سمپوزیوم فولاد ۸۶
۳۰ بهمن و ۱ اسفندماه ۸۶
بندرعباس- منطقه ویژه صنایع معدنی و فلزی خلیج فارس
انجمن آهن و فولاد ایران
P.G.S.E.Z
منطقه ویژه صنایع معدنی
و فلزی خلیج فارس

تغییر طرح تیغه پارو دیسک‌های گندله سازی از کربن فرکس به سرامیک

محمد رضا شفیعی[۱]، حسن پایاب[۲]، داریوش خمیسی[۳]، خطیب‌الاسلام صدر نژاد[۴]
۱ و ۲ و ۳- شرکت فولاد خوزستان
۴- دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

در تولید فولاد به روش قوس الکتریکی، سنگ آهن آسیاب شده در دیسک‌ها به گندله خام تبدیل شده، گندله تولیدی وارد کوره پخت و سپس جهت احیاء، به واحد احیاء مستقیم ارسال می‌گردد و از آن جا بعنوان خوراک کوره های قوس الکتریکی به فولاد سازی فرستاده، پس از ذوب و پالایش مذاب جهت ریخته گری به واحدهای بلوم، بیلت و اسلب ارسال می‌گردد.

در گندله سازی شرکت فولاد خوزستان، از دیسک‌های بشقابی با زاویه ۴۵ درجه برای تولید گندله خام استفاده می‌شود، برای جلوگیری از چسبیدن مواد به کف و بدنه دیسک‌ها پنج ردیف پارو وجود دارد که برروی هر ردیف پنج قطعه کربن فرکس بعنوان تیغه نصب می‌گردد.

عمر مفید این تیغه ها حداکثر ۲۰ روز بوده است، این موضوع توقف دیسک‌ها، و افزایش حجم تعمیرات را بدنبال داشته، همچنین عامل تشکیل گندله با سایز نامناسب و چسبندگی مواد به بدنه و کف دیسک می‌باشد. در نتیجه اثر بسزایی در راندمان تولید گندله از نظر کمی و کیفی دارد، با بررسی و تحقیق بر روی خواص مختلف مواد جهت جایگزینی تیغه های کربن فرکس مواد مختلف از جمله: ورق‌های پوشش داده شده با کرم کارباید[۱]، تیغه های الماسه، سنگ گرانیت و سرامیک (اکسید آلومینیم) تست کاربردی به عمل آمد. با توجه به نتایج سرامیک بعنوان ماده تیغه پارو دیسک انتخاب شد.

[1] Wear Protection

مقدمه

برای تولید فولاد به روش قوس الکتریکی نیاز است، سنگ آهن آسیاب شده به همراه مواد افزودنی بنتونیت، آهک و لجن تولیدی در واحد مخلوط شده، به دیسک‌های بشقابی برای تولید گندله خام منتقل، سپس در کوره پخت گندله سازی پخته شده و ناخالصی های آن تصفیه گردد.

برای حذف اکسیژن موجود در اکسید آهن به واحد احیاء منتقل طی فرآیند احیایی اکسیژن جدا و آهن اسفنجی به همراه حداقل ۲ درصد کربن تولید می‌گردد.

آهن اسفنجی تولید به کوره های قوس الکتریکی منتقل و پس از ذوب و پالایش آماده ریخته گری جهت تولید شمشال، تختال و بیلت می‌گردند.

همان‌گونه که گفته شد خمیر مایع فولاد تولیدی با خواص فیزیکی و شیمیایی خوب و هزینه تمام شده کمتر تولید گندله با خواص فیزیکی و شیمیایی مناسب می‌باشد.

این مهم اتفاق نمی‌افتد مگر اینکه در دیسک‌های تولید گندله خام در واحدهای گندله سازی گندله با دانه بندی مناسب و ایدال تولید گردد.

