Islamic Azad University Najafabad Branch

JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE

Iron & Steel Society of Iran

Journal Home Page: www.jmatpro.ir

Effect of Filtration on the Microstructure and Mechanical Properties of Cast Iron Alloy High-Chromium 17%

Mohammad Saeed Erami♣, Ali Shafyie, Reza Ebrahimi Kahrizsangi

Department of Materials Engineering, Azad Islamic University, Najafabad Branch

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 Apr. 2010
Accepted 17 Jun. 2010

Keywords:

High-Chromium Iron
Ceramic Foam Filter
Inclusions

ABSTRACT

High-Chromium iron alloy due to hardship and high abrasion resistance of cement and mining industry has many applications. However, now increasing impact strength and toughness of this alloy, the issue has become important in research. This study attempts to influence the use of ceramic foam filters made of SA on alloy microstructure and mechanical properties of white cast iron containing 17% chromium is studied. For this first model was designed to allow most of the standard examples of mechanical tests such as hardness, impact resistance, and resistance to fracture of the surface wear and metallographic, with minimum need for turning, be prepared. Finally, the above tests on standard samples prepared from the two alloys were performed and the results compared and evaluated. These results indicate a small increase in impact strength and resistance to abrasion and also reduce the difficulty of this alloy were. Also observed that application of ceramic foam filters, clear impact on phase morphology and microstructure of this alloy, but failure would be softer and more homogeneous cracks are in the following examples.

♣Corresponding author: Mohammad Saeed Erami, mserami@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir

Islamic Azad University Najafabad Branch
JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE
Iron & Steel Society of Iran
Journal Home Page: www.jmatpro.ir

بررسی تاثیر فیلترگذاری بر ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژ چدن پرکروم ۱۷٪

محمد سعید ارمی♣، علی شفیعی، رضا ابراهیمی کهریزسنگی

دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۵
تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۲۷

واژگان کلیدی:

چدن پرکروم
فیلتر فومی سرامیکی
آخال

چکیده

آلیاژ چدن پرکروم به دلیل سختی و مقاومت به سایش بسیار بالا در صنعت سیمان و معادن کاربرد زیادی دارد. این در حالی است که امروزه بالا بردن مقاومت به ضربه و چقرمگی این آلیاژ به موضوع مهمی در تحقیقات بدل شده است. در این پژوهش تلاش شده است تا تاثیر استفاده از فیلتر فومی سرامیکی از جنس SiC بر ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژ چدن سفید حاوی ۱۷٪ کروم مورد مطالعه قرار گیرد. بدین منظور ابتدا مدلی طراحی و ساخته شد تا بتوان اغلب نمونه های استاندارد آزمون‌های مکانیکی از قبیل سختی سنجی، مقاومت به ضربه، بررسی سطح شکست و مقاومت به سایش و همچنین متالوگرافی، با کمترین میزان نیاز به تراشکاری، آماده سازی شوند. در نهایت، آزمون‌های فوق بر روی نمونه‌های استاندارد تهیه شده از این دو آلیاژ انجام پذیرفت و نتایج حاصله مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. این نتایج نشان دهنده افزایش اندکی در مقاومت به ضربه و مقاومت به سایش و نیز کاهش سختی این آلیاژ بودند. همچنین مشاهده شد که بکارگیری فیلتر فومی سرامیکی، تاثیر بارزی بر مورفولوژی فازها و ریزساختار این آلیاژ نخواهد داشت. اما شکست نرمتر و ترک های همگن‌تری را در نمونه بدنبال دارد.

♣عهده دار مکاتبات: محمد سعید ارمی، mserami@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

چدن‌های سفید پرکروم از جمله مهم‌ترین آلیاژهای مقاوم به سایش در صنعت می‌باشند. این آلیاژها به دلیل خواص ضدسایش بسیار خوب بطور گسترده‌ای در صنایع سیمان، نیروگاه‌های حرارتی و آسیاب‌های خرد کننده بکار می‌روند. قطعاتی که در آسیاب‌ها استفاده می‌شوند، نه تنها در مقابل سایش، بلکه در برابر تنش‌های دینامیکی که ممکن است منجر به شکست ناگهانی قطعه شود نیز می‌بایست مقاوم باشند. از این رو قطعات می‌بایست دو خاصیت تقریبا متناقض مقاومت به سایش و چقرمگی را با هم دارا باشند [۱].

