



بررسی اثر توپوگرافی سطح چرخ سنگ آلومینیوم اکسید بر بارگذاری سطح سنگ با استفاده از روش پردازش تصویر

علیرضا شربتی^۱، محمدجعفر حداد^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک- ساخت و تولید، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان

۲- استادیار، گروه ساخت و تولید، دانشکده مکانیک، دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران

* تهران، صندوق پستی ۱۴۳۹۵۵۹۶۱، mjhaddad@ut.ac.ir

چکیده

بارگذاری چرخ‌سنگ، مستلزم انباشته شدن براده‌ها در بین دانه‌های ساینده و یا جوش خوردن براده‌ها به سطح بالایی دانه‌های ساینده است. یکی از عوامل کلیدی در ایجاد این پدیده، توپوگرافی سطح چرخ‌سنگ می‌باشد. بنابراین، در این پژوهش اثر درسینگ و توپوگرافی سطح چرخ‌سنگ بر روی بارگذاری بررسی می‌گردد. مشخص کردن بارگذاری چرخ‌سنگ یکی از مهم‌ترین موضوعات برای بهینه‌کردن فاصله بین فرایند درسینگ می‌باشد. بنابراین اگر بارگذاری به میزان زیاد بر روی چرخ‌سنگ مشاهده گردد، باعث توقف فرایند سنگ‌زنی در هنگام تولید قطعات می‌شود که این موجب افزایش زمان و هزینه تولید می‌گردد. یک روش براساس پردازش تصویر جهت مشخص کردن میزان بارگذاری سطح چرخ‌سنگ آلومینیوم‌اکساید با باند ویتریفاید با استفاده از نرم‌افزار متلب در این مقاله ارائه شده است. پس از جمع‌آوری داده‌ها از آزمایش‌های طرح‌ریزی و انجام شده، داده‌ها مورد تحلیل قرار گرفتند و اثر دو پارامتر مربوط به درسینگ یعنی عمق درسینگ و سرعت پیشروی درسینگ بر روی بارگذاری بررسی گردید و همچنین در هنگام فرایند سنگ‌زنی از روان‌کار- خنک‌کارهای مختلف استفاده گردید تا مقایسه‌ای نیز برای محیط‌های مختلف خنک‌کاری صورت گیرد. از سوی دیگر، باتوجه به نتایج تجربی، روابطی نیز استخراج گردید و مورد بحث قرار گرفته شده است. در ارتباط با شرایط درسینگ می‌توان گفت، هر چه درسینگ خشن‌تر صورت گیرد میزان بارگذاری چرخ‌سنگ کمتر می‌باشد.

کلید واژگان: سنگ‌زنی، توپوگرافی سطح چرخ سنگ، درسینگ، بارگذاری، پردازش تصویر

An investigation of the effect of grinding wheel surface topography on chip loading using image processing method

Alireza Sharbati¹, Mohammadjafar Hadad^{2*}

1- Department of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

2- School of Mechanical Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

* P.O.B. 1439955961, Tehran, Iran, mjhaddad@ut.ac.ir

ABSTRACT

In grinding process, separated chips may remain in porous spaces among abrasive grains or they are absorbed on abrasive grains. This phenomenon called grinding wheel loading. Some factors may cause this phenomenon, and thus accelerate its formation, so one of the key factors that surface topography is evaluated in this study, and the effects of surface topography and dressing is checked on loading. Measuring of loading is the most important to optimize the distance between the dressing process. If loading occurs too much on the grinding wheel, then the production of industrial parts stops because the grinding wheel must be clean from chips. When we have wheel loading, production time and cost increase. A method is used that based on image processing to determine loading in aluminum oxide grinding wheel, in this paper the toolbox of MATLAB is used for measuring. After collecting data from experiments, they were analyzed. The depth of dressing and dressing speed were investigated to influence the loading phenomenon. During the grinding process, four coolant-lubricants was used to compare the various cooling environments. According to experimental results, the formulations have been extracted and discussed. When course dressing is used for preparing grinding wheel, loading phenomena occurred less than finer dressing is used.

Keywords: Dressing, Grinding, Grinding wheel surface topography, Image processing, Loading.

ساینده آلومینا و سیلیکون کارباید، جهت ایجاد پروفیل دلخواه روی سطح چرخ‌سنگ استوانه‌ای، یک درسر در راستای شعاعی در چرخ‌سنگ نفوذ کرده و سپس با حرکت عرضی پروفیل مورد نظر روی چرخ‌سنگ ایجاد می‌شود. بنابراین با تغییر سه پارامتر عمق درسینگ، سرعت پیشروی درسر و زاویه حمله برای ابزار درس تک‌لبه، می‌توان توپوگرافی‌های مختلفی را ایجاد نمود [۴-۱].

در هنگام سنگ‌زنی برخی مواد، براده‌ها ممکن است در فضای بین دانه‌های ساینده قرارگیرند و یا به بالای دانه‌های برشی جوش بخورند، به این رخداد، بارگذاری چرخ‌سنگ گفته می‌شود. این پدیده، دانه‌های ساینده را کند

۱- مقدمه

در سنگ‌زنی، دانه‌های ساینده سطح چرخ‌سنگ به عنوان میکرولبه‌های برنده-ای عمل کرده که حین براده‌برداری با سطح قطعه‌کار درگیر می‌شوند. توزیع خاص این ذرات و مورفولوژی آن‌ها، توپوگرافی سطح چرخ‌سنگ را تشکیل می‌دهد [۲،۱]. به استثنای فرایند سنگ‌زنی برشی، قبل از انجام فرایند سنگ‌زنی شکل ماکروسکوپی چرخ سنگ ابتدا آماده می‌شود که این عملیات ممکن است در حین فرایند و جهت اصلاح شکل کلی چرخ سنگ نیز انجام گیرد. درسینگ جهت آماده‌سازی چرخ‌سنگ عبارت است از تیز کردن و شکل دادن به ذرات ساینده روی سطح چرخ‌سنگ. در چرخ‌سنگ‌های سنتی با ذرات برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایند:

Please cite this article using:

A. Sharbati, M. Hadad, An investigation of the effect of grinding wheel surface topography on chip loading using image processing method, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 323-331, 2015 (in Persian فارسی)

اندازه‌گیری سایش سطح چرخ‌سنگ توسعه داده‌اند [۱۳] و در پژوهشی دیگر، ساکاگوچی^۱ و همکارانش، سیستم اندازه‌گیری برای مشاهده توپوگرافی سطح چرخ‌سنگ ارائه داده‌اند [۱۴]. اما تاثیر توپوگرافی‌های مختلف بر روی بارگذاری سطح چرخ‌سنگ مورد بحث قرارنگرفته است و همچنین از سوی دیگر، بارگذاری بر روی چرخ‌سنگ پس از فرآیند سنگ‌زنی با روان‌کاری کمینه در پژوهش‌های قبلی مورد بررسی قرار نگرفته است.

در این پژوهش، روش پردازش تصویر با استفاده از تولباکس نرم‌افزار متلب^۲ مورد استفاده قرار گرفته است تا بتوان براده‌ها را بر روی سطح چرخ-سنگ آلومینیوم اکساید شناسایی کرد. مزیت اصلی این روش، سرعت بالای نرم‌افزار و عدم نیاز به امکانات پیچیده می‌باشد. پردازش یک تصویر با استفاده از نرم‌افزار متلب حدود ۰/۴ ثانیه زمان می‌برد که مدت زمان بسیار کم و مناسبی است [۱۵]. پس از پردازش تصویر، با توجه به نتایج بدست آمده، فرمول تجربی ارائه می‌گردد که بتواند با شرایط آزمایش‌ها، میزان بارگذاری چرخ‌سنگ را پس از فرآیند سنگ‌زنی به‌دست آورد.

۲- درسینگ

قبل از انجام فرآیند سنگ‌زنی می‌بایست آماده‌سازی چرخ‌سنگ شامل عملیات تروینگ و درسینگ بر روی چرخ‌سنگ صورت گیرد. درسینگ عبارت است از تیزکردن و شکل‌دادن به ذرات ساینده روی سطح چرخ‌سنگ. در چرخ‌سنگ‌های سنتی، مانند چرخ‌سنگ آلومینیوم اکساید، عملیات تروینگ و درسینگ شبیه به هم و در یک مرحله انجام می‌گیرد [۱]. ابزارهای درسینگ را می‌توان به دو گروه کلی، ابزار درس چرخشی و غیرچرخشی تقسیم نمود [۲]. در هر دو گروه، جنس ماده‌ی ابزار درسینگ از جنسی سخت‌تر از دانه‌های ساینده می‌باشد. بنابراین ابزار درس الماسه معمولاً جهت انجام فرآیند درسینگ چرخ‌سنگ آلومینیوم اکساید انتخاب می‌گردد.