دردیسک‌های بشقابی گندله سازی عوامل متعددی در تولید گندله موثر هستند که عبارتند از :

۱ - دانه بندی سنگ آهن ۲ - بنتونیت ۳ - آهک ۴ - میزان رطوبت

۵ - سرعت دوران دیسک ۶ - زاویه چرخش ۷ - محل ریزش مواد درون دیسک

۸ - عملکرد تیغه پارو دیسک‌ها

عوامل ۱ تا شماره ۴ توسط اپراتور و تکنسین‌های تولید قابل کنترل می‌باشند. عاملهای ۵ و۶ ثابت هستند و در ابتدایی طراحی کارخانه و نصب تجهیزات تنظیم می‌گردند، ولی در زمان تولید اگر نیاز به تغییر باشد در یک توقف تعمیراتی تغییرات لازم بر روی آنها صورت می‌گیرد.

عامل ۷ ثابت می‌باشد و در ابتدایی طراحی کارخانه و نصب تجهیزات تنظیم می‌گردند،

عامل هشتم یعنی تیغه پارو دیسک‌ها بدلیل بحث سایش و شکست بستگی کامل به جنس انتخابی تیغه ها دارد. در تیغه پارو دیسک ها دو نوع تماس سایشی وجود دارد، اول: سایش لبه تیغه پارو با کف دیسک دوم : سایش سطح تیغه با سنگ آهن و گندله های تولید شده در دیسک که توسط تیغه به جلو هدایت می‌شوند.

اگر جنس آنها با مقاومت به سایش مناسب انتخاب نشود، به دلیل سایش یا شکسته شدن لبه آنها کف دیسک خوب تراشیده نشده مواد انباشته شده وگندله با سایز نامناسب تولید می‌شود لذا گندله های تولید درشت یا ریز با شکل غیر کروی تولید می‌گردد. این عامل تأثیر مستقیم بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی گندله در زمان پخت آن می‌گذارد.

با توجه به کیفیت نامطلوب تیغه پارو دیسک‌ها که حداکثر دو هفته کار می‌کردند.

برای تعویض آنها نیاز به توقف دیسک ها می‌باشد، به علاوه کف تراشی و برداشتن مواد چسبیده به کف دیسک زمان زیادی را بخود اختصاص می‌دهد.

بر این اساس و به جهت حذف عوامل تأثیر گذار در روند آماده بکاری دیسک‌ها و بهبود شرایط تولید گندله با سایز مناسب پروژه تحقیقاتی جهت بهینه سازی تیغه پارو دیسک‌ها تعریف گردید.

روش تحقیق

شرکت فولاد خوزستان دارای دو واحد گندله سازی می‌باشد که هر واحد جهت تولید ۲/۵۰۰/۰۰ تن گندله درسال طراحی شده است.

گندله خام هر واحد توسط ۵ دستگاه دیسک بشقابی تأمین می‌گردد. بر روی هر دیسک تعداد ۵ ردیف پارو و بر روی هر پارو تعداد ۵ تیغه جهت کف تراشی و جلو گیری از چسبندگی بیش از حد به کف دیسک‌ها تعبیه شده است. برای تراش بدنه دیسک نیز از دو عدد دفلکتور که همانند پارو دیسک‌ها بر روی هرکدام ۵ تیغه تعبیه شده است استفاده می‌شود.

در راستای بهبود جنس تیغه پارو و دفلکتور دیسک‌ها مواد مختلف فلزی و غیر فلزی مانند : تیغه های با ورق‌های پوشش داده شده با کروم کاربید، تیغه های فولادی با لبه الماسه، تیغه های با سنگ گرانیت، و تیغه های سرامیکی (اکسید آلومینیم) ساخته و بر روی دیسک‌های مختلف در گندله‌سازی ۱ و ۲ نصب گردیدند. برای مقایسه بهبود شرایط کارکرد تیغه های جدید پارامترهای زیر انتخاب گردیده است ۰

۱ – عمر مفید تیغه مورد آزمایش به ازای زمان مفید کارکرد در دیسک‌های هر دو واحد.