امروزه بهبود چقرمگی و مقاومت به ضربه این آلیاژ به موضوع مهمی در تحقیقات تبدیل شده است. در راستای افزایش چقرمگی چدن پرکروم و بهره گیری مطلوب‌تر از خواص سایشی این آلیاژ، تحقیقات وسیعی در زمینه اصلاح ساختار و مورفولوژی کاربید یوتکتیک با استفاده از آلیاژسازی، عملیات حرارتی، بهسازی ساختاری و حذف یا اصلاح آخال صورت گرفته و پیشرفت‌های خوبی مشاهده شده است. از میان این رویکرد ها بهسازی ساختاری و روش‌های کاهش آخال از قبیل فیلترگذاری، به دلیل سادگی و ارزان بودن، مورد توجه بیشتری قرار گرفته است [۲].

همان طور که می‌دانیم استفاده از فیلتر جهت تمیزی مذاب فلزات، به طور روز افزونی در حال رشد می‌باشد. با این رشد لازم است که دانش فنی در رابطه با فناوری تصفیه نیز افزایش یابد. روش‌های سنتی حذف آخال از قبیل استفاده از راهگاه چرخشی[۱] یا سیستم راهگاهی عریض[۲] اکنون به ندرت دیده می‌شود [۳].

از مزایای بکارگیری فیلترها در ریخته‌گری می‌توان به تمیز شدن مذاب، بهبود کیفیت متالورژیکی قطعه به دلیل عدم وجود ناخالصی‌ها و نیز بهبود کیفیت سطح قطعات، افزایش قابلیت ماشینکاری، افزایش تنش تسلیم قطعات ریختگی و بطور کلی بهبود خواص مکانیکی قطعه اشاره کرد. همچنین به دلیل آرام شدن حرکت مذاب در فیلتر، ناخالصی‌های ناشی از تلاطم مذاب به حداقل می‌رسند [۳].

از انواع فیلترهای موجود در بازار می‌توان به ماهیچه صافی[۳]، پارچه های بافته شده یا مش[۴] و فیلترهای کاشی سرامیکی[۵] اشاره کرد. فیلترهای کاشی سرامیکی به طور قابل توجهی مؤثرتر از سایر فیلترها می‌باشند که به شکلهای فومی سرامیکی، سلولی اکسترود شده و سلولی پرس شده تقسیم بندی می‌گردند. فیلترهای سلولی پرس شده دارای سلول‌های گرد هستند؛ اما فیلترهای اکسترود شده سلول‌هایی چهارگوش و فیلترهای فومی ساختار دوازه وجهی نامنظم دارند. فیلترهای فومی سرامیکی مشبک به شکل تجاری از سال ۱۹۷۷ در صنایع ریخته‌گری بکارگرفته شدند، اولین کاربرد این فیلترها در آمریکا جهت تولید قطعات ریخته گری شده از جنس آلومینیوم در صنعت فضایی بود [۴].

فیلترهای فومی به عنوان یک سیستم بی‌نظیر جهت به دام انداختن آخال به شمار می‌روند. لذا شرایط تولید تمیز و همچنین امکان ورود آرام مذاب به قالب را فراهم می‌آورند. از مهمترین مزایای این فیلترها می‌توان به داشتن بالاترین راندمان تصفیه و کاهش تلاطم مذاب اشاره کرد. این فیلترها هرچند از فیلترهای حصیری گرانتر هستند، اما استفاده از آنها آسانتر و قابل اطمینان‌تر است [۳].

فیلترهای فومی سرامیکی اغلب دارای ساختار اسفنجی باز[۶] می‌باشند و از مواد سرامیکی از قبیل اکسید آلومینیم، مولایت یا سیلیسیم ساخته می‌شوند. بیشتر فیلترهای فومی سرامیکی با مکانیزم بستر عمیق عمل تصفیه را انجام

Archive of SID

www.SID.ir

می‌دهند؛ به طوری که آخال‌های کوچکتر از سوراخ‌های باز[۷] نیز در مقطع عرضی فیلتر گیر می‌افتند. بنابراین از نظر سرباره‌گیری کامل، اطمینان بیشتری به ریخته‌گر می‌دهند. ساختار داخلی این نوع فیلترها به گونه‌ای است که به دلیل وجود پیچ و خم‌های زیاد، مذاب می‌بایست از مجاری مختلفی عبور نموده و وارد محفظه قالب گردد. بنابراین، این فیلترها با آنهایی که اغلب می‌توانند آخال‌های بزرگتر از سوراخ‌هایشان را در خود گیر بیندازند، متفاوتند. در نتیجه بیشتر سرباره‌های موجود در مذاب و حتی سرباره‌های محلول و کوچکتر نیز توسط دیواره‌ها و تله‌های مختلف به دام افتاده و مذاب با حداقل میزان سرباره وارد محفظه قالب می‌گردد [۳].

