

بررسی علل خوردگی و شکست نازل های غوطه ور ریخته گری مداوم فولاد

رحمت اله عمادی^{۱*}، آرش حاجی پور^۲، حسین عمادی^۳

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- کارشناس ارشد، فولاد سبا، مجتمع فولاد مبارکه اصفهان، مبارکه، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

*remadi@cc.iut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۳)

چکیده

در حال حاضر ریخته گری مداوم فولاد مهمترین روش تولید فولاد در جهان می باشد، مهمترین اجزاء کنترل کننده جریان مذاب شامل تاندیش، استوپر و نازل غوطه ور می باشند که به آنها نسوزهای ویژه اطلاق می شود. در میان قطعات نسوز ویژه، نازل غوطه ور از اهمیت بالایی برخوردار است، وظیفه اصلی نازل، حفاظت جریان مذاب از ورود هوا در مسیر تاندیش به قالبهای ریخته گری و توزیع دلخواه جریان مذاب در قالبها است. هدف از این تحقیق بررسی علل خوردگی و شکست یک نمونه از نازل های غوطه ور معیوب واحد ریخته گری مداوم فولاد سبا می باشد. در ابتدا از مقاطع مختلف یک نازل سالم و یک نازل معیوب نمونه گیری انجام شد، وزن مخصوص، درصد تخلخل، آنالیز XRD، XRF و مشاهدات میکروسکوپ الکترونی روبشی جهت شناسایی علت خوردگی و شکست انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد که علت اصلی شکست و خوردگی نازل های معیوب پوشش نامناسب اعمال شده بر سطح نازل و کم بودن میزان گرافیت بدنه زیرکونیا-گرافیت نازل در خط سرباره است به طوری که میزان گرافیت نازل معیوب ۸ درصد و نازل های سالم ۱۰ درصد می باشد، کمبود میزان گرافیت منجر به کاهش مقاومت به شوک حرارتی و مقاومت به خوردگی نازل می شود.

واژه های کلیدی:

ریخته گری مداوم فولاد، نازل غوطه ور، آلومین گرافیت، آنالیز تخریب.

۱- مقدمه

روش در ۴۰ سال اخیر پیشرفت های چشم گیری داشته است، به طوری که امروزه جهت تولید حدود ۹۰٪ فولاد تولیدی جهان (شامل فولادهای ساده کربنی، آلیاژی و زنگ نزن) از این روش استفاده می شود [۱].

ریخته گری مداوم یکی از مهمترین روش های تبدیل فلز مذاب به شمش جامد است، اگر چه این روش برای اولین بار توسط بسمر در سال ۱۸۵۶ پیشنهاد شد ولیکن ریخته گری مداوم فولاد تا سال ۱۹۶۰ به صورت گسترده مورد استفاده قرار نگرفت. این

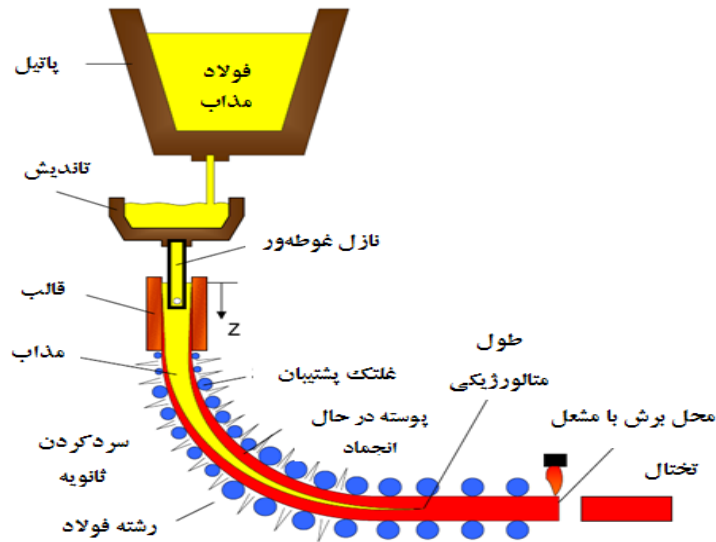
غوطه ور است [۵-۸]، حادثترین منطقه از نظر خوردگی، سطح خارجی نازل غوطه ور است در این محل نازل در تماس مستقیم با سرباره، پودر قالب و مذاب فولاد می‌باشد. این پودرها به قالب اضافه شده تا از اکسیداسیون مذاب جلوگیری کرده و کمک به خروج ناخالصی‌ها از آن کند. عمدتاً سطح خارجی نازل در این محل خیلی سریع تحت سایش و خوردگی قرار می‌گیرد به منظور افزایش عمر سرویس‌دهی نازل، این قسمت را از جنس زیرکونیا-گرافیت می‌سازند. ترکیب بدنه اصلی نازل از جنس آلومین و گرافیت است و لیکن به دلیل خوردگی شدید در محل تماس با سرباره، ترکیب باند سرباره با بدنه متفاوت بوده و از جنس زیرکونیا-گرافیت است [۹].

کل بدنه نازل توسط یک لایه سرامیکی ظریف پوشش داده شده است. پوشش سطح داخلی به نحوی است که حتی الامکان سطح داخلی نرم و مانع از انسداد دهانه شود. همچنین بر روی سطح خارجی، پوشش لعاب مانند مناسبی داده شده است و بر روی این پوشش یک لایه از الیاف سرامیک داده می‌شود. این دو لایه به وسیله یک سیمان مخصوص به یکدیگر وصل شده‌اند. این پوشش‌ها نه تنها مانع از شوک حرارتی بدنه نازل در لحظه اول بارریزی می‌شود بلکه با اعمال یک پوشش بدون درز بر روی نازل، مانع از نفوذ هوا به درون نازل می‌شود. نفوذ هوا به درون نازل و واکنش‌های بعدی آن در لحظه برخورد اولیه با مذاب، مقاومت در برابر جریان‌های اغتشاشی مذاب، مقاومت در برابر پودر قالب و سرباره، ممانعت از انسداد، مقاومت به شوک حرارتی، مقاومت در برابر شکست، خوردگی، سایش و انسداد از مهمترین مشخصه‌های نسوزهای آلومین-گرافیتی می‌باشد [۱۰-۱۶].