در این پژوهش، یک درسر تک لبه جهت انجام فرآیند درسینگ انتخاب شده است و این درسر با نفوذ در راستای شعاعی به چرخ‌سنگ، به عبارتی عمق نفوذ a_d و سپس حرکت عرضی، پروفیل موردنظر را بر روی سطح چرخ-سنگ ایجاد می‌کند. گام درسینگ یعنی پیشروی درسر در راستای عرضی به ازای هر دور دوران چرخ‌سنگ که به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود [۱]:

$$s_d = \frac{\pi d_s v_d}{v_c} \quad (1)$$

به‌گونه‌ای که v_d سرعت پیشروی درسر، v_c سرعت خطی چرخ‌سنگ و d_s قطر چرخ‌سنگ است. همچنین معمولاً جهت ایجاد زاویه‌های مناسب بر روی دانه‌های ساینده، ابزار تک‌لبه با زاویه‌ای نسبت به محور عمودی، در تماس با چرخ‌سنگ قرار می‌گیرد. این زاویه به‌عنوان زاویه حمله (α_d) مطرح است و معمولاً بین اعداد ۱۰ تا ۱۵ درجه پیشنهاد می‌شود [۱] (شکل ۱). بنابراین به طوری که می‌توان گفت، ابزار درس تک لبه انتخاب شده برای این تحقیق، از طریق سه پارامتر قابل کنترل می‌باشد تا پروفایل موردنظر بر روی سطح چرخ‌سنگ ایجاد گردد. این پارامترها که شرایط درسینگ را تعیین می‌کنند شامل: عمق درسینگ a_d ، سرعت پیشروی درس v_d و زاویه حمله α_d می‌باشند.

۳- مشخصات مواد، تجهیزات و روش انجام آزمایش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها، نیاز به تجهیزات مناسب می‌باشد تا به کمک آن‌ها بتوان به هدف موردنظر دست یافت. هنگام انجام فرآیند سنگ‌زنی از ۴ محیط مختلف روان‌کار- خنک‌کار استفاده شده است تا تاثیر آن‌ها نیز بر روی

می‌کند که در نتیجه، سایش فراوان و ارتعاشات در فرآیند سنگ‌زنی رخ خواهد داد. همچنین این پدیده، نیروی برشی و درجه حرارت را افزایش و عمر چرخ‌سنگ را کاهش می‌دهد. این تغییرات، تاثیرات بسیاری بر فرآیند می‌گذارند. دو نوع تقسیم‌بندی کلی برای بارگذاری وجود دارد که بارگذاری چسبنده و بارگذاری پرکننده نام گرفته‌اند. در بارگذاری چسبنده، براده‌ها به سطح دانه‌های ساینده و باند می‌چسبند و بارگذاری پرکننده به‌معنی آن است که براده‌ها، کویتی و یا فضای خالی موجود در سطح چرخ‌سنگ را پر می‌کنند. تحقیقات بسیاری برای توضیح و بررسی مکانیزم بارگذاری انجام شده است که با توجه به آن‌ها می‌توان علت اصلی بارگذاری چرخ‌سنگ در سنگ‌زنی مواد داکتیل را چسبندگی بین دانه‌های فعال و براده‌ها بیان نمود [۱۵].

برای رسیدن به بهینه‌ترین شرایط درسینگ، نیاز به آن است که بتوان بارگذاری را بررسی و اندازه‌گیری نمود. بنابراین باید سطح چرخ‌سنگ پس از فرآیند پایش گردد. روش‌های مختلفی جهت پایش سطح چرخ‌سنگ وجود دارد که یکی از روش‌های قبلی، استفاده از پروب تماسی^۱ است. ساکاموتو^۲ و همکارانش از یک لیزر میکرومتری برای بررسی مستقیم چرخ‌سنگ استفاده کرده‌اند که این لیزر را بر روی هد دستگاه CNC سنگ تخت قرار داده بودند [۱۶]. پروفیل چرخ‌سنگ در هنگام سنگ‌زنی با پروفیل اولیه آن مقایسه می‌گردد تا میزان بارگذاری چرخ‌سنگ بدست آید. موکبل^۳ و مکسود^۴ از روش نشر یا نفوذ آکوستیک برای پایش‌کردن شرایط سطح چرخ‌سنگ استفاده کرده‌اند [۱۷]. یکی از مشکلات جدی این روش، حساسیت ذاتی سیستم‌های نشر آکوستیک می‌باشد. سرواستاو^۵ و همکارانش از روش اشعه ایکس برای اندازه‌گیری بارگذاری استفاده کرده‌اند [۱۸]. در این روش از انرژی بسیاری استفاده شده است تا بارگذاری سطح چرخ‌سنگ مورد ارزیابی قرار گیرد. کیم^۶ و آهن^۷ از جریان ادی و سنسورهای لیزری جهت اندازه‌گیری بارگذاری سطح چرخ‌سنگ و همچنین بررسی توپوگرافی سطح چرخ‌سنگ پس از فرآیند درسینگ استفاده کرده‌اند [۱۹]. مهمترین محدودیت روش‌های ذکر شده در بالا، هزینه‌های زیاد برای راه‌اندازی و نگهداری این امکانات و تجهیزات می‌باشد. روش‌های دیگری، مانند بازرسی شیمیایی، اسپکتروسکوپی (طیف بینی) و مغناطیسی نیز گزارش شده‌اند اما همه آن‌ها پروسه‌هایی زمان‌بر و با هزینه بسیار هستند [۱۰-۱۲]. امروزه، پروسه‌های بینایی‌ماشین و پردازش تصویر فواید بسیاری را برای صنایع تولیدی داشته است. از طرفی دیگر، به دلیل پیشرفت‌های سریع در عرصه تکنولوژی و رایانه، سرعت پردازش در پردازش-گرها روز به روز درحال افزایش می‌باشد و حضور رایانه‌ها را در صنایع بسیار مفید کرده‌است. در حیطه‌ی مهندسی ساخت و تولید از بینایی ماشین و پردازش تصویر برای پایش ابزار در پروسه‌های ماشین‌کاری، کنترل زبری سطح قطعه‌کار، بررسی سایش چرخ‌سنگ در عملیات سنگ‌زنی و موارد دیگر استفاده می‌گردد. روش پردازش تصویر دو مزیت، سرعت بالا در پردازش و هزینه کم را داراست. بنابراین این روش، در مقایسه با روش‌های دیگر بررسی سطح چرخ‌سنگ، بهتر بوده و در این پژوهش نیز از این روش کمک گرفته شده است. از سوی دیگر، با توجه به مقالات پیشین، امکان استفاده از این روش وجود دارد. برای مثال می‌توان به پژوهش لاجنس^۸ و همکارانش اشاره کرد که با کمک‌گیری از روش پردازش تصویر، یک سیستم خودکار را برای

1. touch-trigger probe
2. Sakamoto
3. Mokbel
4. Maksoud
5. Srivastava
6. Kim
7. Ahn
8. LaChance

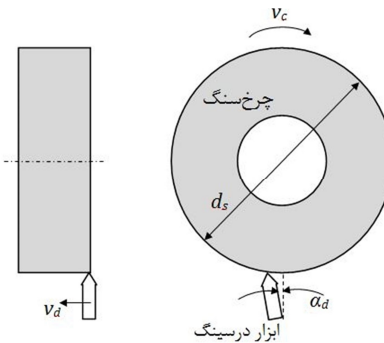
که چرخ‌سنگ استفاده شده در آزمایش‌ها دارای اندازه مش ۶۰ می‌باشد. بنابراین چرخ‌سنگ تهیه شده این امکان را می‌دهد تا با تغییر پارامترهای مختلف درسینگ، توپوگرافی موردنظر ایجاد گردد. در این تحقیق، دو پارامتر عمق درس ابزار تک لبه و سرعت پیشروی آن مقادیری به ترتیب ۳، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میکرون و ۱۲۰، ۳۵۰ و ۶۰۰ میلی‌متر بر دقیقه را داشته‌اند. بنابراین ۱۲ حالت مختلف برای توپوگرافی چرخ‌سنگ خواهیم داشت. این توپوگرافی‌های مختلف، در شکل ۲ مشاهده می‌شوند.