محققان زیادی فیلترگذاری توسط فیلتر فومی سرامیکی را جهت حذف آخال به شدت توصیه کرده‌اند. از جمله Liu و Samuel در مقاله خود علاوه بر تاکید بر بکارگیری فیلتر فومی سرامیکی برای ریخته‌گری آلیاژ آلومینیم A356.2، دریافتند که گاززدایی و فیلترگذاری همزمان در حین ریخته‌گری منجر به افزایش ۱۶ درصدی انعطاف پذیری این آلیاژ می‌گردد [۵].

در این پژوهش تلاش شده است تا تأثیر بکارگیری فیلتر فومی سرامیکی از جنس SiC بر روی ریزساختار و خواص مکانیکی از قبیل سختی، مقاومت به ضربه، سطح شکست و مقاومت به سایش آلیاژ چدن حاوی ۱۷٪ کروم که یکی از مهم‌ترین آلیاژها در تولید گلوله‌های آسیاب سیمان است، در دو حالت ریختگی و عملیات حرارتی شده مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد.

۲- رویه آزمایشگاهی

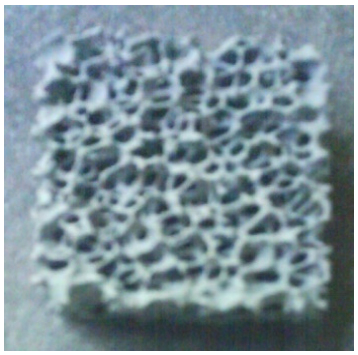
همان طور که می‌دانیم، تراشکاری و نمونه سازی آلیاژ چدن پرکروم به دلیل مقاومت به سایش و سختی بالا، بسیار مشکل است. همین امر موجب گردید تا مدلی طراحی و ساخته شود تا بتوان نمونه‌های استاندارد آزمون‌های ضربه، سختی سنجی، مقاومت به سایش و متالوگرافی را با حداقل نیاز به تراشکاری، مستقیماً ریخته‌گری نمود.

فیلترهای مورد استفاده در این پژوهش از نوع فیلتر فومی سرامیکی از جنس SiC و با اندازه ۵۰×۵۰×۲۲ mm از نمایندگی شرکت فوسیکو تحت عنوان فیلتر سیدکس خریداری گردیدند. این فیلترها دارای ۲۰ حفره در هر اینچ مربع (۲۰ ppi) و اندازه متوسط بوده و جهت ذوب انواع چدن و آلیاژهای مس به کار می‌روند (شکل ۱). جهت بدست آمدن نتیجه بهینه، فیلتر می‌بایست در سیستم راهگاهی قرار گرفته و دارای تکیه‌گاه باشد. در این پروژه سعی شد با طراحی مناسب مدل، این فیلترها دارای تکیه گاه بوده و در قسمت راهگاه اصلی قرار بگیرند تا بهترین بازدهی را داشته باشند.

پس از آماده شدن مدل، ۲ عدد قالب ماسه‌ای تر توسط دستگاه قالبگیر گرفته شد. در همین حال، مذاب چدن پرکروم با ترکیب شیمیایی نشان داده شده در جدول ۱، در کوره القایی ۳ تن شرکت ایران ذوب توسط قراضه فولادی، فروکروم پرکربن و دیگر فرو آلیاژهای لازم تهیه گردید. سپس، دمای مذاب توسط دستگاه پیرومتر اندازه گیری شد تا هر دو قالب در شرایط یکسان دمایی یعنی دمای ۱۵۰۰°C در کوره و ۱۴۰۰°C در قالبها ریخته شوند. قالب اول بدون استفاده از فیلتر و قالب دوم با جایگذاری ۲ عدد فیلتر فومی در راهگاه اصلی ریخته‌گری شدند. پس از اتمام ذوب‌ریزی و انجماد نمونه‌ها، قالبها تخلیه گردیده و قطعات جهت تمیزکاری اولیه سندبلاست شدند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- تصویر فیلتر فومی سرامیکی کاربید سیلسیم ppi ۲۰ مورد استفاده جهت انجام پروژه