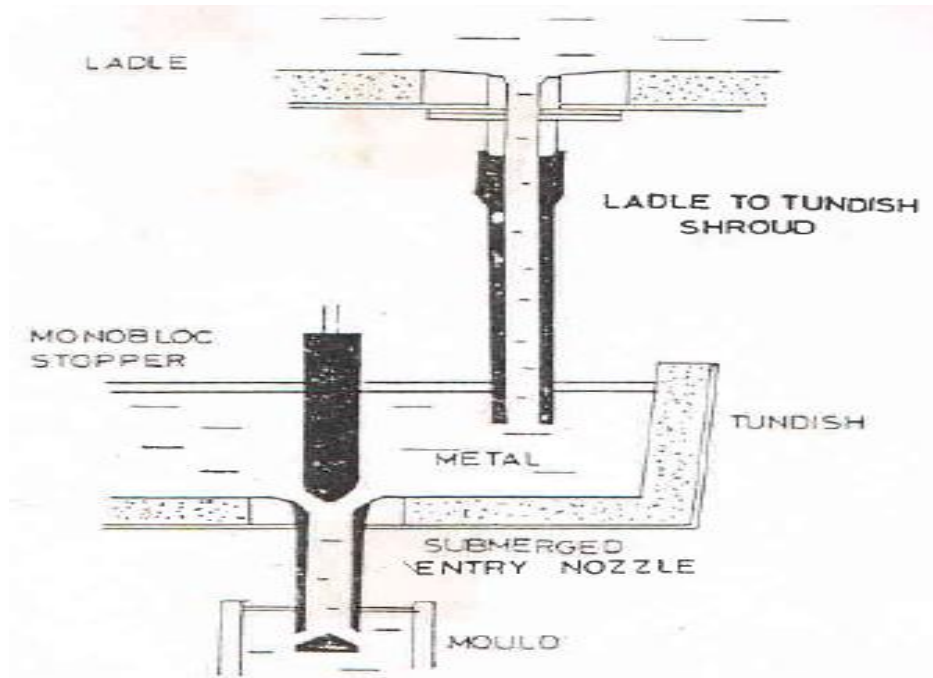
در این پژوهش به بررسی علل خوردگی و تخریب یک نمونه نازل غوطه ور مصرفی در شرکت فولاد سبا پرداخته خواهد شد. لازم به توضیح است که عمر نازل‌های سالم ۷ تا ۸ ذوب می‌باشد در صورتی که عمر نازل مورد مطالعه در این تحقیق ماکزیمم ۳ ذوب می‌باشد و پس از این نمونه در مقطع زیرکونیا-گرافیت شدیداً دچار خوردگی می‌شود به طوری که

همانطور که در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است، در این فرایند فولاد مذاب از یک پاتیل^۱ به تاندیش و سپس به درون قالب جریان می‌یابد. در اینجا نقش تاندیش نگه داشتن مذاب کافی جهت حفظ پیوستگی جریان مذاب به درون قالب، حتی در هنگام تعویض پاتیل است. علاوه بر این، تاندیش به عنوان یک محفظه تصفیه عمل کرده و برخی آخال‌های مضر را خارج می‌کند. اگر این ذرات آخال در درون محصول باقی بمانند در طی عملیات نورد ظاهر شده و یا می‌توانند باعث ایجاد تنش‌های داخلی موضعی در شمش تولیدی شوند که عمر خستگی را کاهش می‌دهند. جهت تولید فولادی با کیفیت بهتر و بالاتر، بایستی از تماس فولاد مذاب با هوا جلوگیری کرد. در غیر این صورت آخال‌های اکسیدی زیادی در درون فولاد وجود خواهد داشت. تکنیکی که امروزه استفاده می‌شود، ریخته‌گری غوطه‌وری نام دارد. در این روش مذاب توسط یک لوله سرامیکی به زیر سطح فلز مذاب در قالب ارسال می‌شود. در این حالت مسئله اکسیداسیون جریان مذاب وجود نداشته و به منظور حفاظت سطح قالب در برابر اکسیداسیون از پودرهای مخصوص قالب استفاده می‌شود. برای تنظیم جریان مذاب از پاتیل به تاندیش و از تاندیش به قالب از نازل‌های کنترل‌شونده با استوپر^۲ و دریچه‌های کشویی با طرح‌های گوناگون استفاده می‌شود. مهمترین اجزاء کنترل‌کننده سیستم مذاب شامل شروود^۳، استوپر^۴ و نازل غوطه‌ور^۴ می‌باشند که به آنها نسوزهای ویژه اطلاق می‌شود. این قطعات بی‌تردید اصلی‌ترین اجزاء سیستم ریخته‌گری مداوم فولاد هستند. در میان قطعات نسوز ویژه، نازل غوطه ور از اهمیت بالایی برخوردار است و وظیفه اصلی نازل حفاظت جریان مذاب از ورود هوا در مسیر تاندیش به قالب‌های ریخته‌گری و توزیع دلخواه جریان مذاب در قالبها است [۲-۴]، نازل‌ها با توجه به اهمیت فوق‌العاده آنها در فرآیند تولید، بایستی دارای خواص ویژه‌ای باشند از جمله مقاومت به شوک حرارتی بالا در لحظه برخورد اولیه مذاب در شروع عملیات، مقاومت بالا در مقابل جریان‌های اغتشاشی و سایش مذاب در اجزاء نازل، مقاومت در برابر حملات پودر قالب و انسداد کم دهانه نازل

نازل کاملاً در مذاب حل شده و ضخامت آن از ۲۵ میلیمتر به یک میلیمتر کاهش می یابد.