زمانی که درسینگ نرم انجام شود دانه‌ها با وجود ترد بودن تغییر شکل پلاستیک خواهند داشت و این تغییر شکل منجر به صاف شدن و عدم شکست نوک دانه‌های ساییده می‌گردد. هنگامی که درسینگ خشن انجام شود، تغییر شکل کمی در دانه‌ها رخ داده و به‌نظر می‌رسد دانه‌ها دچار شکست ترد می‌شوند و این شکست دانه‌ها منجر به تیزتر شدن سطح چرخ‌سنگ می‌شود. همچنین در درسینگ خشن دانه‌ها تیزتر و بیرون زده‌تر هستند.

ادیبی و همکاران در مطالعات خود، بارگذاری چرخ سنگ فوق ساییده از نوع CBN را مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها در این راستا برای اندازه‌گیری بارگذاری چرخ‌سنگ از پردازش تصویر استفاده کردند و با الگوریتمی خاص قسمت بارگذاری بر روی چرخ سنگ را به کمک نرم‌افزار از دانه‌های ساییده متمایز کردند و نیز در تحقیقی دیگر اثر جت سیال پرفشار جهت تمیز کردن چرخ سنگ را مورد بررسی قرار داده‌اند [۵، ۱۹، ۱۵].

با توجه به شکل ۳، پس از فرآیند سنگ‌زنی خشک براده‌ها به صورت جمع شده و به اصطلاح c شکل بر روی چرخ سنگ باقی مانده‌اند و در برخی از سطوح چرخ سنگ به‌صورت متمرکز و در جاهای دیگر به‌صورت پراکنده مشاهده می‌شود. زمانی که سنگ‌زنی به همراه سیال‌برشی معمولی انجام شده است، پس از فرآیند، براده کمتری بر روی چرخ‌سنگ باقی‌مانده است که این به دلیل فشار سیال برشی است و زمانی که به منطقه سنگ‌زنی وارد شده است، عمل تمیز کردن سطح چرخ‌سنگ را هم انجام داده است و یا سیال-برشی مانع از قرار گرفتن براده بر روی سطح چرخ‌سنگ و جوش خوردن آن به دانه‌ها شده است. از سوی دیگر، با مشاهده‌ی تصاویر گرفته شده از سطح چرخ‌سنگ پس از فرآیند سنگ‌زنی با روان‌کاری کمینه، تاثیر روغن قابل مشاهده است، ذرات ریز براده با روان‌کار کمینه ترکیب شده است و باعث کم شدن سرعت براده‌ها می‌گردد و در اطراف محیط ماشین‌کاری و قطعه کار باقی می‌مانند. درصدی از این ترکیب، به سطح چرخ‌سنگ چسبیده می‌شوند و به مرور زمان، بر توپوگرافی سطح چرخ‌سنگ تاثیر می‌گذارند. تصاویر مربوط به سنگ‌زنی با روان‌کاری کمینه همراه هوای فشرده با تصاویر مربوط به سنگ‌زنی با روان‌کاری کمینه همراه آرگون شباهت خاصی دارند اما همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان انباشت براده بر سطوح چرخ‌سنگ در حالت سنگ-زنی با روان‌کاری کمینه همراه آرگون بیشتر می‌باشد که می‌توان دلیل آن را سرعت انتشار بیشتر گاز آرگون نسبت به هوا و نیز ضریب انتقال حرارت مناسب گاز آرگون دانست.

جهت مشاهده‌ی بهتر سطح چرخ‌سنگ پس از فرآیند سنگ‌زنی، با استفاده از دوربین‌نوری، تصاویری با دو بزرگنمایی مختلف گرفته شده است. در شکل ۴ تصاویر سطح چرخ‌سنگ پس از فرآیند سنگ‌زنی برای دو آزمایش با شرایط درسینگ یکسان آورده شده است. دو تصویر بالا و پایین شکل ۴-الف)، مربوط به سنگ‌زنی با سیال برشی (آب صابون) می‌باشد که پیش از فرآیند سنگ‌زنی، چرخ‌سنگ با عمق درس سه میکرون و سرعت پیشروی ۱۲۰ میلی‌متر بر دقیقه آماده‌سازی شده است.



شکل ۱ درسینگ تک‌نقطه‌ای چرخ‌سنگ

بارگذاری درک گردد. روان‌کاری کمینه به دو صورت مورد استفاده قرار گرفته است، در یکی از این موارد، برای اینکه روغن به‌صورت اسپری به منطقه سنگ‌زنی برسد از هوای فشرده استفاده شده است و در نوع دیگر، از گاز آرگون به عنوان سیال حامل در روان‌کاری کمینه استفاده گردید.

سیستم روان‌کاری کمینه نیز به گونه‌ای آماده شده تا همانا تولید اسپری با روغن و گاز موردنظر به درستی صورت گیرد و با توجه به [۱۶-۱۸] بهترین پارامترها جهت تنظیم کردن فشارگاز ورودی و دبی ورودی روغن به سیستم روان‌کاری کمینه انتخاب شده است. شرایط ماشین‌کاری و فرآیند درسینگ در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که توضیح داده شد، برای ایجاد توپوگرافی موردنظر بر روی سطح چرخ‌سنگ می‌توان مقادیر مختلفی را برای پارامترهای درسینگ در نظر گرفت. در این پژوهش، زاویه حمله در فرآیند درسینگ ثابت و برابر مقدار ده درجه انتخاب گردید و برای دو پارامتر عمق درسینگ و سرعت پیشروی درس مقادیر مختلفی در نظر گرفته شد. بنابراین ۴۸ آزمایش برنامه‌ریزی و انجام شده است که سطوح تغییرات در بین آزمایش‌ها در جدول ۲ آورده شده است. جهت مشاهده و بررسی سطح چرخ-سنگ قبل و پس از فرآیند سنگ‌زنی از دوربین میکروسکوپی با نام دیجی-میکرو^۱ استفاده گردید. دوربین از طریق کابل به رایانه متصل می‌شود و اطلاعات و تصاویر را به‌صورت مستقیم بر روی نرم‌افزار خود در رایانه، به نمایش می‌گذارد. سنسور ثبت تصویر آن از نوع سیموس^۲ است و دارای ۲ میلیون نقطه‌ی قابلیت ثبت تصویر است (۱۶۰۰×۱۲۰۰ پیکسل). حداکثر بزرگ‌نمایی این دوربین نیز ۲۰۰ برابر می‌باشد که قابلیت مشاهده سطوح را به خوبی به کاربر می‌دهد.

۴- تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش‌ها

سختی چرخ‌سنگ نشان دهنده میزان استحکام چسبیدن دانه‌های ساییده توسط چسب به یکدیگر است. چرخ‌سنگ استفاده شده در آزمایش‌ها دارای درجه سختی L است یعنی دارای سختی متوسط می‌باشد. ساختار یک سنگ (یا چگالی آن) را در کدگذاری سنگ‌ها با یک عدد از یک (چگال‌ترین) تا ۱۵ (کاملاً متخلخل) نشان می‌دهند. چرخ‌سنگ مورد استفاده دارای عدد ساختار ۵ می‌باشد که در نتیجه درصد وجود ذرات ساییده ۵۴ درصد خواهد بود. اندازه دانه‌های ساییده را با یک عدد که در قسمت دوم کدگذاری سنگ درج می‌شود، مشخص می‌کنند. این عدد در واقع اندازه روزنه‌های آخرین غربالی است که دانه‌ها از آن عبور کرده‌اند. اندازه دانه‌های یک سنگ سنباده معمولاً از ۱۰ (دانه‌های درشت و خشن) تا ۶۰۰ (دانه‌های خیلی ریز) تغییر می‌کند

1. DigiMicro 2.0 Scale
2. CMOS

$v_d = 600 \text{ mm/min}$	$v_d = 350 \text{ mm/min}$	$v_d = 120 \text{ mm/min}$	
			$a_d = 3 \mu\text{m}$
			$a_d = 15 \mu\text{m}$
			$a_d = 30 \mu\text{m}$
			$a_d = 45 \mu\text{m}$

شکل ۲ توپوگرافی سطح چرخ سنگ پس از فرآیند درسینگ (بزرگنمایی ۲۰۰ برابر)