۲ – هزینه اولیه تولید.

۳ – سهولت تولید و در دسترس بودن (بعبارت دیگر تولید صنعتی داشتن).

۴ – به کف و بدنه دیسک توسط تیغه ها آسیب رسانده نشود.

۵ – هزینه تمام شده هر تیغه به ازای ریال بر تن تولید.

تیغه های ساخته شده از ورق‌های پوششی کروم کاربید

این تیغه ها از ورق‌های ساخته شده اند که دارای سه لایه می‌باشند، هسته مرکزی آنها فولاد ساختمانی معمولی و دو طرف آنها با استفاده از فرآیند پوشش با جوش با آلیاژ کرم، مولیبیدن، بور پوشش داده می‌شود.

ورق‌های پوشش داده شده دارای فیلد زیاد از آلیاژهای مختلف می‌باشد، هر آلیاژ محدوده کاری مختلف دارد با اضافه شدن هر درصد به عناصر پوشش سطح کلیه شرایط پوشش سطح از جمله: مقاومت به سایش، ضربه پذیری و ... تغییر می کند.

پوشش سطوح می‌تواند در دو طرف یا یک طرف سطح مورد نظر باشد.

از مزایایی این ورق‌ها داشتن هسته ای با چقرمگی بالا (خاصیت چکش خواری خوب) و دو لایه در دو طرف با سختی سطح بسیار عالی در حد حداقل عدد 65 HRC می‌باشد. مقایسه کار کرد ورق‌های پوشش دار با سایر نمونه ها در جدول شماره (۱) آمده است.

مزایای تیغه با ورق‌ها پوششی کروم کاربید عبارتند از :

۱ - هیچ گونه خراشیدگی در کف دیسک ایجاد نمی کنند. ۲ - عمر مفید خوبی دارند.

معایب آنها عبارتند از:

۱ - برای سوراخکاری آنها از دستگاههای تراش معمولی نمی‌توان استفاده نمود.

۲ - برای برش نیاز به دستگاه برش لیزری یا جت آب دارد.

۳ - به دلیل اتصال با جوش این تیغه ها به پارو در مرحله بعد تعویض تیغه پاروها خراب و غیر قابل استفاده می گردد.

۴ - هزینه تولید بالایی دارند.

تیغه های ساخته شده از ورق‌های فولادی با لبه الماسه

این تیغه ها از ورق‌های فولادهای ساختمانی معمولی هستند، که به لبه آنها تیغه های الماسه ازجنس قلم‌های برش و تراش ماشین های ابزار با جوش اتصال داده می‌شود.

این تیغه ها با روش جوشکاری و با استفاده از الکترود خاص به لبه ورق‌های تهیه شده از فولاد ساختمانی معمولی اتصال داده می‌شوند. مقایسه کار کرد ورق‌های فولادی با لبه الماسه با سایر نمونه ها در جدول شماره (۱) آمده است.

مزایای تیغه با ورق‌ها فولادی با لبه الماسه عبارتند از:

۱ - عمر مفید خوبی دارند.

معایب آنها عبارتند از:

۱ - خراشیدگی در کف دیسک ایجاد می کنند.

۲ - هزینه تولید بالایی دارند.

تیغه های ساخته شده با سنگ گرانیت

سنگ گرانیت از نوع آذرین[۲] درونی اسیدی، سنگهای که در اعماق چند کیلومتری درون پوسته زمین تشکیل می‌شوند، سنگهای آذرین درونی[۳] نامیـــــده می‌شوند [۲].

گرانیت عمدتاً از کوارتز و فلدسپات درست شده و مقدار کمی‌هورنبلنـد در آن وجـود دارد. تـصاویر شماره ۱ و ۲ سنگ گرانیت که دارای کانیهای کوارتز، فلدسپات و بیوتیت می‌باشد را نشان می‌دهد.