شکل (۱): طرحی از فرایند ریخته گری مداوم فولاد



شکل (۲): شمایی از محل قرار گرفتن شروود، استوپر و نازل غوطه ور در ایستگاه ریخته گری مداوم فولاد

۲- مواد و روش تحقیق

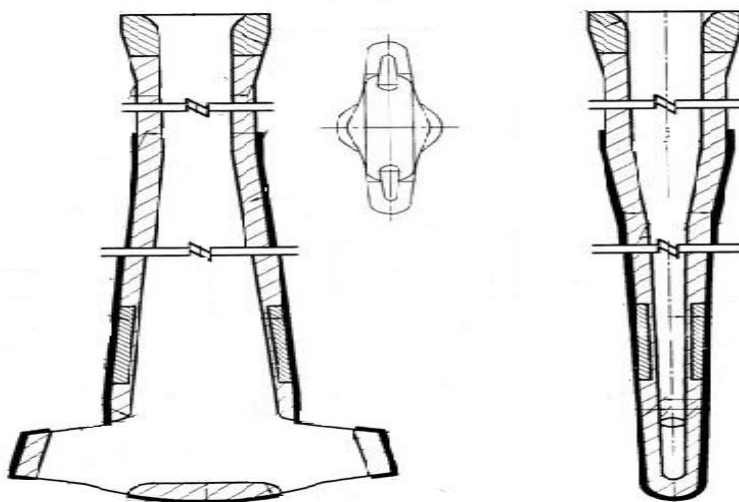
۲-۱- نمونه برداری از نازل های معیوب اولیه

معیوب تهیه کرده و از مقاطع مختلف آنها نمونه برداری انجام شد. ترکیب بدنه اصلی نازل از جنس آلومین و گرافیت است و لیکن به دلیل خوردگی شدید در محل تماس با سرباره، ترکیب

شکل ۳ شمایی از مقطع نازل غوطه ور مورد مطالعه در این تحقیق را نشان می دهد. در این مرحله دو نازل یکی سالم و دیگری

آلومین گرافیتی، بدنه زیرکونیا-گرافیت در تماس با خط سرباره و محصولات خوردگی موجود در دهانه نازل انجام شد.

باند سرباره با بدنه متفاوت بوده و از جنس زیرکونیا-گرافیت است. نمونه برداری از پوشش سطحی لعاب نازل، بدنه اصلی



شکل (۳): شمایی از مقطع نازل غوطه ور مورد مطالعه در این تحقیق

۲-۳- آزمون تعیین میزان گرافیت

جهت تعیین دقیق گرافیت موجود در نمونه ها از دستگاه CF (Carbon Factor) موجود در شرکت فولاد مبارکه استفاده شد.

۲-۴- اندازه گیری وزن مخصوص و تخلخل

جهت تعیین وزن مخصوص (BD) و درصد تخلخل ظاهری (%AP) بدنه های آلومین-گرافیت و زیرکونیا-گرافیت نمونه های سالم و معیوب از روش ارشمیدس، مطابق با استاندارد C20(15.02) و از طریق محاسبات زیر به دست آورده شد. در جایی که:

$$B.D = \frac{W_1}{W_2 - W_3}$$

$$\%AP = \frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3}$$

W_1 : وزن نمونه خشک

W_2 : وزن نمونه تر (وزن نمونه پس از ۲۴ ساعت در آب ماندن)

۲-۲- مطالعات فازشناسی و بررسی ساختار میکروسکوپی

آزمون پراش پرتو ایکس به منظور شناسایی فازهای موجود در بدنه های آلومین-گرافیتی و زیرکونیا-گرافیتی نمونه های سالم و معیوب تهیه شده، مورد استفاده قرار گرفت. در این مرحله از دستگاه پراش پرتو ایکس مدل Philips Xpert-MPD system استفاده شد. تیوب به کار رفته پرتو $k\alpha$ مس با طول موج های \AA 1.5405 و 1.5443 \AA $k\alpha_1$ و $k\alpha_2$ Cu و فیلتر آن از جنس نیکل بود. اندازه گام ها 0.05° و محدوده زاویه پراش $8.0^\circ - 10^\circ$ انتخاب گردید. ولتاژ اعمالی برابر 30 کیلو ولت و جریان معادل 30 میلی آمپر بود. پس از گرفتن الگوی پراش پرتو ایکس هر یک از نمونه ها از طریق مقایسه موقعیت زاویه پراش 2θ و شدت پیک های پراش آن با اطلاعات موجود در نرم افزار مربوطه، فازبندی شد.

جهت بررسی ریزساختار نمونه ها، مورفولوژی فازها و چگونگی اتصالات فازهای مختلف از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی از نوع Philips مدل XL30 Series مجهز به اسپکترومتری اشعه ایکس استفاده شد.

W₃. وزن نمونه غوطه وری

جدول ۱ ترکیب شیمیایی بدنه آلومین-گرافیتی و زیرکونیا-گرافیتی خط سرباره بدست آمده توسط روش فلورسانس اشعه ایکس (XRF)، میزان گرافیت و درصد تخلخل و وزن مخصوص نازل های غوطه ور سالم و معیوب را جهت مقایسه در کنار یکدیگر نشان می دهد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مقایسه ترکیب شیمیایی و خواص نازل های سالم و معیوب

جدول (۱): ترکیب شیمیایی، میزان گرافیت، درصد تخلخل و وزن مخصوص نازل های غوطه ور سالم و معیوب

نوع نازل	نازل سالم		نازل معیوب	
	بدنه آلومین گرافیت	بدنه زیرکونیا گرافیت	بدنه آلومین گرافیت	بدنه زیرکونیا گرافیت
تخلخل ظاهری (%)	۱۶	۱۷/۴	۱۷	۱۲/۶
وزن مخصوص (cm ³ /g)	۲/۶	۳/۴	۲/۴	۳/۷
آلومین	۵۴/۵	۶/۴۲	۵۴/۰۸	۱۱/۱۰
سیلیس	۹/۳۷	۱۹/۶۰	۱۱/۱۰	۳/۰۹
زیرکونیا	۵/۹۹	۴۸/۱۶	۶/۳۷	۶۴/۱۵
اکسید سدیم	۱/۰۱	۰/۴۵۱	۱/۰۲	۰/۶۹۴
اکسید آهن	۱	۱/۵۰	۱/۲۶	۱/۸۲
اکسید تیتانیم	۰/۸۵	۰/۲۰۰	۰/۸۱۳	۰/۳۳۹
اکسید کلسیم	۰/۵۷	۲/۵۷	۰/۲۷۲	۳/۶۸
گرافیت	۱۵	۱۰	۱۵	۸