MQL with Argon	MQL with air	Fluid (Wet)	Dry		
				$v_d = 120 \text{ mm/min}$	$a_d = 3 \mu\text{m}$
				$v_d = 350 \text{ mm/min}$	
				$v_d = 600 \text{ mm/min}$	$a_d = 15 \mu\text{m}$
				$v_d = 120 \text{ mm/min}$	
				$v_d = 350 \text{ mm/min}$	$a_d = 30 \mu\text{m}$
				$v_d = 600 \text{ mm/min}$	
				$v_d = 120 \text{ mm/min}$	$a_d = 45 \mu\text{m}$
				$v_d = 350 \text{ mm/min}$	
				$v_d = 600 \text{ mm/min}$	

شکل ۳ براده‌های چسبیده شده به سطح چرخ سنگ (بارگذاری) پس از فرآیند سنگ-زنی - بزرگنمایی ۲۰۰ برابر

جدول ۱ شرایط فرآیند سنگ زنی و درسینگ	
نوع فرآیند سنگ زنی	سنگ زنی تخت، موافق
چرخ سنگ	Al_2O_3 (AW60L5V28103): باند ویتریفاید، قطر چرخ سنگ: ۲۵۰ میلی-متر
ماشین ابزار	ماشین سنگ تخت MST-300-1000
سرعت سنگ (v_c)	$v_c = 26 \text{ m/s}$
سرعت پیشروی میز (v_f)	$v_f = 2500 \text{ mm/min}$
عمق برش (a_e)	$a_e = 5 \mu\text{m}$
محیط سنگ‌زنی	خشک، سیال‌برشی، روان‌کاری کمینه (مخلوط هوا و روغن)، روان‌کاری کمینه (مخلوط گاز آرگون و روغن)
سیال مصرفی در سنگ‌زنی با سیال‌برشی (آب صابون)	روغن حل شونده در آب با غلظت ۵٪
دبی سیال برشی	۱ lit/hr
نرخ جریان روغن در سنگ‌زنی با روانکاری کمینه	۱۵۰ ml/hr
فشار گاز در روان‌کاری کمینه	۴ bar
نوع روغن روان‌کاری کمینه	روغن گیاهی
ویسکوزیته روغن روان‌کاری کمینه (در ۲۰ درجه سانتی‌گراد)	۸۴cP
نوع گاز استفاده شده در روان‌کاری کمینه	هوا، آرگون
فاصله افقی نازل روان‌کاری کمینه تا خط عمود گذرنده از مرکز چرخ‌سنگ	۱۱۰ mm
جنس قطعه‌کار	فولاد St37 با سختی 3 ± 83 ، آکولبی 65 (mm×12 mm×58.15 mm)
ابزار تیز کردن سنگ	ابزار الماس تک لبه
عمق درسینگ چرخ سنگ (a_d)	$a_d = 3, 15, 30, 45 \mu\text{m}$
سرعت درسینگ (v_d)	$v_d = 120, 350, 600 \text{ mm/min}$
زاویه حمله ابزار درس (α_d)	$\alpha_d = 10^\circ$
تعداد پاس درسینگ	$n_{dt} = 3$

جدول ۲ سطوح مختلف استفاده شده برای سرعت پیشروی درس و عمق درس				
فاکتورهای اصلی	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	سطح چهارم
عمق درسینگ a_d (μm)	۳	۱۵	۳۰	۴۵
سرعت پیشروی درس v_d (mm/min)	۱۲۰	۳۵۰	۶۰۰	-

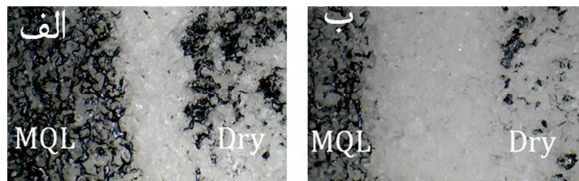
دو تصویر بالا و پایین شکل ۴- (ب)، مربوط به سنگ‌زنی با روان‌کاری کمینه (مخلوط روغن و هوای فشرده) می‌باشد که پیش از فرآیند سنگ‌زنی، چرخ‌سنگ با عمق درس سه میکرون و سرعت پیشروی ۱۲۰ میلی‌متر بر دقیقه درس شده است. همان‌طور که در تصاویر مشخص است، زمانی که سنگ‌زنی با سیال‌برشی (آب‌صابون) انجام شده است، مقدار چسبیدن براده به سطح چرخ‌سنگ کمتر و در حداقل مقدار در بین آزمایش‌ها می‌باشد. بنابراین سیال برشی (آب‌صابون) با دبی و فشار مناسب، عملکرد خود را مبنی بر خارج کردن براده‌ها از منطقه برشی به خوبی انجام داده است. از طرفی، وقتی روان‌کاری کمینه مورد استفاده قرار گرفته است، براده‌های جامد به همراه روغن به سطح چرخ‌سنگ چسبیده‌اند. در این شرایط درسینگ، که عمق درس و سرعت پیشروی درس مقادیر کمی را دارا هستند و درسینگ نرم می‌باشد، زیاد بودن تعداد لبه‌های برنده باعث افزایش چسبیدن براده‌ها به چرخ‌سنگ می‌شود.

چهار آزمایش برای پردازش تصویر انتخاب شده است. برای هر یک از سه محیط روان کار- خنک کار، پنج آزمایش انتخاب گردید و همچنین هر ردیف معین کننده‌ی یک آزمایش انتخاب شده می‌باشد.

در روش پردازش تصویر، الگوریتم‌ها و اقدامات مختلفی وجود دارد که با استفاده از آن‌ها می‌توان تصویر موردنظر را مورد بررسی و تحلیل قرار داد. برای این که بتوان درک بهتری از تصویرهای گرفته شده توسط دوربین نوری از سطح چرخ سنگ پس از فرآیند سنگ‌زنی به دست آورد، می‌بایست آن‌ها مورد پردازش و تحلیل قرار می‌گرفتند بنابراین یک سری مراحل و اقداماتی مورد نیاز می‌باشد. روند پردازش تصاویر گرفته شده پس از سنگ‌زنی از سطح چرخ سنگ آلومینیوم اکسید را می‌توان در دو مرحله دسته‌بندی نمود. این مراحل شامل: نرمال سازی تصویر و ناحیه‌بندی تصویر هستند، بنابراین با انجام این مراحل، میزان درصد بارگذاری چرخ سنگ بدست آمده است.

۵-۱- نرمال سازی تصویر

مرحله پیش پردازش که در اکثر پردازش‌های تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرد، عملیات نرمال سازی تصویر می‌باشد. نرمال سازی تصویر فرآیندی است که طیف وسیعی از مقادیر شدت پیکسل را تغییر می‌دهد تا بتوان به هدف

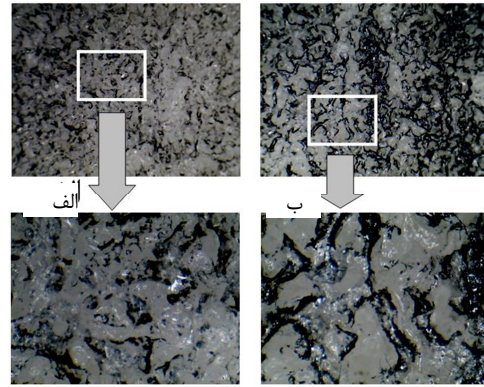


شکل ۵ بارگذاری سطح چرخ سنگ پس از فرآیندهای سنگ‌زنی خشک (Dry) و سنگ‌زنی با روان کاری کمینه- اسپری روغن با هوای فشرده (MQL): (الف) $a_f=45\mu\text{m}$ و (ب) $a_f=350\text{ mm/min}$ و $v_f=600\text{ mm/min}$ - بزرگنمایی ۱۰۰ برابر