با انتخاب سنگ کرانیت و سوراخکاری با مته الماسه و نـصب روی پـارو دیـسک در گندلـه سـازی ۲ نتایج جدول شماره (۱) حاصل گردید.

مزایای این تیغه های سنگ گرانیت عبارتند از :

۱ - ارزانی، فراوانی و در دسترس بودن

معایب آنها عبارتند از :

۱ - تردد و شکننده ۲- عمر مفید پایین

تیغه های ساخته شده با سرامیک (اکسید آلومینیم) [۷-۵]

اکسید آلومینیم از موادی است که بطور طبیعی در طبیعت وجود ندارد و طـی فرآینـد بـایر[۴] از مینـرال بوکسیت اسـتخراج مـی‌شـود. در ایـن فرآینـد هیدرواکـسید آلـومینیم بدسـت مـی‌آیـد کـه در اثـر عمـل کلسیناسیون به فازهای مختلف اکسید آلومینیم تبدیل می‌گردد. با حرارت دادن هیدرواکسید آلومینیم در دمای ۹۰۰ الی ۱۵۰۰ درجه سانتی گراد فازهای مختلف نظیر گاما و آلفا آلومینـا تـشکـــیل مـی‌شـود. در فرآیند ساخت سـرامیک ضـد سـایش جهـت کـسب مشخـصات مـورد نیـاز لازم اسـت از مـواد اولیـه بـا خصوصیات و پایداری لازم استفاده شود سپس افزودنیهای لازم با فرآیند آسیاب کاری به آلومینا اضافه گردد. بعد از شکل دهی قطعه در دمای ۱۶۰۰ تا ۱۶۵۰ درجه سانتی گراد عملیات زینتر انـــجام می‌شـود. برای بدست آوردن سرامیک با بدنه دارای خواص فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز از مـواد افزودنـی جهـت کنترل اندازه کریستالها و افزایش استحکام مکانیکی استفاده می‌شود. جدول شماره (۲) مشخصات فنـی سرامیک مورد استفاده را نشان می‌دهد.

با توجه به ابعاد تیغه پارو و دیفلکتور دیسک‌ها نقشه قالب موردنیاز طراحی و تیغه با مشخصات جدول شماره (۲) به روش پخت تهیه می‌گردد. مقایسه کار کرد سرامیک با سایر نمونه ها در جدول شماره (۱) آمده است.

مزایای این تیغه های ساخته شده با سرامیک (اکسید آلومینیم) عبارتند از:

---

[2] Igneous Rock
[3] - Plutonic
[4] - Bayer

۱ - ارزانی، فراوان و در دسترس بودن سریع

۲ - هیچ گونه خراشیدگی در کف دیسک ایجاد نمی‌کنند. ۳ - عمر مفید بسیارخوبی دارند. ۴ - با نصب یک لایه بلت در پشت تیغه سرامیکی بین تیغه و پارو ضربه پذیری بسیار خوبی دارد و در اثر برخورد سنگهای همراه سنگ آهن شکسته نمی‌شود.

معایب آنها عبارتند از :

با توجه به اینکه پروژه تحقیقاتی حاضر از نوع کاربردی و پایه می‌باشد، بعد از مطالعه اولیه بر روی مواد چهارگانه ذکر شده، پیگیری و مطالعه جهت منبع تامین آنها آغاز گردید و از هر جنس حداقل ۲۵ عدد در اندازه های ۲۰* ۱۰۰ * ۱۹۰ میلی متر از تیغه های پارو دیسک‌ها تهیه و بر روی یک دیسک مشخص نصب گردید. زمان کارکرد هر دیسک برای تیغه نصب شده رکورد گردید است .

نتایج و بحث

۱ - ورق‌های پوشش داده شده کرم کارباید

ورق‌های پوششی با استفاده از دو روش (الف) جوشکاری قوس الکتریکی با استفاده از سیم جوش توپودری (ب) جوشکاری با قوس پلاسما تولید می‌شود [۱].