درصد) نسبت به بدنه آلومین-گرافیت نازل غوطه ور سالم (۹/۳۷ درصد) کاهش ضریب انبساط حرارتی و نهایتاً بهبود مقاومت به شوک حرارتی است، البته افزایش سیلیس مقاومت به سایش نازل را کم می کند ولی با توجه به اختلاف کم مقدار سیلیس در دو نمونه و خلوص تقریباً برابر آلومین و یکسان بودن میزان گرافیت در بدنه های آلومین-گرافیتی سالم و معیوب می توان گفت دو نمونه از نظر خواص اختلاف شاخصی ندارند. علاوه بر سیلیس، ناخالصی هایی چون TiO_2 ، Fe_2O_3 ، Na_2O ، CaO ، SO_3 ، K_2O نیز در ترکیب نمونه ها دیده می شوند، منشاء این مواد می تواند از ناخالصی های موجود در پودر آلومین مصرف شده و یا خاکستر و ناخالصی های موجود در گرافیت باشد. وجود این مواد ناخالص سبب کاهش نسوزندگی باند سرامیکی زمینه می شود. ترکیب و بافت سرامیکی زمینه با افزایش

همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود، ترکیب شیمیایی بدنه آلومین-گرافیت نازل های غوطه ور سالم و معیوب تقریباً یکسان است و گرافیت هر دو نمونه یکسان است. علاوه بر این در ترکیب هر دو نمونه مقداری سیلیس دیده می شود، معمولاً برای بهبود اتصال در مواد دیرگداز آلومین-گرافیتی، مقداری سیلیس، فلز سیلیسیم یا فروسیلیسیم به مخلوط اضافه می کنند به طوری که در هنگام پخت محصول یا کار در دماهای بالاتر از 1000°C به کاربید سیلیسیم، نیتريد سیلیسیم و یا اکسی نیتريد سیلیسیم تبدیل می شود که در استحکام باند مؤثر است. همچنین گاه از سیلیس ذوب شده برای پایداری در برابر تغییر دما استفاده می شود. سیلیس ذوب شده مقاوم به خوردگی بوده و ضریب انبساط حرارتی نسوز را کاهش می دهد. لذا علت افزایش سیلیس بالاتر در بدنه آلومین-گرافیت نازل غوطه ور معیوب (۱۱/۱۰)

باشد. نقش گرافیت در نسوز فوق بسیار مهم می باشد چرا که دو ترکیب اصلی یعنی زیرکونیا و گرافیت یک محافظت دو طرفه برای خویش ایجاد نموده اند، به طوری که گرافیت به خاطر خاصیت عدم ترشوندگی باعث پس زدن فلاکس و پودر قالب شده و حمله فلاکس ها به درون دانه های زیرکونیا را کاهش داده و در مقابل زیرکونیا مانع از انحلال گرافیت در فولاد می شود. به گونه ای که اگر یک نمونه زیرکونیا - گرافیت در تماس با فلاکس و مذاب فولاد قرار داده شود، در هر دو مورد حمله فلاکس و مذاب فولاد متوقف می شود. در فلاکس به دلیل عدم حلالیت گرافیت و در فولاد به دلیل عدم حلالیت زیرکونیا واکنشی صورت نمی گیرد. در مجموع می توان گفت، دانه های زیرکونیا یک هسته مقاوم به خوردگی ایجاد می کند. حال آن که گرافیت لایه ای مانع از تر شدن نسوز بوسیله سرباره و مذاب شده و به دلیل انتقال حرارت بالا سبب کاهش گرادیان های حرارتی شده و مقاومت در برابر شوکهای حرارتی را افزایش می دهد. نقش بسیار مهم گرافیت، اثر آن بر شوک پذیری نسوزهای آلومین- گرافیت و زیرکونیا - گرافیت است. دلایل اصلی استفاده از گرافیت در اینگونه نسوزها بهبود مقاومت در برابر شوکهای حرارتی ناشی از انبساط حرارتی کم و انتقال حرارت بسیار بالای گرافیت و مقاومت عالی به سرباره ناشی از عدم ترشوندگی گرافیت توسط سرباره است.

بنابراین با توجه به آنکه درصد گرافیت بدنه زیرکونیا گرافیتی نازل معیوب ۸ درصد و بدنه زیرکونیا گرافیتی نازل سالم ۱۰ درصد است می توان چنین نتیجه گیری نمود که بدنه زیرکونیا گرافیتی نازل معیوب از پایداری کمتری در مقابل شوک های حرارتی برخوردار است، این مسئله می تواند برای نازل در طی پیشگرم کردن اولیه مضر باشد و احتمال ترک برداشتن آن را تقویت نماید، بدیهی است وجود ترک در بدنه نازل حتی اگر ترک به صورت میکروسکوپی باشد می تواند باعث جذب اکسیژن هوا و سوختن گرافیت نازل شود. بدیهی است که با سوختن گرافیت، تخلخل در بین دانه های نسوز ایجاد می شود و عملاً فضای لازم برای نفوذ مذاب به درون بدنه نسوز و

اکسیدهای فوق العاده ریز چون ZrO_2 تقویت شده و تخلخل های آن کاهش می یابند. در نتیجه مقاومت به خوردگی افزایش می یابد. همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود وزن مخصوص و تخلخل بدنه های آلومین-گرافیتی و زیرکونیا-گرافیتی نمونه های سالم و معیوب تقریباً یکسان است و اختلاف چندانی بین آنها وجود ندارد. چرا که ترکیب هر دو تقریباً یکسان است و علت این تفاوت اندک نیز وجود سیلیس بیشتر در نمونه معیوب است، از آنجا که وزن مخصوص سیلیس کمتر از وزن مخصوص آلومین است لذا وزن مخصوص نمونه معیوب تا حدی کمتر و متقابلاً تخلخل آن بیشتر می باشد.