Fig. 1. Image of silicon carbide 20 ppi ceramic foam filter used in the research

سپس نمونه‌های آزمونهای مکانیکی از راهگاه توسط سنگ برش جدا شده و به تفکیک برای تراشکاری آماده شدند. تعدادی از نمونه‌ها نیز با ۷ ساعت نگهداری در کوره در دمای $1020^{\circ}C$ و سپس کوئنچ در روغن عملیات حرارتی شدند.

در نهایت نیز بعد از آماده‌سازی نهایی نمونه ها طبق استاندارد ASTM، آزمون های کوانتومتری، سختی سنجی، مقاومت به ضربه، مقاومت به سایش (پین روی دیسک) و همچنین متالوگرافی بر روی آنها انجام پذیرفت.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی دو نمونه ریختگی چدن پرکروم

Table 1. Chemical composition of high Cr cast iron samples

C	Si	S	P	Mn
2.4 2.6	0.9 1.0	<0.05	<0.02	0.2 0.4
Ni	**Cr**	**Cu**	**Mo**	**Fe**
0.1 0.3	17.0- 18.0	0.1 0.2	0.1 0.2	remainder

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی‌های ریزساختاری

شکل ۲ تصاویر میکروسکپی دو نمونه ریختگی فیلتردار و بدون فیلتر فومی سرامیکی را که با محلول کلروفریک اچ شده‌اند، در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر نشان می‌دهد. با توجه به شکل، ریزساختار آلیاژها شامل فازهای آستنیت، کاربید (M_7C_3) و کاربید یوتکتیک می‌باشد. با مشاهده ریزساختار نمونه‌ای که در ریخته‌گری آن از فیلتر فومی استفاده شده است و مقایسه آن با ریزساختار نمونه بدون فیلتر، می‌توان این گونه نتیجه‌گیری کرد که استفاده از فیلتر تأثیر چشمگیری بر مورفولوژی فازها و اندازه دانه‌ها نداشته و عملاً ریزساختار این نمونه‌ها مشابهند. این در حالی است که مقایسه سطوح ماکروسکپی نمونه‌ها حاکی از بهبود محسوسی در کیفیت سطحی آلیاژ ریخته‌گری شده با استفاده از فیلتر فومی سرامیکی بود. بدین ترتیب که عیوب ظاهری، آخال و سرباره در سطح قطعه به حداقل رسیده بود.

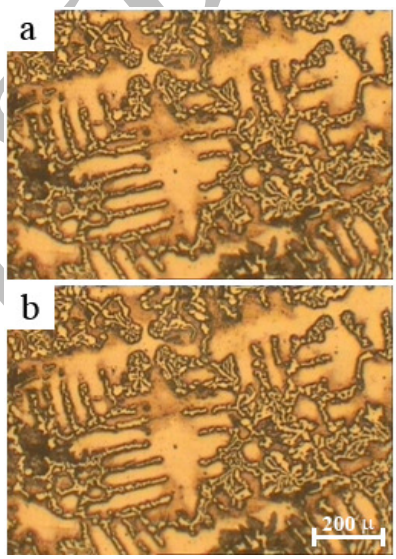
شکل ۳ ریزساختار هر دو نمونه را بعد از عملیات حرارتی (۷ ساعت نگهداری در کوره در دمای $1020^{\circ}C$ و سپس کوئنچ در روغن) در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر نشان می‌دهد. این عملیات حرارتی در راستای همگن سازی زمینه آلیاژ با کاربیدهای سخت به خاطر تبدیل شدن آستنیت نرم به مارتنزیت سخت و در نتیجه بهبود خواص مکانیکی آلیاژ صورت می پذیرد. همانطور که مشاهده می‌شود، ساختار شامل مارتنزیت (نواحی تیره رنگ)، کاربید (نواحی روشن)، کاربیدهای ثانویه و در برخی موارد آستنیت باقیمانده می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به شکل به نظر می‌رسد که مورفولوژی کاربیدها بعد از عملیات حرارتی تقریباً بدون تغییر باقی مانده است.