این ورق‌ها دارای دو لایه می‌باشند و با نماد جمع دو ضخامت نشان داده می‌شوند. شکل شماره (۳)، لایه زیرین از فولادهای ساده کربنی که دارای چقرمگی بالایی هستند و لایه رومتناسب با میزان سختی مورد نیاز از ترکیب آلیاژهای کرم، بور، مولیبدن و ... که با نام کرم کاربید مشهورهستند ساخته می‌شوند .

در متالوژی تولید این ورق‌ها همانگونه که ذکر گردید ترکیب مواد به گونه ای انتخاب می‌شود که پس از ذوب در قوس الکتریکی و نشست بر روی ورق، ساختار میکروسکوپی فوق العاده سختی، به واسطه رسوب کاربیدهای اولیه و یوتکتیک در سطح ورق حاصل می گردد. شکل شماره (۴).

۲ - تیغه های ساخته شده با سرامیک (اکسید آلومینیم)

سرامیک های پیشرفته شامل کاربیدها، بوریدها، نیتراتها و اکسیدها هستند. این سرامیک ها به دلیل داشتن مقاومت سایشی و مقاومت به خوردگی بسیار خوب در دماهای بالا در ساخت قطعات موتور جت و توربین‌ها، همچنین گروهی به دلیل داشتن خواص فیزیکی بسیار مناسب در قطعات الکتریکی و الکترونیکی و.... مورد استفاده قرار می گیرند.

یکی از سرامیک های سخت اکسید کوراندم یا ($\alpha - AL_2O_3$) می‌باشد. مقاومت قابل توجه نسبت به ساییدگی، سایش و خوردگی دارد.

آلومینای گاما ($\gamma - AL_2O_3$) از طریق حرارت دادن ترکیب $AL(OH)_3/AL(OH)$ تا دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد به دست می‌آید. ($\gamma - AL_2O_3$) فاز نرمی‌بوده و برای تهیه ($\alpha - AL_2O_3$) باید این حرارت دهی تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد ادامه یابد آلومینا (AL_2O_3) به واسطه حرارت دادن آلومینا حاصل می‌شود. با افزایش درجه حرارت تا کمتر از ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد ساختارهای مختلفی از آلومینا (AL_2O_3) ظاهر می‌شود.

همان‌گونه که از جدول شماره (۱) نتایج استفاده از تیغه های پارو دیسک‌ها در گندله سازی شرکت فولاد خوزستان مشخص است، هزینه کل کارکرد برای هرتیغه شامل قیمت تمام شده تیغه ها، زمان کارکرد، هزینه تعویض و نصب ، هزینه پاکسازی می‌باشد [۴].

داده های ثبت شده از چهار نوع تیغه با مواد مختلف مورد استفاده در پارو دیسک‌ها می‌باشد، به علاوه تیغه های نوع اکسید آلومینیم نیز با ضخامت ۲ و ۴ سانتیمتر مورد استفاده قرار گرفتند، یکی از دلایل اختلاف زمانی عملکرد تیغه ها متفاوت بودن ضخامت آنها است. دلیل دیگر شکست تیغه های پارو دیسک‌ها اکسید آلومینیم وجود ضایعات فلزی و سنگ ریزه به همراه سنگ آهن ورودی به دیسک‌ها بود که با نصب بلتها لاستیکی این مشکل در نمونه های بعدی مرتفع گردید.

تیغه های پارو دیسک‌ها نوع ورق‌های پوشش دار کاربید کرم زمان کارکرد مناسب داشتند.اما فرآیند تعویض و نصب آنها بسیار پر هزینه زمان بر می‌باشد. تیغه های پارو دیسک‌ها از نوع تیغه های الماسه ماشین تراش به لحاظ زمانی دارای عمر مفید خوب هستند، ولی فرآیند تعویض و نصب آنها بسیار زمان بر بوده، به علاوه در کف دیسک ها خط می‌اندازند.