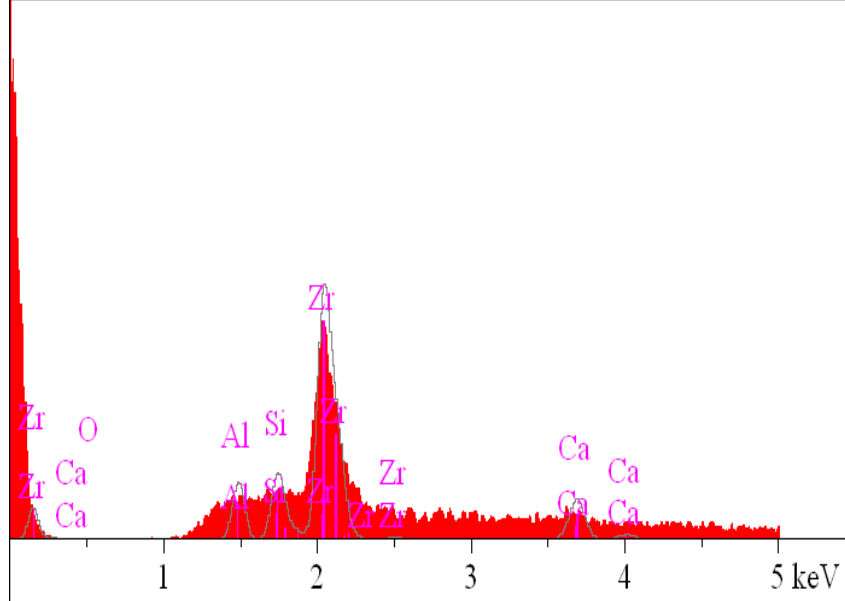
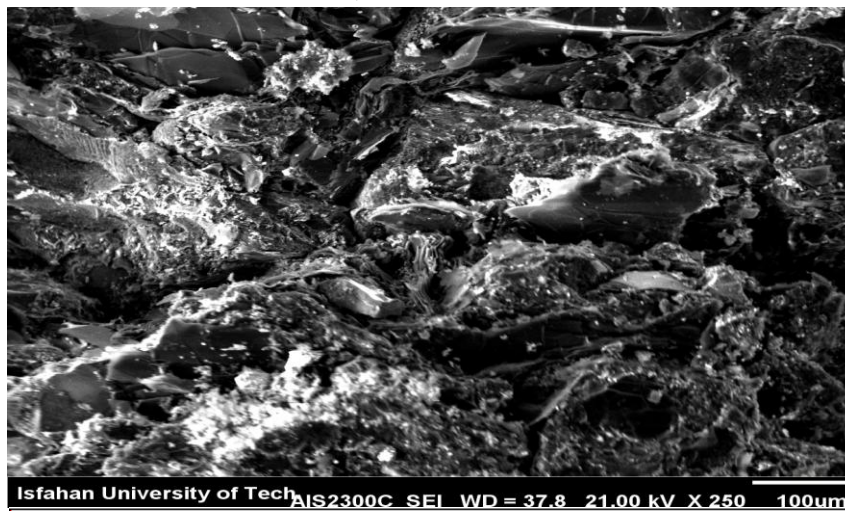
برعکس تفاوت قابل توجهی در وزن مخصوص و تخلخل بدنه های زیرکونیا-گرافیتی نمونه های سالم و معیوب وجود دارد چرا که نمونه سالم دارای ۴۸/۱۶ درصد زیرکونیا و نمونه معیوب دارای ۶۴/۱۵ درصد زیرکونیا است و زیرکونیا با داشتن وزن مخصوص بالا ($5/56 \text{cm}^3/\text{g}$) نسبت به سایر اکسیدهای سازنده نظیر سیلیس ($2/7 \text{cm}^3/\text{g}$) و آلومین ($3/70 \text{cm}^3/\text{g}$) عملاً باعث افزایش وزن مخصوص و کاهش تخلخل بدنه زیرکونیا گرافیتی معیوب شده است. عامل دیگر افزایش تخلخل در بدنه زیرکونیا-گرافیت نمونه های سالم، وجود گرافیت بیشتر در این بدنه است چرا که گرافیت دارای وزن مخصوص اندکی در مقایسه با سایر اکسیدها است. علاوه بر این سیلیس نمونه سالم ۱۹/۶۰ درصد و نمونه معیوب ۳/۰۹ درصد است، با توجه به این که وزن مخصوص سیلیس کمتر از وزن مخصوص زیرکونیا است لذا وزن مخصوص نمونه سالم کمتر و متقابلاً تخلخل آن بیشتر می باشد.

نتایج آزمون CF نشان داد که درصد گرافیت بدنه اصلی آلومین گرافیتی نازل ۱۵ درصد است که مطابق با میزان گرافیت نازل های سالم است در صورتیکه درصد گرافیت بدنه زیرکونیا-گرافیت در تماس با خط سرباره ۸ درصد می باشد که ۲ درصد کمتر از گرافیت بدنه زیرکونیا-گرافیت نازل های سالم می باشد. کمبود گرافیت در بدنه زیرکونیا-گرافیت معیوب می تواند اثر محسوسی بر روی خواص شیمیائی و مکانیکی نمونه داشته

۳-۲- ریز ساختار و فازهای موجود در نازل های سالم و معیوب

شکل ۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز EDS فازهای مشاهده شده در بدنه زیر کونیا گرافیت نازل غوطه ور سالم را نشان می دهد.