جدول ۳ شرایط آزمایش‌های انتخاب شده برای پردازش تصویر

شرایط سنگ‌زنی	عمق درسینگ a_f (میکرون)	سرعت پیشروی درس v_f (میلیمتر بر دقیقه)
سنگ‌زنی خشک	۳	۶۰۰
سنگ‌زنی خشک	۱۵	۶۰۰
سنگ‌زنی خشک	۴۵	۱۲۰
سنگ‌زنی خشک	۴۵	۶۰۰
سنگ‌زنی با سیال برشی	۳	۱۲۰
سنگ‌زنی با سیال برشی	۱۵	۱۲۰
سنگ‌زنی با سیال برشی	۱۵	۶۰۰
سنگ‌زنی با سیال برشی	۴۵	۱۲۰
سنگ‌زنی با سیال برشی	۴۵	۶۰۰
سنگ‌زنی MQL- هوای فشرده	۳	۶۰۰
سنگ‌زنی MQL- هوای فشرده	۱۵	۱۲۰
سنگ‌زنی MQL- هوای فشرده	۱۵	۶۰۰
سنگ‌زنی MQL- هوای فشرده	۴۵	۱۲۰
سنگ‌زنی MQL- هوای فشرده	۴۵	۶۰۰
سنگ‌زنی MQL- گاز آرگون	۳	۶۰۰
سنگ‌زنی MQL- گاز آرگون	۱۵	۱۲۰
سنگ‌زنی MQL- گاز آرگون	۱۵	۶۰۰
سنگ‌زنی MQL- گاز آرگون	۴۵	۱۲۰
سنگ‌زنی MQL- گاز آرگون	۴۵	۶۰۰

1. Image Normalization



شکل ۴ بارگذاری چرخ سنگ: (الف) سنگ‌زنی با سیال برشی $a_f=3\mu\text{m}$, $v_f=120\text{ mm/min}$ (ب) سنگ‌زنی با روان کاری کمینه- اسپری روغن با هوای فشرده $a_f=3\mu\text{m}$, $v_f=120\text{ mm/min}$ - دو تصویر بالا با بزرگنمایی ۱۰۰ و تصاویر پایین با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر

از آن جایی که پهنای چرخ سنگ بیشتر از پهنای سنگ‌زنی می‌باشد، بنابراین در یک سمت پهنای چرخ سنگ یک آزمایش و در سمت دیگر آزمایش بعدی قابل انجام است. در شکل ۵ تصاویری با دوربین نوری قابل مشاهده است که سمت راست تصویر مربوط به سنگ‌زنی خشک و سمت چپ آن مربوط به سنگ‌زنی با روان کاری کمینه (مخلوط هوای فشرده و روغن) است. این تصاویر با بزرگنمایی ۱۰۰ گرفته شده است تا به طور همزمان بارگذاری چرخ سنگ در حالت سنگ‌زنی خشک و سنگ‌زنی با روان کاری کمینه و نیز توپوگرافی سطح چرخ سنگ پس از درسینگ قابل مشاهده باشد. تصویر (الف) از شکل ۵ مربوط به زمانی است که چرخ سنگ قبل از فرآیند سنگ‌زنی با عمق درس ۴۵ میکرون و سرعت پیشروی ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه آماده‌سازی شده است. تصویر (ب) از شکل ۵ نیز مربوط به زمانی است که چرخ سنگ پیش از فرآیند سنگ‌زنی با عمق درس ۴۵ میکرون و سرعت پیشروی ۶۰۰ میلی‌متر بر دقیقه آماده‌سازی شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شکل ۵ مربوط به شرایط درسینگ خشن می‌باشد که در نتیجه آن، دانه‌ها تیزتر هستند و سطح چرخ سنگ زبرتر می‌باشد. با توجه به این شرایط، انتظار می‌رود که در درسینگ‌های خشن میزان بارگذاری چرخ سنگ کاهش یابد که این حقیقت در شکل نیز قابل مشاهده است و در تصویر (ب) میزان براده‌ی چسبیده‌ی کمتری مشاهده می‌گردد. همچنین مشاهده می‌شود که پس از فرآیند سنگ‌زنی خشک، براده‌ها حالت نازک، درهم تنیده شده و پراکنده هستند.

۵- پردازش تصویر بارگذاری چرخ سنگ

آزمایش‌هایی برای بررسی دقیق پارامترهای درسینگ بر روی فرآیند سنگ‌زنی با روش روان کاری کمینه انجام گردید. نتایج حاصل از آزمایش‌ها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند، در آن آزمایش‌ها، سرعت پیشروی درسینگ مقادیر ۱۲۰، ۳۵۰ و ۶۰۰ میلی‌متر بر دقیقه و عمق درسینگ مقادیر ۳، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میکرون را داشتند و همچنین محیط‌های روان کار- خنک کار شامل: خشک، سیال برشی (آب صابون)، روان کاری کمینه با آرگون و روان کاری کمینه با هوای فشرده بودند. حال جهت کمی‌سازی میزان بارگذاری چرخ سنگ، از بین ۴۸ آزمایش انجام شده، برخی از آزمایش‌ها انتخاب گردید تا تصاویر حاصل از سطح چرخ سنگ آن‌ها پس از فرآیند سنگ‌زنی مورد پردازش قرار گیرد. شرایط آزمایش‌های انتخاب شده در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۳ مشخص می‌باشد، برای سنگ‌زنی خشک،

پردازش تصویر آورده شده است. شکل ۶- الف مربوط به عکس گرفته شده از سطح چرخسنگ با دوربین^۴ می‌باشد، شکل ۶- ب، تصویر سطح چرخسنگ پس از دی‌نویز کردن توسط نرم‌افزار آمده است و همچنین شکل ۶- ج، عکس باینری شده را نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است که سیستم نورپردازی در دوربین میکروسکوپی مورد استفاده از نوع تابش نور به صورت حلقه^۵ می‌باشد و منبع نور که به صورت دایره‌ای شکل در اطراف لنز دوربین قرار دارد از ۸ لامپ ال‌ای‌دی^۶ به رنگ سفید تشکیل شده است. نورپردازی حلقه اغلب در زمینه‌هایی مانند میکروسکوپی، تحقیقات پزشکی، عکس‌های مستند و موضوعات تحقیقاتی و بازرسی دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع منبع نور، زمانی که در فاصله مناسب باشد، باعث ایجاد روشنایی یکنواخت می‌گردد و همچنین با استفاده از این نوع منبع نور، سایه بسیار ناچیز و اندکی به وجود می‌آید [۲۳]. همچنین جهت تصویربرداری صحیح از سطح چرخسنگ، تنظیمات لازم بر روی دوربین قبل از عکس‌برداری انجام می‌گردد تا تصویربرداری در تمام آزمایش‌ها به صورت یکسان صورت گیرد.

۵-۳- نتایج پردازش تصویر

همان‌طور که بحث گردید، می‌توان با بدست آوردن تعداد پیکسل‌های لودشده، درصد بارگذاری چرخسنگ را به دست آورد. با توجه به رابطه $(100 \times \text{تعداد کل پیکسل‌ها} / \text{تعداد پیکسل‌های سیاه رنگ}) = \text{درصد بارگذاری سطح سنگ}$ می‌توان درصد بارگذاری چرخسنگ آلومینیوم اکساید را برای آزمایش‌ها به صورت کمی یافت. همان‌طور که در رابطه مشاهده می‌شود، در صورت کسر، تعداد پیکسل‌های سیاه استخراج شده از تصویر باینری شده به نمایندگی از قسمت‌های لود شده سطح چرخسنگ حضور دارد و در مخرج کسر تعداد کل پیکسل‌های هر تصویر قرار می‌گیرد که مجموع تعداد پیکسل‌های سیاه‌رنگ و سفیدرنگ در تصویر باینری شده می‌باشد.

پس از پردازش تمامی تصاویر انتخاب شده، درصد بارگذاری سطح چرخ-سنگ برای آن‌ها محاسبه گردید و از طریق کمی سازی نیز، همان نتایج بحث شده در بخش ۴ بدست آمد. به طور مثال بارگذاری برای سنگ‌زنی خشک و با عمق درس ۱۵ میکرون و سرعت پیشروی درس ۶۰۰ میلی‌متر بر دقیقه مقدار ۳۸/۶ درصد از طریق پردازش تصویر به دست آمده است. بنابراین می‌توان گفت در این نوع سنگ‌زنی براده‌ها به صورت پراکنده در سطح چرخ-سنگ حضور داشته‌اند و منطقه‌ای از سطح چرخسنگ که توسط براده پر شده است، براده‌های بعدی نیز در آن منطقه تمایل بیشتری به چسبندگی دارند که ناشی از متمایز شدن آن منطقه از دیگر مناطق چرخسنگ است.