با توجه به موارد ذکر شده تیغه های پارو دیسک‌ها اکسید آلومینیم، به دلایل هزینه بسیار کمتر، سهولت تعویض و جایگزینی، میانگین عمر مفید بسیار خوبی و در کف و بدنه دیسک خط ایجاد نمی‌کنند، مورد تأیید از نظر بهره بردار قرار گرفته است.

اندازه گیری مقاومت سایشی نمونه های از اکسید آلومینیم و گرانیت

آلومینا یکی از سرامیکهای سخت می‌باشد، بنابراین تغییر شکل آن بسیار مشکل است، برای کاهش تخلخل و افزایش چگالی، لیف[5] به آن اضافه می‌کنند [۶-۵].

[5] -Lif

برای آزمون مقاومت به سایش دو نمونه آزمایشی از آلومینا و گرانیت با سطح مقطع سایشی تقریباً یکسان با تیغه الماسه که برای برشکاری سنگهای گرانیت و مواد سخت به کار می‌رود و به سنگ الماسه معروف است برش داده شد و برای آزمون سایش مورد استفاده قرار گرفت.

نمونه آلومینایی و گرانیتی با استفاده از یک دیسک سخت الماسی تحت آزمون سایش قرار گرفتند.

ابتدا نمونه ها وزن شده سپس در زمانهای مختلف از ۰/۵ دقیقه تا ۸ دقیقه تحت سایش قرار گرفتند، پس از هر ۰/۵ دقیقه تغییرات وزنی دو نمونه با ترازوی دقیق آزمایشگاهی تا چهار رقم اعشار ثبت شد.

برای این بازه زمانی تغییرات وزنی محاسبه و به صورت نمودار شماره (۱) رسم شده است. همان‌گونه که در نمودار مشخص است با افزایش زمان میزان سایش در هر دو نمونه افزایش می‌یابد اما در نمونه گرانیتی ۱۴ برابر بیشتر از نمونه آلومینایی است. نتایج بدست آمده از آزمایش سایش تحت بارهای مختلف ۱۰ و ۲۰ گیلوگرمی‌بیانگر آن است که در نمونه آلومینای تغییر وزن حاصل از سایش بسیار کوچک است ولی در نمونه گرانیتی در هر مرحله بارگذاری به میزان ۰/۱ گرم تغییر وزن مشاهده می‌شود. بنابراین نتیجه گیری می‌شود که نمونه آلومینایی بسیار سخت تر و مقاوم به سایش تر از نمونه گرانیتی است.

دانه بندی گندله پس از پخت [۳]

وضعیت گندله سازی از فروردین سال ۱۳۸۲ تا مرداد ماه ۱۳۸۴ در نمودار شماره (۲) نشان داده شده است. طی این مدت همان طور که در نمودار شماره (۲) نشان داده شده، دانه بندی گندله ها بهبود نسبی یافته است. علاوه بر پارامترهای بلین، درصد رطوبت و...، بهبود وضعیت کف تراشی دیسک‌ها ناشی از عملکرد خوب تیغه های پارو دیسک همانگونه که در مقدمه ذکر شد، می‌تواند به طور مستقیم عامل تأثیر گذار بر بهبود دانه بندی گندله تولید شده باشد.

چون طی مدت یاد شده از تیغه های پارودیسک با جنسهای مختلف استفاده می‌گردید سنجش و اندازه گیری بهبود دانه بندی در عملکرد تک تک نمونه ها امکان پذیر نبوده، اما در جمع عملکرد تیغه های جدید از نوع کربن فرکس قبلی خیلی بهتر بوده است.

تشکر و قدر دانی

بدینوسیله مراتب تشکر و سپاسگذاری خود را از کلیه همکاران بخصوص مدیر عامل محترم، معاون محترم بهره برداری، معاون محترم طرح وبرنامه، مدیر محترم بخش مواد اولیه، مدیر محترم تحقیقات و

فن‌آوری، رئیس محترم تحقیقات، مدیران محترم گندله سازی ۱ و ۲ وکلیه عزیزانی که در اجراء این پروژه ما را یاری نموده اند، اعلام می‌داریم.