خوردگی و نهایتاً انهدام نازل فراهم می شود. لازم به ذکر است که گرافیت مانع از تر شدن نسوز توسط مذاب می شود و با سوختن آن مذاب به راحتی به درون بدنه نسوز شده و سبب تخریب می گردد [۱۷].

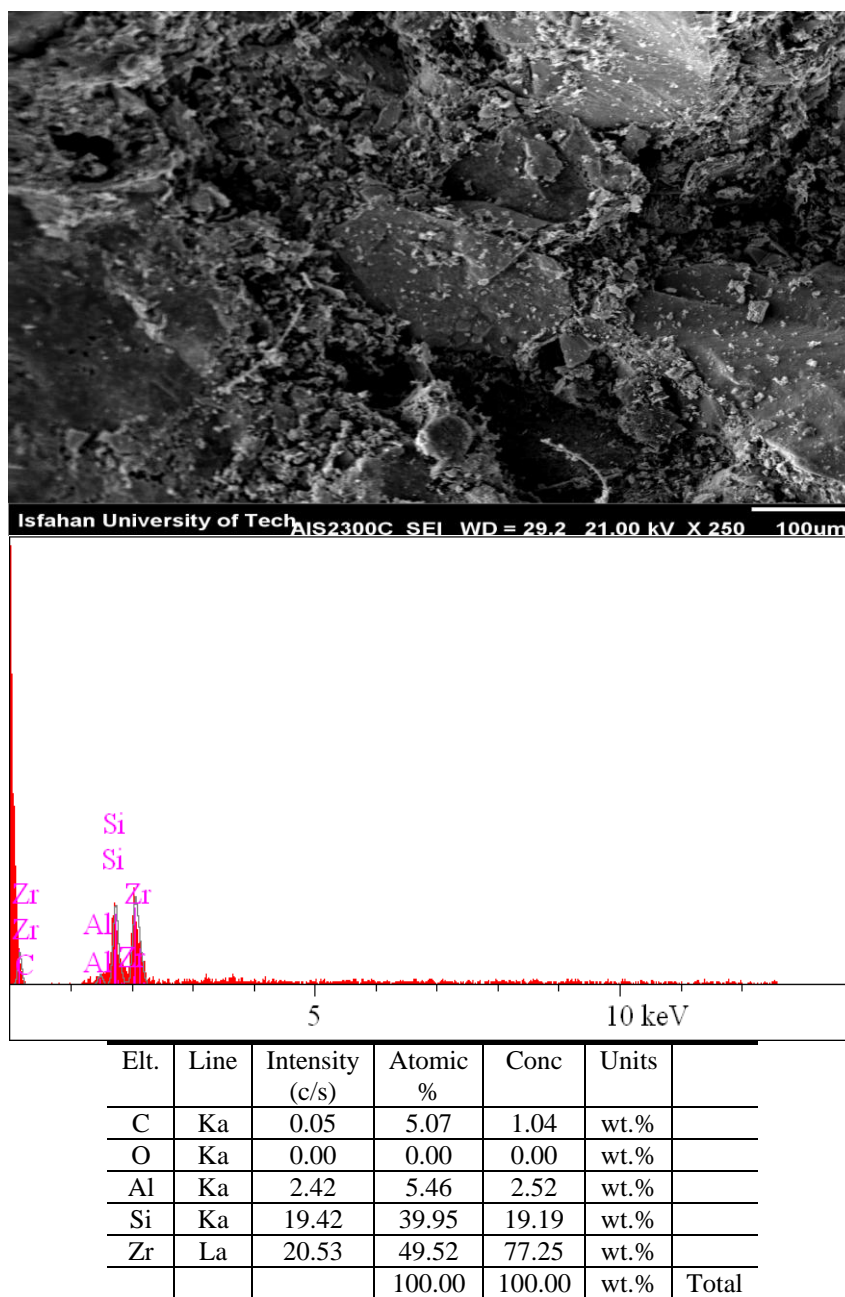


Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units
C	Ka	0.31	13.65	2.80	wt. %
O	Ka	0.05	0.94	0.26	wt. %
Al	Ka	10.18	12.36	5.69	wt. %
Si	Ka	11.19	12.49	5.98	wt. %
Ca	Ka	9.22	10.23	6.99	wt. %
Zr	La	45.48	50.33	78.29	wt. %
			100.00	100.00	wt. % Total

شکل (۴): تصویر تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز EDS فازهای مشاهده شده در بدنه زیر کونیا گرافیت نازل سالم

فمنل باشد بوجود آمده است، در هر حال دو گرافیت فوق در یکدیگر کاملاً ادغام شده و قابل تشخیص نمی باشند. علاوه بر این نمونه از فشردگی و انسجام مناسبی برخوردار است. شکل ۵ نیز تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز EDS فازهای مشاهده شده در بدنه زیرکونیا گرافیت نازل غوطه ور معیوب را نشان می دهد.