در اینجا نیز با مقایسه ریزساختار آلیاژ بدون فیلتر با فیلترگذاری شده می‌توان نتیجه گرفت که بکارگیری فیلتر فومی سرامیکی تأثیری بر ریزساختار و مورفولوژی فازهای آستنیت و کاربید نداشته و ریزساختار نمونه‌ها با یکدیگر مشابهند.



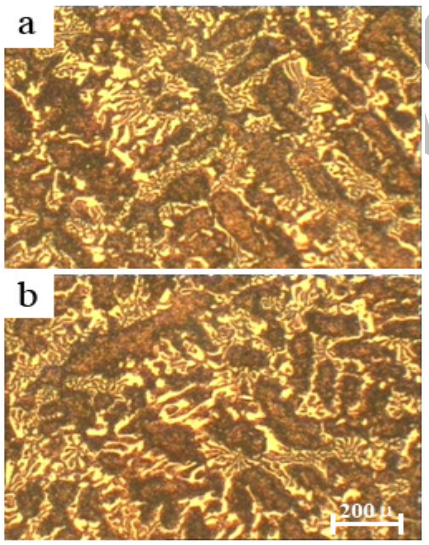
شکل ۲- تصاویر میکروسکپی دو نمونه a) با فیلتر و b) بدون فیلتر در حالت ریختگی؛ محلول اچ: کلروفریک.

Fig. 2. As cast microstructure of samples a) filter and b) without filter; Etching solution: Chlorine form.

۳-۲- آزمون سختی سنجی

سختی نمونه‌ها، طبق استاندارد ASTM E18-03 با معیار راکول سی به تعداد ۶ بار برای هر نمونه توسط دستگاه سختی سنج دیجیتال کوپا با تفکیک پذیری ۰/۱ HRC اندازه گیری شده و در نهایت از ۶ عدد بدست آمده برای هر نمونه میانگین گرفته و گزارش شد. نمودارهای تغییرات سختی هر دو آلیاژ قبل و بعد از عملیات حرارتی، در شکل ۴ دیده می‌شود. همان طور که مشاهده می‌شود سختی نمونه بدون فیلتر در هر دو حالت قبل و بعد از عملیات حرارتی بیشتر از سختی نمونه فیلتردار است که این اختلاف سختی در حالت ریختگی بیشتر است. نکته قابل توجه در این نمودار، کاهش سختی آلیاژها پس از فیلترگذاری می باشد. با توجه به نتایج، می‌توان دید که سختی نمونه ریختگی فیلترگذاری شده ۱/۷ HRC کمتر از سختی نمونه بدون فیلتر است.

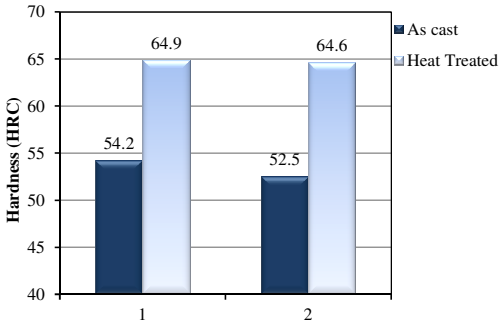
با توجه به عوامل ذکر شده در منابع [۳] این اتفاق را می‌توان به در دام افتادن عناصر آلیاژی مفید از قبیل کروم در فیلتر، به همراه ناخالصیها و آخالهای موجود در مذاب نسبت داد که در نهایت موجب کاهش سختی آلیاژ می‌گردد.



شکل ۳- تصاویر میکروسکپی دو نمونه a) با فیلتر و b) بدون فیلتر در حالت عملیات حرارتی شده؛ محلول اچ: کلروفریک

Fig. 3. Microstructure of samples a) with filter and b) without filter after heat treatment; Etching solution: Chlorine form.

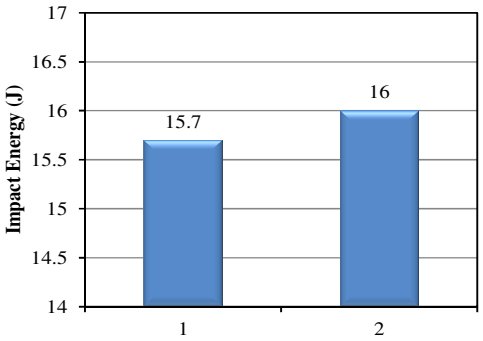
www.SID.ir



شکل ۴- نتایج آزمون سختی دو نمونه مورد آزمایش در دو حالت ریختگی و عملیات حرارتی شده (۱- ساده ۲- فیلترگذاری شده).