مراجع

[1] WWW0VAUTID0DE/ENGLISH%20VERSION/PROD_HARTST0E0HTML.
[۲]" اطلس گزیده سنگهای ایران (از دیدگاه میکروسکوپی) "، شرکت فرآوردهای نسوز آذر، اصفهان، (۱۳۷۸).
[۳] " دفتر گزارش شیفت تولید اتاق کنترل گندله سازی ۱ و۲ "، شرکت فولاد خوزستان، (۱۳۸۲، ۱۳۸۳، ۱۳۸۴).
[۴]" دستورالعمل بهره برداری و تعمیرات دیسک‌های گندله سازی " شرکت فولاد خوزستان.
[5] WWW0TEKNIK0UU0SE/MATEERIAL/TRIBOMATERIALS/INDEX0HTML.
[6] WWW0SOLUTIONSINENGIGINEERING0COM.
[۷] " اطلاعات فنی ارائه شده توسط شرکت سرامیکهای صنعتی اردکان " سال (۱۳۸۳).

جدول ۱. زمان کارکرد و هزینه تمام شده چهار نمونه تیغه پارو دیسک‌های تست شده در گندله سازی.

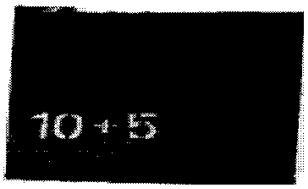
نوع تیغه پارو دیسک	شماره دیسک	گندله سازی	تاریخ شروع	تاریخ پایان	ساعت کارکرد	قیمت کل تیغه پارو دیسک	هزینه برای هر ساعت کارکرد
ورق پوششی کروم کارباید	۲۷	۲	۱۳۸۲/۹/۲	۱۳۸۴/۱/۱۶	۳۴۲۰	ریال ۲،۹۰۰،۰۰۰	ریال ۶،۸۴۰
اکسید آلومینیم (سرامیک)	۲۷	۲	۱۳۸۴/۳/۲۵	ادامه دارد دی ۱۳۸۴	۱۳۲۸	ریال ۵۱۰،۰۰۰	ریال ۳،۸۴۰
تیغه تاشه قلم برش (الماسه)	۲۶	۲	۱۳۸۲/۱۲/۶	۱۳۸۳/۶/۱۲	۲۹۵۲	ریال ۷۹۰،۰۰۰	ریال ۲،۶۸۰
اکسید آلومینیم (سرامیک)	۲۶	۲	۱۳۸۳/۷/۳۰	۱۳۸۴/۱/۷	۲۴۰۸	ریال ۵۱۰،۰۰۰	ریال ۲،۱۲۰
اکسید آلومینیم (سرامیک)	۲۸	۲	۱۳۸۳/۱/۷	ادامه دارد دی ۱۳۸۴	۲۶۲۴	ریال ۵۱۰،۰۰۰	ریال ۱،۹۴۰
اکسید آلومینیم (سرامیک)	۲۸	۲	۱۳۸۳/۷/۲۳	ادامه دارد دی ۱۳۸۴	۳۷۷۶	ریال ۵۱۰،۰۰۰	ریال ۱،۳۵۰
اکسید آلومینیم (سرامیک)	۲۹	۲	۱۳۸۳/۱/۲۷	۱۳۸۳/۲/۲۹	۴۴۰	ریال ۵۱۰،۰۰۰	ریال ۱۱،۵۶۰
اکسید آلومینیم (سرامیک)	۲۹	۲	۱۳۸۳/۴/۱۱	۱۳۸۴/۴/۲۶	۴۸۰۸	ریال ۵۱۰،۰۰۰	ریال ۱،۰۶۰
اکسید آلومینیم (سرامیک)	۳۰	۲	۱۳۸۳/۲/۶	۱۳۸۳/۴/۱	۷۲۸	ریال ۵۱۰،۰۰۰	ریال ۷،۰۰۰
اکسید آلومینیم (سرامیک)	۳۰	۲	۱۳۸۳/۸/۱۸	ادامه دارد دی ۱۳۸۴	۲۱۸۴	ریال ۵۱۰،۰۰۰	ریال ۲،۳۳۰
سنگ گرانیت	۳۰	۱	۱۳۸۳/۶/۴	۱۳۸۳/۷/۳۰	۵۸۴	ریال ۷۱۰،۰۰۰	ریال ۱۲،۵۱۰

