر Ti و N در مقادیر کم شناسایی شده‌اند. مقدار وزنی عنصر کروم حدود ۲۴/۷٪ بوده که نشان‌دهنده حضور مؤثر ذرات اکسید کروم در ساختار است. این نتایج تأیید می‌کند که ذرات Cr_2O_3 پس از فرایند ذوب و ریخته‌گری همچنان در ساختار باقی مانده و از ماتریس جدا نشده‌اند.



شکل ۷ طیف EDS نمونه تقویت‌شده با Cr_2O_3

مطابق شکل ۸ پیک‌های مشاهده‌شده در زاویه 2θ حدود $44-46^\circ$ درجه مربوط به فازهای فریت/پرلیت چدن داکتیل است. همچنین حضور پیک‌های ضعیف‌تر در محدوده $35-36^\circ$ و $55-56^\circ$ درجه، مربوط به فازهای غنی از کروم می‌باشد. عدم مشاهده پیک‌های جدید نشان می‌دهد که واکنش شیمیایی عمده‌ای بین ذرات Cr_2O_3 و ماتریس فلزی در حین ریخته‌گری رخ نداده است و ذرات در حالت اولیه خود باقی مانده‌اند.



شکل ۸ الگوی XRD نمونه تقویت‌شده با Cr_2O_3

نتایج EDS نشان داد که ذرات تقویت‌کننده Cr_2O_3 پس از ریخته‌گری به‌خوبی در ساختار چدن داکتیل پایدار مانده‌اند و از ماتریس جدا نشده‌اند. حضور پیک‌های مشخص عنصر کروم تأیید می‌کند که ذرات درون زمینه توزیع شده‌اند. علاوه بر این، الگوی XRD نشان داد که واکنش بین‌فازی قابل‌توجهی بین ذرات و ماتریس رخ نداده و بنابراین تقویت در این سیستم بیشتر ناشی از اثر مانع‌شوندگی ذرات سخت و توزیع آن‌ها در ساختار است. این موضوع با گزارش‌های ادبیات علمی در خصوص رفتار ذرات اکسیدی در مذاب چدن مطابقت دارد.

ذرات اکسیدی معمولاً ترشوندگی محدودی نسبت به مذاب آهن دارند و همین موضوع می‌تواند منجر به شناوری، تجمع موضعی یا ایجاد تخلخل در ساختار نهایی شود. به‌منظور کاهش این اثرات نامطلوب، ذرات Cr_2O_3 قبل از افزودن به مذاب پیش‌گرم شده و هم‌زدن مکانیکی مذاب انجام شد. تصاویر SEM (شکل ۶) نشان داد که توزیع ذرات در ساختار در حد قابل قبول بوده است (با توجه به داده‌های تجربی). با این حال، برای ارزیابی دقیق‌تر میزان ترشوندگی و بررسی پیوند بین‌فازی، نتایج آزمون‌های EDS و XRD مورد استفاده قرار گرفت.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، اثر اضافه کردن پودر اکسید کروم بر خواص مکانیکی و استحکام فشاری چدن بررسی گردید. نمونه‌ها به روش ریخته‌گری ماسه‌ای تولید شدند. درصد افزودن پودر اکسید کروم از ۰، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ درصد متغیر بود و نمونه‌ها پس از تولید و آماده‌سازی اولیه تحت آزمون سختی و سایش و فشار قرار گرفتند. کمترین میزان سختی برای نمونه چدن خالص برابر با $43/7$ راکوال بدست آمد و با افزایش درصد اکسید کروم سختی به $47/03$ راکوال در نمونه حاوی ۱۲٪ اکسید کروم بدست آمد. نتیجه آزمون سایش نشان داد که با افزودن ۱۲ درصد پودر اکسید کروم از $0/036$ گرم به $0/019$ گرم کاهش یافت. میزان استحکام فشاری بدست آمده برای نمونه‌ی حاوی ۹ و ۱۲ درصد به ترتیب برابر با $287/31$ و $312/74$ مگاپاسکال بدست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از ریخته‌گری ماسه‌ای به‌عنوان یک روش اقتصادی و قابل‌اجرا در صنعت، می‌تواند تولید چدن داکتیل تقویت‌شده با ذرات Cr_2O_3 را ممکن سازد. این موضوع جنبه نوآوری و ارزش کاربردی تحقیق را برجسته می‌کند، زیرا روش‌های مورد استفاده در تحقیقات پیشین اغلب پرهزینه و غیرقابل استفاده در مقیاس صنعتی بوده‌اند.

References

- [1] Gupta A, Yan DS. Mineral processing design and operations: an introduction. Elsevier; 2016 May 2.
- [2] Alishahi A, Kazemi Nasrabadi M. Study on the experimental and finite element simulation of aluminum Compounds manufactured in lost foam casting process in the Aerospace Industry. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2019 May 22;6(2):47-55. [In Persian]
- [3] Motalebi S, Hajialimohammadi A, Kamyab M, Mirzaei M. The effect of pre-coating porous surface cast iron cylinder of ALFIN process to create bonding with aluminum cylinder block. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2024 Jul 22;11(5):24-31. doi: 10.22034/IJME.2024.449505.1940 [In Persian]
- [4] Hasanifard M, Azarafza R, Alaei MH, Najafi M. Experimental investigation of the effects of machining parameters on surface quality in turning aluminum matrix composites reinforced with Mg₂Si particles. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2024 Nov 21;11(9):13-25. doi: 10.22034/IJME.2024.466572.1983 [In Persian]
- [5] Lai JP, Pan QL, Sun YW, Xiao CA. Effect of Si content on the microstructure and wear resistance of high chromium cast iron. Isij International. 2018 Aug 15;58(8):1532-7. doi: 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2018-099
- [6] Sahin Y, Kilicli V, Ozer M, Erdogan M. Comparison of abrasive wear behavior of ductile iron with different dual matrix structures. Wear. 2010 Jan 4;268(1-2):153-65. doi: 10.1016/j.wear.2009.07.008
- [7] Wang Y, Fan L, Chen H. Effect of strength and toughness of ceramic particles on impact abrasive wear resistance of iron matrix composites. Materials Today Communications. 2023 Jun 1;35:105689. doi: 10.1016/j.mtcomm.2023.105689
- [8] Adebayo AO, Oyetunji A, Alaneme KK. Microstructural characteristics, mechanical and wear behaviour of aluminium-alloyed ductile irons subjected to two austempering processes. Acta Polytechnica. 2020 Jul 1;60(3):185-96. doi: 10.14311/AP.2020.60.0185
- [9] Campbell J. Complete casting handbook: metal casting processes, metallurgy, techniques and design. Butterworth-Heinemann; 2015 Aug 6.
- [10] Qiu B, Xing S, Dong Q, Liu H. Comparison of properties and impact abrasive wear performance of ZrO₂-Al₂O₃/Fe composite prepared by pressure casting and infiltration casting process. Tribology International. 2020 Feb 1;142:105979. doi: 10.1016/j.triboint.2019.105979
- [11] Yang J, Huang J, Ye Z, Chen S, Ji R, Zhao Y. Influence of interfacial reaction on reactive wettability of molten Ag-Cu-X wt.% Ti filler metal on SiC ceramic substrate and mechanism analysis. Applied Surface Science. 2018 Apr 1;436:768-78. doi: 10.1016/j.apsusc.2017.12.106
- [12] Pourasiabi H, Gates JD. Effects of niobium macro-additions to high chromium white cast iron on microstructure, hardness and abrasive wear behaviour. Materials & Design. 2021 Dec 15;212:110261. doi: 10.1016/j.matdes.2021.110261