زمانی که سنگ زنی به همراه سیال برشی (آب صابون) انجام شده است، بارگذاری برای این نوع سنگ‌زنی و با عمق درس ۱۵ میکرون و سرعت پیشروی درس ۶۰۰ میلی‌متر بر دقیقه مقدار ۲۱/۱ درصد بدست آمده است. بنابراین می‌توان گفت، پس از این فرآیند، براده کمتری بر روی چرخ سنگ باقی مانده است که این به دلیل فشار و دبی سیال برشی استفاده شده است و همچنین سیال برشی مانع از قرارگرفتن براده بر روی سطح چرخسنگ و جوش خوردن آن به دانه‌ها شده است. پس از پردازش تصاویر سطح چرخ-سنگ بعد از فرآیند سنگ‌زنی با روان‌کاری کمینه، تاثیر روغن بر بارگذاری قابل مشاهده است، ذرات ریز براده با روان‌کار کمینه ترکیب شده است و باعث کم شدن سرعت براده‌ها می‌گردد و در اطراف محیط ماشین‌کاری و

اصلاح ناپایداری‌ها و بی‌ثباتی‌ها دست پیدا کرد. برخی از تغییرات شدت در مقادیر پیکسل‌های یک تصویر ممکن است به دلیل نویز و نور بسیار زیاد باشد که به شرایط تصویربرداری مرتبط است و به جسمی که از آن تصویربرداری شده، مرتبط نمی‌باشد. تکنیک‌های بسیاری برای کاهش نویز پیکسل وجود دارد. محققان تعدادی از الگوریتم‌های کاهش نویز را معرفی کرده‌اند [۲۱، ۲۰]. از الگوریتم سانگ-دلپ^۱ در این تحقیق استفاده شده است. آن‌ها نویزهای کوچک را با الگوریتم خود حذف کرده‌اند. از سوی دیگر، این الگوریتم، اشکال پیچیده در یک تصویر را با استفاده از عناصر ساختار حفظ می‌کند [۲۱، ۲۲]. بنابراین در این پژوهش، از بین تصاویر گرفته شده برای یک آزمایش مورد نظر، تصویر مطلوب که دارای کیفیت مناسب می‌باشد انتخاب شد. سپس تصویر برگزیده شده به کمک نرم‌افزار متلب نرمالیزه شده است.

۵-۲- ناحیه‌بندی تصویر

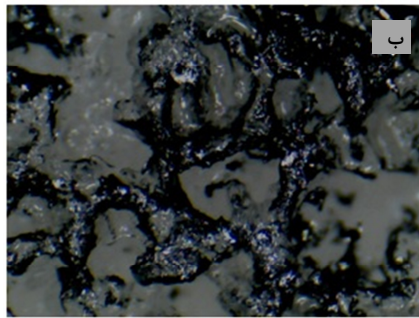
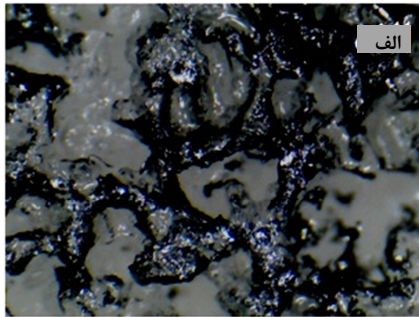
ناحیه‌بندی تصویر یک گام اساسی برای پردازش بسیاری از کاربردهای پردازش تصویر می‌باشد. الگوریتم‌های زیادی برای تقسیم‌بندی تصویر وجود دارد. برخی از آن‌ها یک تصویر را به صورت دستی ناحیه‌بندی می‌کنند، در حالی که برخی دیگر، به طور خودکار بخش‌بندی می‌کنند [۱۵]. بنابراین بخش‌هایی از تصویر که بارگذاری را نشان می‌دهند از قسمت‌هایی که دانه‌های چرخسنگ و باند چرخسنگ هستند می‌بایست متمایز گردند.

چرخسنگ استفاده شده از نوع آلومینیوم اکساید و دارای رنگ سفید بوده است بنابراین می‌توان قسمت‌هایی از چرخسنگ که بارگذاری نشده‌اند را در تصویر به رنگ سفید مشاهده نمود. از سوی دیگر، براده‌ها به رنگ مشکی و از جنس قطعه‌کار می‌باشند که به دلیل بارگذاری بر روی سطح چرخسنگ قرار گرفته‌اند. در نتیجه می‌توان بخش‌هایی که به رنگ مشکی هستند را به عنوان بخش‌هایی که بارگذاری رخ داده است در نظر گرفت. می‌توان گفت به دلیل رنگ چرخسنگ استفاده شده، تشخیص قسمت‌های بارگذاری توسط نرم‌افزار متلب راحت‌تر صورت می‌گیرد. اما لازم به ذکر است که دوربین تصاویر رنگی را از سطح چرخسنگ گرفته است پس باز هم باید روشی مدنظر قرار بگیرد تا پیکسل‌های تصویر تنها به دو رنگ سیاه یا سفید باشند.

چندین روش و الگوریتم برای جداسازی و تقسیم‌کردن تصویر موجود می‌باشد که هریک از روش‌ها دارای مزیت‌ها و شرایط خاص خود است. روش پرکاربرد برای ناحیه‌بندی تصویر^۲، روش حد آستانه^۳ می‌باشد. این روش بر مبنای مقدار آستانه، تصاویر سیاه و سفید (تصاویری با دو رنگ سیاه و سفید و ترکیب آن‌ها) را به تصاویر باینری تبدیل می‌کند. تصاویر باینری تصاویری هستند که تنها از دو رنگ سیاه و سفید در آن‌ها استفاده شده است و معمولاً در نرم‌افزار متلب، مقدار صفر برای رنگ سیاه و مقدار یک برای رنگ سفید در نظر گرفته می‌شود. بنابراین به کمک این روش، تصاویری که دی‌نویز شده بودند ابتدا سیاه و سفید و سپس به باینری تبدیل شده‌اند و پیکسل‌هایی که دارای مقدار صفر بودند، پیکسل‌هایی هستند که سیاه رنگ بوده و نشان-دهنده‌ی براده‌های چسبیده بر سطح چرخسنگ هستند. پیکسل‌های سفیدرنگ، پیکسل‌های معرف زمینه چرخسنگ یا همان دانه‌های ساینده و باند چرخسنگ هستند. بنابراین تعداد پیکسل‌های سیاه رنگ و سفید رنگ مشخص می‌گردد. در نتیجه با کمک‌گیری از این پردازش می‌توان تعداد پیکسل‌هایی از تصویر که نشان دهنده براده‌ی چسبیده شده است را بدست آورد. در شکل ۶، سه تصویر مربوط به یکی از آزمایش‌های بررسی شده توسط

4. DigiMicro 2.0 Scale
5. Ring illumination
6. light-emitting diode (LED)

1. Song-Delp algorithm
2. Image Segmentation
3. threshold technique



شکل ۶ پردازش تصویر، الف) تصویر اصلی گرفته شده توسط دوربین، ب) تصویر سطح چرخ سنگ پس از ۶۰ دقیقه نوپزینگ، ج) تصویر باینری شده توسط نرم افزار متلب، (سنگ زنی با روان کاری کمینه گاز آرگون، عمق درسینگ: ۱۵ میکرون و سرعت پیشروی درس: ۰.۰۰۰۰۰۰ میلیمتر بر دقیقه).

$$Not\ loaded = \frac{(L_{ic} + L_d(a_a S_a))}{\pi d_s b} \times 100 \quad (2)$$

در صورت رابطه (۲)، حاصل ضرب دو پارامتر درسینگ یعنی عمق درس a_a و گام درسینگ S_a مشاهده می شود که به همراه یک ضریب با نام L_d آمده است. ضریب L_d میزان تاثیر پارامترهای درسینگ را نشان می دهد. L_{ic} در صورت کسر رابطه (۲)، معرف و تعیین کننده ی میزان تاثیر محیط روان کار-خنک کار می باشد. این دو ضریب معرفی شده، ضرایبی هستند که در آزمایش ها با روان کار-خنک کارهای مختلف می توانند مقادیر متفاوتی را داشته باشند. مخرج کسر رابطه (۲) برابر است با مساحت قسمتی از سطح چرخ سنگ که در زمان سنگ زنی مورد استفاده قرار گرفته است که در آن، d_s قطر چرخ سنگ و b پهنای سنگ زنی می باشد. مقادیر L_{ic} و L_d می بایست با توجه به آزمایش ها و نتایج تجربی مشخص گردند. در این راستا از نرم افزار آماری مینی تب استفاده گردید تا مقادیر آنها بدست آیند. دو روش در نرم افزار مینی تب اتخاذ گردید که ابتدا این روش ها بحث می شود و مقادیری که این دو روش برای L_{ic} و L_d معرفی کرده اند در جدول آورده خواهد شد. در روش اول، تمامی داده های آزمایش ها که در جدول ۳ معرفی شده بودند