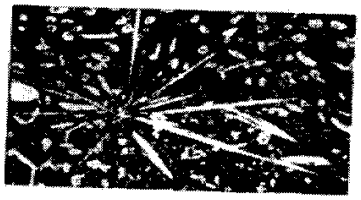
جدول ۲. مشخصات فیزیکی و شیمیایی تیغه اکسید آلومینیم تولیدی [۷].

مشخصات شیمیایی	مقدار
$AL_2O_3\%$	۹۲
Additives	۸
مشخصات فیزیکی	مقدار
Density (g/cm^2)	۳/۶۵
Porosity (%)	۰
Water Absorption (%)	۰
Bending Strength (kg/cm^2)	۲۵۰۰

شکل ۱. سنگ گرانیت کلار دشت مازندران دارای بلورهای کوارتز، پلاژیوکلازدر حد آلبیت،مقدار کمی‌ارتوز، آمفیبول و کانی اوپاک در بزرگ نمایی ۲۹ [۲].

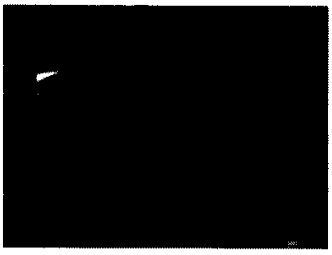
شکل ۲ - سنگ گرانیت کرمانشاه دارای بلورهای دانه درشت کوارتز، فلدسپات و بیوتیت در بزرگنمایی ۲۹ [۲].





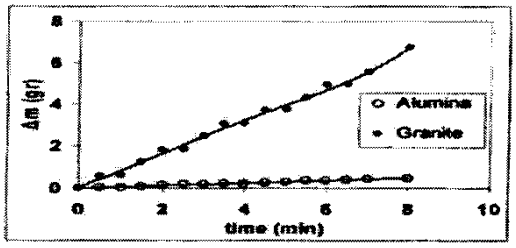
شکل ۳. نمایش ضخامت ورق مبنا (فولاد ساختمانی) و ضخامت پوشش سختکاری شده [۱].

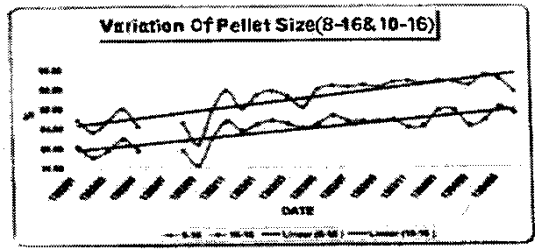
شکل ۴. ساختار میکروسکوپی رسوب کاربید [۱].



شکل ۵. پارو و تیغه های دیسک گندله سازی فولاد خوزستان [۴].

شکل ۶. پارو و تیغه های دیسک گندله سازی فولاد خوزستان [۴].





نمودار ۱. مقدار کاهش وزن نمونه های آلومینا و گرانیت در زمان‌های مختلف آزمون سایش با دیسکی از جنس الماسه که برای سنگ زنی مواد سخت و فوق سخت بکار می‌رود.

نمودار ۲. وضعیت دانه بندی و تغییر اندازه گندله های تولیدی در واحد گندله سازی ۲ شرکت فولاد خوزستان در فاصله سالهای ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۴.