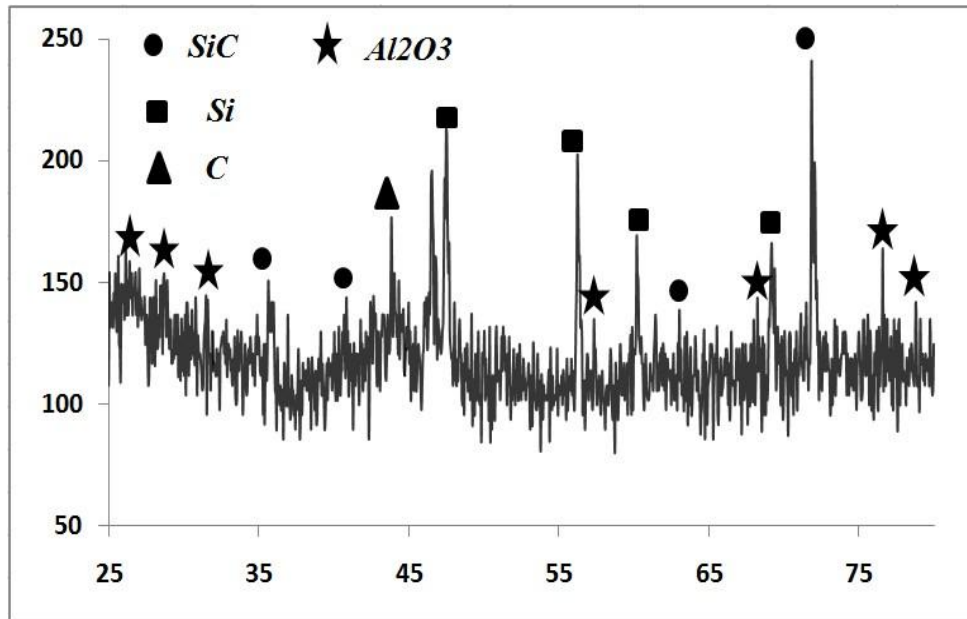
همانطور که مشاهده می شود ترکیبات اصلی شامل زیرکونیا، سیلیس، آلومین و آهک می باشد که با آنالیز XRF نمونه تطابق خوبی دارد. فازهای تیره و سیاه رنگ غنی از گرافیت می باشند، در واقع دو نوع گرافیت در زمینه وجود دارد یکی گرافیت حاصل از باندهای کربنی زمینه پیوسته و دیگری ذرات گرافیتی که سازنده به نمونه اضافه کرده است. گرافیت اولی در اثر پیرولیز و سپس گرافیت شده رزین مصرفی که باید از خانواده



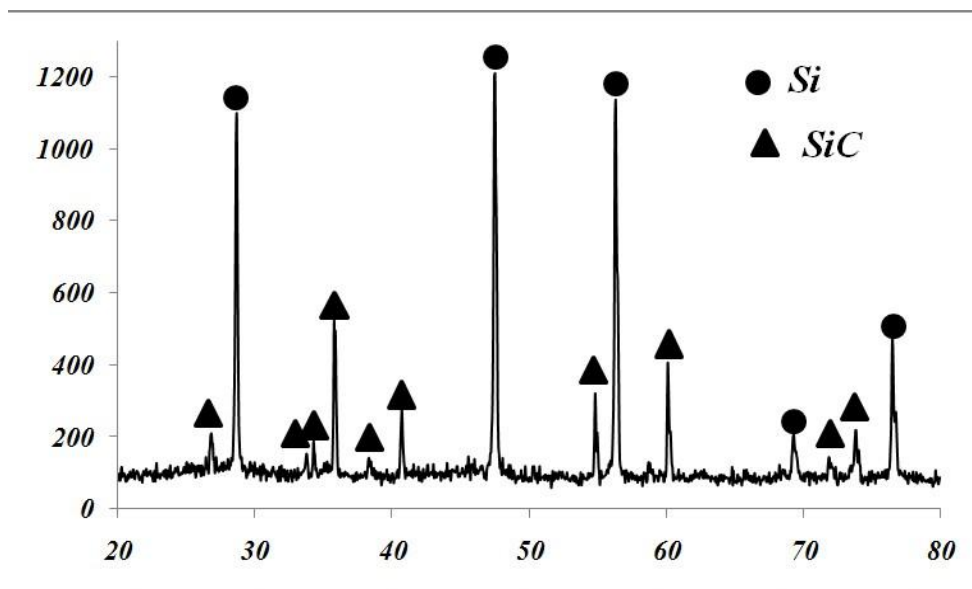
شکل (۵): تصویر تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز EDS فازهای مشاهده شده در بدنه زیرکونیا گرافیت نازل معیوب

ساختاری آمورف است و مواد سازنده آن از جنس کاربید سیلیسیم می باشد. علت انتخاب مواد فوق مقاومت به سایش عالی ترکیب پوشش است ولیکن پوشش نازل غوطه ور معیوب دارای ساختاری بلورین است (شکل ۷) و از نظر ترکیب شیمیایی مشابه با نازل سالم و از جنس کاربید سیلیسیم است.

فازهای سازنده این نمونه با توجه به آنالیز EDS انجام شده شامل فازهایی چون زیرکونیا، سیلیس و آلومین می باشد. لازم به ذکر است که آنالیز EDS نیمه کمی است و ممکن است با نتایج XRF تطابق کامل نداشته باشد. شکل ۶ و ۷ به ترتیب الگوی پراش پرتو ایکس پوشش نازل غوطه ور سالم و معیوب را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، پوشش نازل غوطه ور سالم دارای



شکل (۶): الگوی پراش اشعه ایکس پوشش نازل سالم



شکل (۷): الگوی پراش اشعه ایکس پوشش نازل معیوب

چسبندگی و پیوستگی بهتری به زیر لایه دارند و مانع از عبور هوا از نازل و اکسیداسیون گرافیت می شوند در صورتی که پوشش بلورین نمی تواند کاملاً از نفوذ هوا جلوگیری و در خلال پیشگرم و استفاده، کمک به اکسیداسیون و سوختن گرافیت نموده و با خروج گرافیت از بدنه، مذاب فولاد به درون نازل نفوذ کرده و منجر به تخریب آن می شود.

۴- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله تشکر و قدردانی خویش را از مدیریت و پرسنل محترم مجتمع فولاد مبارکه اصفهان خصوصاً شرکت فولاد سبا و آقای مهندس هراتیان کارشناس مرکز تحقیق و توسعه اعلام و برای ایشان آرزوی موفقیت و سربلندی دارند.