Fig. 4. Hardness test results of as cast and heat treated samples; 1) without filter, 2) with filter.

همانطور که در شکل (۴) مشاهده می شود، در حالت عملیات حرارتی شده نیز مانند حالت ریختگی، همانگونه که انتظار می رفت، نمونه فیلتردار سختی پایین‌تری را نسبت به نمونه بدون فیلتر از خود نشان می‌دهند. اما این اختلاف، پس از عملیات حرارتی خیلی بارز نیست (۰/۳ HRC). علت این امر را می‌توان به همگن شدن ریزساختار هر دو نمونه پس از عملیات حرارتی یکسان، نسبت داد.



شکل ۵- نتایج آزمون مقاومت به ضربه دو نمونه مورد آزمایش ریختگی؛ ۱) ساده ۲) فیلترگذاری شده.

Fig. 5. Impact resistance of as cast samples; 1) without filter, 2) with filter.

۳-۳- آزمون مقاومت به ضربه و بررسی ماکروسکپی سطح شکست

پس از آماده سازی نهایی نمونه‌های ریختگی ضربه، آزمون مقاومت به ضربه چارپی طبق استاندارد ASTM E23-02 برای نمونه‌های بدون شیار و به تعداد ۷ عدد برای هر نمونه در آزمایشگاه خواص مکانیکی دانشکده مواد دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد صورت پذیرفت. شکل (۵) نتایج آزمون ضربه در هر دو آلیاژ را بر حسب ژول نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار و همچنین بررسی مسیر رشد ترک در شکل ۶ می‌توان دریافت که هر دو نمونه از مقاومت کمی در برابر ضربه برخوردار بوده و شکستشان از نوع ترد رخ برگی می‌باشد. البته نمونه فیلترگذاری شده با مقاومت ضربه معادل J ۱۶ افزایشی معادل J ۰/۳ در مقاومت به ضربه از خود نشان می‌دهد و تمایل بیشتری به شکست نرم نشان داده است. لذا اگر چه استفاده از فیلتر فومی موجب کاهش سختی گردید، در عوض این نمونه از مقاومت ضربه بهتری نسبت به آلیاژ بدون فیلتر برخوردار است. این پدیده را می‌توان به مزایای استفاده از فیلتر در کاهش ناخالصی وآخال و لذا تمیزتر شدن مذاب این دو نمونه مربوط دانست [۶].

Zhou و همکارانش نیز در تحقیقی که بر روی فیلترگذاری عمیق آلومینیم مذاب انجام دادند، با انجام آزمون SEM و متالوگرافی نمونه‌ها نشان دادند که ترک‌های ثانویه و برآمدگی‌ها در نمونه کشش آلیاژ فیلتردار ریزتر و همگن‌تر بوده و تنها اندکی آخال ریز در حد µm ۶ در نمونه‌ها وجود داشت. در حالی که آخال‌های بیشتر و با ابعادی حدود µm ۴۰ در نمونه‌های بدون فیلترگذاری مشاهده کردند [۷].

Archive of SID

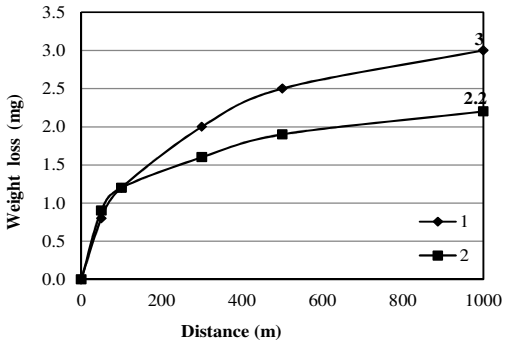
www.SID.ir

۳-۴- آزمون نرخ سایش (پین روی دیسک)

آزمون مقاومت به سایش (پین روی دیسک) طبق استاندارد ASTM G99-04 در آزمایشگاه شرکت پرسایش به تعداد ۱ نمونه برای هر آلیاژ و در حالت ریختگی، انجام گرفت. پس از سایش، کاهش وزن نمونه‌ها طبق استاندارد توسط ترازویی با تفکیک‌پذیری ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه گیری شد. میزان کاهش وزن بر حسب مسافت طی شده برای هر دو نمونه در شکل ۷ نشان داده شده است. بطور کلی می‌توان دید که مقاومت به سایش هر دو نمونه خوب بوده است و در بدترین حالت تنها ۳ mg از وزن آنها پس از طی مسافت ۱۰۰۰ متر توسط پین کم شده است. اما در اینجا نیز نمونه فیلتر گذاری شده از خواص سایشی بهتری برخوردار بوده و ۰/۸ mg کاهش وزن کمتر را نسبت به نمونه بدون فیلتر از خود نشان می‌دهد.