قطعه کار باقی می ماند. مقداری از این ترکیب، به سطح چرخ سنگ چسبیده می شوند و به مرور زمان، بر توپوگرافی سطح چرخ سنگ تاثیر می گذارند. بارگذاری برای سنگ زنی با روان کاری کمینه همراه با هوای فشرده و سنگ زنی با روان کاری کمینه همراه آرگون با عمق درس ۱۵ میکرون و سرعت پیشروی درس ۶۰۰ میلی متر بر دقیقه به ترتیب مقادیر ۳۱/۶ درصد و ۵۰/۵ درصد بدست آمده است این اختلاف به دلیل خاصیت گاز آرگون می باشد که یکی از خواص آن انتشار سریع در محیط است که در محیط کارگاه مشاهده گردید. این خاصیت، باعث می شود ذرات ریز روغن از ترکیب دوفازی آرگون و روغن زودتر جدا گردند و در منطقه سنگ زنی باقی بمانند. در ادامه رابطه ای برای بارگذاری بدست آورده می شود، سپس نتایج بارگذاری مربوط به شرایط مختلف درسینگ آورده خواهد شد و همچنین بین پردازش تصویر و فرمول تجربی مقایسه و بحث صورت خواهد گرفت.

۶- رابطه تجربی بارگذاری چرخ سنگ

وقتی دو سطح با هم در تماس قرار می گیرند، مواد بین دو سطح انتقال پیدا می کند که ناشی از قراگیری مرزها در تماس با یکدیگر است. برای این که بتوان رابطه ای برای بارگذاری چرخ سنگ به دست آورد می بایست پارامترهای موثر بر بارگذاری مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. با توجه به مطالعات قبلی [۵] مشخص می گردد که در مدل های تحلیلی، عواملی چون پارامترهای برشی، ساختار چرخ سنگ و خواص قطعه کار در نظر گرفته شده است که در نتیجه فرمول تحلیلی مناسبی برای بارگذاری چرخ سنگ بدست آمده است. در این پژوهش، سعی می شود که تاثیر مستقیم پارامترهای درسینگ بر بارگذاری چرخ سنگ آلومینیوم اکسید مورد بررسی قرار گیرد بنابراین دو پارامتر عمق درس و سرعت پیشروی درس به عنوان عوامل تاثیرگذار جهت بررسی بارگذاری انتخاب شده اند. با توجه به نتایج بحث شده در بخش قبل، مشخص می گردد که هرچه درسینگ خشن تر بر روی چرخ سنگ انجام گیرد میزان بارگذاری چرخ سنگ نیز کاهش می یابد که ناشی از کم شدن تعداد دانه های فعال است. بنابراین عمق درس و گام درسینگ با میزان بارگذاری چرخ سنگ رابطه عکس دارد و هرچه عمق درس و گام درس افزایش پیدا کند باعث می شود سطح چرخ سنگ خشن شده و براده ها کمتر بر سطح چرخ-سنگ می چسبند. از این سو، ابتدا برای بدست آوردن یک رابطه جهت تخمین مساحت سطحی از چرخ سنگ که براده به آن چسبیده است، تلاش می شود. همان طور که در بخش های قبل گفته شده است، شرایط سنگ زنی در آزمایش های صورت گرفته شامل سرعت برشی ۲۶ متر بر ثانیه و سرعت پیشروی ۲۵۰۰ میلی متر بر دقیقه بوده است. با توجه به این که مقادیر آنها در آزمایش ها ثابت بوده است، جهت استخراج رابطه تجربی برای بارگذاری سطح چرخ سنگ، این پارامترها در رابطه لحاظ نمی گردد. از سوی دیگر پارامتر سختی قطعه کار که بر میزان بارگذاری موثر می باشد نیز به دلیل ثابت بودن نوع قطعه کار استفاده شده در آزمایش ها، در رابطه تجربی لحاظ نمی گردد. بنابراین پارامترهای عمق درس و گام درس به عنوان پارامترهای مورد بررسی در رابطه تجربی لحاظ می گردد. همان طور که در فصل قبل مشاهده شد، هریک از محیط های روان کار-خنک کار تاثیر مختلفی بر بارگذاری سطح چرخ سنگ داشته اند، بنابراین ضریبی در رابطه تجربی برای محیط های روان کار-خنک کار باید در نظر گرفته شود. با استفاده از رابطه (۲) می توان درصدی از سطح چرخ سنگ که لود نشده است را بدست آورد و سپس با کم کردن درصد بدست آمده از رابطه (۲)، از مقدار صد درصد می توان میزان بارگذاری چرخ سنگ را به صورت درصد بدست آورد.

شده است مقدار ۱۰۰ درصد را از مقدار بدست آمده از رابطه (۲) کم می-کنیم. به عبارتی دیگر می‌توان درصد بارگذاری چرخ‌سنگ را به صورت رابطه (۳) بدست آورد:

$$\text{loaded} = 100\% - (\text{Not loaded}) \quad (3)$$

۷- مقایسه بین نتایج پردازش تصویر و رابطه تجربی

برای این‌که بتوانیم رابطه‌ای تجربی برای میزان بارگذاری چرخ‌سنگ پس از فرآیند سنگ‌زنی بدست آوریم، نیاز به آن است که تصاویر گرفته شده از سطح چرخ‌سنگ پس از فرآیند سنگ‌زنی مورد تحلیل قرار گیرد و قسمتی از سطح چرخ‌سنگ که لود شده است محاسبه گردد. از این‌رو، در بین روش‌های مختلف، روش پردازش تصویر انتخاب شد. پس از کمی‌سازی میزان بارگذاری چرخ‌سنگ در آزمایش‌ها، رابطه تجربی برای بارگذاری چرخ‌سنگ پیشنهاد شد که دو مقدار L_{ic} و L_{ld} در این رابطه تجربی با کمک‌گیری از نرم‌افزار مینی‌تب و دو روش مختلف بدست آورده شد. حال در این قسمت، نتایج بدست آمده از پردازش تصویر و رابطه تجربی تحلیل خواهد شد.

همان‌طور که در قسمت‌های قبل توضیح داده شد برای هر آزمایش سه مقدار بارگذاری به صورت درصد بدست آورده شده است. در جدول ۶ این سه مقدار به همراه شرایط درسینگ و محیط روان‌کار- خنک‌کار استفاده شده در آن آزمایش، آمده‌اند. اگر مقایسه‌ای بین انواع روان‌کار- خنک‌کار صورت گیرد، ملاحظه می‌گردد که بیشترین بارگذاری چرخ‌سنگ برای زمانی است که سنگ‌زنی با روان‌کاری کمینه (همراه با آرگون) انجام شده است و از سوی دیگر کمترین بارگذاری چرخ‌سنگ را سنگ‌زنی با سیال برشی دارا می‌باشد که به دلیل حضور پیوسته سیال برشی در منطقه سنگ‌زنی است. از طرفی، با خشن‌تر شدن سطح چرخ‌سنگ، میزان بارگذاری در همه‌ی روان‌کار- خنک‌کارها کاهش می‌یابد و این به دلیل آن است که با خشن‌تر شدن درسینگ، تعداد دانه‌های ساییده کم شده و میزان چسبندگی براده به آنها کمتر می‌گردد. اگر مقایسه‌ای بین مقدار بدست آمده از دو روش فرمول تجربی صورت گیرد، مشخص می‌گردد که اختلاف ناچیزی بین دو روش اتخاذ شده برای فرمول تجربی وجود دارد اما در روش دوم که هر روان‌کار- خنک‌کار به صورت مجزا توسط نرم‌افزار بررسی شده است، تنها در ۵ آزمایش، بیش از ۵ درصد با مقدار بدست آمده از پردازش تصویر اختلاف وجود دارد. درحالی‌که برای روش اول، که کل داده‌های ۱۹ آزمایش به نرم‌افزار داده شده است، در هشت آزمایش از آن‌ها، نتایج بین رابطه تجربی و پردازش تصویر بیش از ۵ درصد اختلاف دارند. بنابراین می‌توان هر دو روش را مناسب ارزیابی کرد و البته انتخاب هر یک از آن‌ها، بستگی به میزان خطای مورد نظر می‌باشد.