۵- مراجع

- [1] H. F. Schrewe, "Continuous Casting of Steel: Fundamental Principles and Practice", Verlag Stahleisen, Germany, 1987.
- [2] A. T. Peters, "Ferrous production metallurgy", John Wiley and Sons, New York, 1982.
- [3] S. J. Lee & S. Pohl, "Composite refractory components for advanced steel pouring applications", 39th Inter. Colloquium on Refractories, Stahl and Eisen, pp. 90-96, Aachen, 1996.
- [4] S. J. Lee, A. Krockner & K. B. Rietmann, "Developments of refractory components for submerged nozzle changer system", 37th Inter. Colloquium on Refractories, Stahl and Eisen, pp. 67-70, Aachen, 1994.
- [5] H. Shikano, M. Sakai & T. Kaneko, "Development of alumina graphite nozzle for continuous casting", Taikabutsu Overseas, Vol. 9, No. 2, pp. 3-10, 1989.
- [6] Y. Kanazuka, "Improvement of service life of ladle shroud", Taikabutsu Overseas, Vol. 11, No. 1, pp. 44-47, 1991.
- [7] M. R. Fishler, C. Dumazeau & H. Lax, "The development of a submerged nozzle for thin slab casting", 4th Inter. Conference on Continuous Casting, Brussels, Belgium, pp. 461-473, 1988.

در هر حال نباید فراموش کرد که وظیفه اصلی پوشش حفاظت از اکسیداسیون نازل می باشد و پوشش های آمورف از چسبندگی بالایی برخوردار هستند، لذا پوشش نازل غوطه ور سالم در عمل چسبیده تر و نفوذناپذیرتر از پوشش نازل غوطه ور معیوب است، بدیهی است خطر عبور اکسیژن هوا از پوشش نازل معیوب و اکسیداسیون گرافیت و نهایتاً نفوذ مذاب به درون نازل و خوردگی و شکست آن در نازل معیوب همواره وجود دارد و همین امر باعث کاهش عمر شدید نازل های معیوب است.

۳- نتیجه گیری

بر اساس پژوهش های انجام گرفته در این پروژه، عوامل زیر باعث خوردگی و تخریب نازل های غوطه ور معیوب موجود در شرکت فولاد سبا می گردد:

۱- میزان کم گرافیت (۸ درصد) و سیلیس (۳/۰۹) در ناحیه زیرکونیا گرافیتی نازل معیوب، شرکت سازنده به منظور بهبود مقاومت به سایش، استحکام بالاتر و جلوگیری از انسداد لایه آلومین در دهانه نازل، میزان گرافیت بدنه زیرکونیا را کمتر در نظر گرفته است که این امر منجر به کاهش مقاومت در مقابل شوک های حرارتی شده و خطر ترک برداشتن نازل در طی عملیات پیشگرم را افزایش می دهد، بدیهی است وجود ترک در بدنه نازل می تواند باعث اکسیداسیون و دگرپوره شدن نازل شود و از آنجا که ذرات زیرکونیا بوسیله باندهای کربنی به یکدیگر پیوند خورده اند، لذا اکسیداسیون گرافیت منجر به قطع باندهای کربنی شده و باعث از هم گسیختگی ساختار می شود. خروج کربن می تواند فضای لازم برای نفوذ مذاب و انحلال و خوردگی و نهایتاً شکست نازل را فراهم سازد.

۲- ناخالصی موجود در ترکیب بدنه زیرکونیا- گرافیت نازل غوطه ور معیوب، سبب کاهش نسوزندگی و تحمل حرارتی نازل شده و کمک به تشکیل ترکیبات زودگداز و سایش بدنه می کند.

۳- پوشش نازل غوطه ور معیوب دارای ساختاری بلورین است در حالی که پوشش باید آمورف باشد زیرا پوشش های آمورف

shock resistance of alumina-carbon refractories from their mechanical properties”, Taikabutsu Overseas, Vol. 5, No. 4, pp. 15-21, 1985.

[14] T. Kawakami, “Evaluating thermal shock resistance alumina-graphite nozzles”, Taikabutsu Overseas, Vol. 37, No. 12, pp. 756-759, 1991.

[15] A. J. Phillipps, “Thermal shock resistance of alumina graphite refractories for the continuous casting of steel”, UNITECR 95- Proceedings, Kyoto, Japan, 1995.

[16] S. Uchida, K. Ichikawa, A. Matsu & S. Miyoshi, “Fracture of Al_2O_3 -C submerged nozzle”, Taikabutsu Overseas, Vol. 10, No. 2, pp. 74-84, 1990.

[17] K. Mukai, J. M. Toguri, N. M. Stubina & J. Yoshitomi, “A Mechanism for the Local Corrosion of Immersion Nozzles”, ISIJ Intl, Vol. 29, No. 6, pp. 469-476, 1989.

[8] N. Tsukamoto, “Wear of nozzles for continuous casting”, Taikabutsu Overseas, Vol. 13, No. 4, pp. 55-61, 1993.

[9] DB. Hoggard, R. Morrison, HK. Park & S. Slasor, “O-zirconia and its refractory application”, Am. Ceram. Soc. Bull, Vol. 69, No.7, pp. 1163-1166, 1990.

[10] T. M. Bruton, C. F. Cooper & D. A. Croft, “Microstructure and performance of alumina graphite submerged pouring shrouds and tundish stoppers”, Am. Ceram. Soc. Bull, Vol. 60, pp. 709-712, 1981.

[۱۱] س. علیزاده، ا. منشی و ا. کرمان، " بررسی اثر استفاده مجزا و همزمان از پیونددهنده های فسفاتی، سیلیکاتی و بوراتی بر خواص فیزیکی و مکانیکی دیرگدازهای یکپارچه منیزیا-کربن"، مجله فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، دوره ۹، شماره ۴، ص ۲۲۳-۲۱۵، زمستان ۱۳۹۴.

[۱۲] س. س. سادات بیدگلی، ا. منشی و ر. عمادی، "بررسی اثر تری پلی فسفات سدیم، هگزامتافسفات سدیم، اسیدبوریکن و بوراکس بر خواص فیزیکی و استحکام دما پایین ضایعات فرآورده های منیزیایی"، مجله فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، دوره ۱۰، شماره ۱، ص ۱۱۴-۱۰۹، بهار ۱۳۹۵.

[13] T. Kawakami, K. Aratani, S. Hasegawa & T. Okamoto, “Fundamental approach for the thermal

۶- پی نوشت

- [1] ladle
- [2] shroud
- [3] stopper
- [4] submerged entry nozzle (SEN)