شکل ۶- مقایسه مسیر رشد و اشاعه ترک در دو نمونه آزمایشی ریختگی ۱) ساده ۲) فیلترگذاری شده

Fig. 6. Crack growth path in as cast samples; 1) without filter, 2) with filter.



شکل۷- نتایج آزمون پین روی دیسک دو نمونه مورد آزمایش ریختگی ۱) ساده ۲) فیلترگذاری شده.

Fig. 7. Pin on disk test results of as cast samples; 1) without filter, 2) with filter.

۴- نتیجه‌گیری

بکارگیری فیلتر فومی سرامیکی در راهگاه اصلی مذاب چدن پرکروم ۱۷٪ نتایج زیر را به دنبال داشت:

۱- کاهش سختی آلیاژ در حالت ریختگی به میزان HRC ۱/۷.

۲- کاهش سختی آلیاژ در حالت عملیات حرارتی شده به میزان HRC ۰/۳.

۳- افزایش مقاومت به ضربه به میزان J ۰/۳.

۴- ۰/۸ میلی گرم کاهش وزن کمتر و در نتیجه افزایش مقاومت به سایش.

همچنین مشاهده شد که استفاده از فیلتر فومی سرامیکی تغییر محسوسی را در ریزساختار، مورفولوژی فازها و سطح مقطع شکست ماکروسکپی آلیاژ چدن پرکروم ایجاد نخواهد کرد؛ اما کیفیت سطحی نمونه‌ها را بدلیل کاهش آخال و سرباره بهبود می‌بخشد.

تشکر و قدردانی

در نهایت از مدیریت عامل محترم شرکت ایران ذوب آقای مهندس اجلالی و استاد عزیزم آقای دکتر حسین

Archive of SID
www.SID.ir

مناجـاتی‌زاده، بـه خـاطر راهنمـایی‌هـا و حمایـت‌هـای بی‌دریغـشان، کمـال تـشکر و سـپاس را داشـته و آرزوی توفیق روز افزون برای این عزیزان می‌نمایم.

پی‌نوشت:

1- Whirl Gates
2- Extensive Running system
3- Strainer Core
4- Woven Cloth or Mesh
5- Ceramic Tile Filters
6- Open Foam Structure
7- Pore Openings

مراجع

[1] Mousavi E., "Wear resistance of tungsten-containing irons high-chromium", M.Sc. thesis, Department of Materials Engineering, Sharif University of technology, 2004 (**In Persian**).

[2] Erjun, G., Liping W., Yongchang H. and Yuanke F. "Effects of Rare Earths and Al on Structure and Performance of High Chromium Cast Iron Containing Wolfram", Journal of Rare Earths, Vol. 24, 2006, pp. 238–242.

[3] Adibfar H., "Refining molten steel CK22 using a filter and its effect on mechanical properties", M.Sc. thesis, Department of Materials Engineering, Islamic Azad University, Najafabad branch, 2005. (**In Persian**).

[4] Brown, J.R. "Foseco Ferrous Foundryman's Handbook", Chapter 17, 2000, p. 245-266.

[5] Liu L., Samuel F.H., "Effect of inclusions on the tensile properties of Al-7%Si-0.35%Mg (A356.2) aluminum casting alloy", Journal of Materials Science, Vol. 33, 1998, pp. 2269-2281.

[6] Henry G. and Horstmann D., "Macroscopical Fracture and Micro-Fracture", Mechanical Industry Publishing House, 1987, p. 5-20.

[7] Zhou M., Shu D., Li K., Zhang W.Y., Ni H.J., Sun B.D., and Wang J., "Deep Filtration of Molten Aluminum Using Ceramic Foam Filters and Ceramic Particles With Active Coatings", Metallurgical and Materials Transactions A ,Vol. 34A, May 2003, pp. 1183.

Archive of SID

www.SID.ir