۸- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تاثیرات پارامترهای درسینگ بر روی میزان بارگذاری پس از سنگ‌زنی بررسی شد و بارگذاری چرخ‌سنگ به صورت کیفی و کمی مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین یک رابطه تجربی برای بارگذاری ارائه شد. مهمترین نتایج بدست آمده از این تحقیق را می‌توان بصورت زیر بیان کرد:

- ۱- بعد از سنگ‌زنی خشک براده‌ها به‌صورت جمع شده و به اصطلاح c شکل بر روی چرخ‌سنگ باقی مانده‌اند و در برخی از سطوح چرخ‌سنگ به صورت متمرکز و در جاهای دیگر به‌صورت پراکنده مشاهده می‌گردد. زمانی که سنگ‌زنی به همراه سیال‌برشی معمولی (آب‌صابون) انجام شده است، پس از فرآیند، براده کمتری بر روی چرخ‌سنگ باقی مانده است.

به نرم‌افزار مینی‌تب داده شد و همچنین خروجی‌های گرفته شده از پردازش تصویر نیز به‌عنوان جواب مسئله به سیستم اعمال شد. نرم‌افزار، رگرسیون موردنظر را با تنظیمات معین و مشخص انجام داد و مقادیر مناسب برای ضریب L_{ic} و L_{ld} معرفی نمود. این مقادیر در جدول ۴ آورده شده‌اند.

همان‌طور که از جدول ۴ مشخص است، نرم‌افزار برای محیط‌های روان‌کار- خنک‌کار مختلف مقدار L_{ld} را ثابت و برابر ارائه داده است. بنابراین با توجه به این روش، می‌توان از طریق رابطه (۲) و مقدار L_{ic} ، تاثیر روان‌کار-خنک‌کارهای مختلف را بر بارگذاری مشاهده نمود. در سنگ‌زنی با سیال‌برشی (آب‌صابون) کمترین بارگذاری مشاهده شده است و پس انتظار می‌رود که مقدار بدست آمده از رابطه (۲) برای محیط سیال‌برشی بیشترین باشد. چون مقدار L_{ld} در این روش برای محیط‌های مختلف یکسان است، در عمق درس و گام درس ثابت، می‌بایست L_{ic} بیشترین مقدار را دارا باشد تا این نوع سنگ‌زنی کمترین بارگذاری را داشته‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود L_{ic} بیشترین مقدار را داراست پس نتیجه موردنظر را خواهد داد. مقدار L_{ic} برای سنگ‌زنی با روان‌کاری کمینه همراه آرگون کمترین میزان را داراست، با توجه به کم بودن مقدار L_{ic} بنابراین مساحت سطح چرخ‌سنگ که براده به آن نچسبیده است کمتر می‌باشد و در نتیجه، بیشترین بارگذاری در این محیط روان‌کار- خنک‌کار رخ می‌دهد.

در روش دوم، هر بار تنها نتایج و داده‌های مربوط به آزمایش‌های یک روان‌کار- خنک‌کار معین، به نرم‌افزار داده شد و باتوجه به همان روان‌کار- خنک‌کار، مقادیر L_{ic} و L_{ld} توسط نرم‌افزار مینی‌تب ارائه گردید. مقادیر آن‌ها در جدول ۵ آورده شده است.

همان‌طور که از جدول ۵ مشخص است، نرم‌افزار جهت بدست‌آوردن کمترین انحراف از نتایج تجربی، مقادیر مختلفی را برای L_{ic} و L_{ld} ارائه داده است. به بیان دیگر می‌توان گفت، آزمایش‌ها با روان‌کار- خنک‌کار مختلف، جدا از هم بررسی شده‌اند و مقادیر بدست آمده برای L_{ic} و L_{ld} کمترین شباهت را دارا هستند. انتظار می‌رود با استفاده از این روش، نتایج بدست آمده از رابطه (۲) به نتایج تجربی نزدیک‌تر باشد. اما این روش به‌طور واضح قادر نیست تا تاثیر روان‌کار خنک‌کارهای مختلف را نشان دهد و می‌بایست حتماً مقادیر عمق درس، گام درس، L_{ic} و L_{ld} در رابطه (۲) قرار گیرند و نتیجه‌ی بدست آمده از رابطه (۲) بین شرایط مختلف روان‌کار- خنک‌کار مقایسه شود. بنابراین برای سنگ‌زنی تخت با سرعت برشی ۲۶ متر بر ثانیه و سرعت پیشروی ۲۵۰۰ میلی‌متر بر دقیقه و همچنین عمق سنگ‌زنی ۵ میکرون، رابطه‌ای تجربی بدست آورده شد که درصدی از سطح چرخ‌سنگ که براده به آن جوش نخورده است را به‌دست می‌آورد. برای یافتن درصدی از چرخ‌سنگ که لود

جدول ۴ مقادیر L_{ic} و L_{ld} در روش اول، برای محیط‌های روان‌کار- خنک‌کار مختلف

شرایط سنگ‌زنی	سنگ‌زنی خشک	سیال برشی	سنگ‌زنی با هوای -MQL	سنگ‌زنی با گاز -MQL
L_{ld}	۹۳۴۱۰	۹۳۴۱۰	۹۳۴۱۰	۹۳۴۱۰
L_{ic}	۵۹۹۶	۶۹۷۷	۶۲۵۷	۴۴۳۰

جدول ۵ مقادیر L_{ic} و L_{ld} در روش دوم، برای محیط‌های روان‌کار- خنک‌کار مختلف

شرایط سنگ‌زنی	سنگ‌زنی خشک	سیال برشی	سنگ‌زنی با هوای -MQL	سنگ‌زنی با گاز آرگون
L_{ld}	۸۶۶۶۹	۴۱۹۳۰	۸۴۵۶۷	۱۶۲۱۰۰
L_{ic}	۶۰۳۳	۷۲۰۳	۶۲۹۷	۴۱۱۹

Machining with Abrasives, 2nd edition, Industrial Press Inc, New York, USA, 2008.

[2] F. Klocke, *Manufacturing Processes 2: Grinding, Honing, Lapping*, RWTHeidtion, Springer, Berlin, Germany, 2009.

[3] I.D. Marinescu, M. Hitchiner, E. Uhlmann, W.B. Rowe, I. Inasaki, *Handbook of Machining with Grinding Wheels*, CRC Press, 2007.

[4] I.D. Marinescu, W.B. Rowe, B. Dimitrov, I. Inasaki, *Tribology of abrasive machining processes*, USA, William Andrew Inc., 2004.

[5] H. Adibi, S. M. Rezaei, Ahmed A. D. Sarhan, Analytical modeling of grinding wheel loading phenomena, *International Journal of Advanced Manufacturing*, Vol. 68, pp.473-485, (2013).

[6] H. Sakamoto, S. Shimizu, D. Kato, Evaluation of Loading Behavior of Grinding Wheel Based on Working Surface Topography, *Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, Vol. 64, No. 9, pp. 1320-1324, 1998.

[7] A. A. Mokbel, T. M. A. Maksoud, Monitoring of the Condition of Diamond Grinding Wheels Using Acoustic Emission Technique, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 101, No. 1-3, pp. 292-297, 2000.

[8] A. K. Srivastava, K. S. Ram, G. K. Lal, A New Technique for Evaluating Wheel Loading, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 25, pp. 33-38, 1985.

[9] S. H. Kim, J. H. Ahn, Decision of Dressing Interval and Depth by the Direct Measurement, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 88, pp. 190-194, 1999.

[10] H. Lauer-Schmaltz, W. Konig, Phenomenon of Wheel Loading Mechanisms in Grinding, *Ann. CIRP*, Vol. 29, pp. 201-206, 1980.

[11] D. A. Dornfeld, Y. Lee, A. Chang, Monitoring of Ultraprecision Machining Processes, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 21, pp. 571-578, 2003.

[12] W. Konig, H. Lauer-Schmaltz, Loading of the Wheel Phenomenon and Measurement, *Ann. CIRP*, Vol. 27, pp. 217-220, 1978.

[13] S. LaChance, A. Warkentin, R. Bauer, Development of an Automated System for Measuring Grinding Wheel Wear Flats, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 22, No. 2, pp. 130-135, 2003.

[14] A. Sakaguchi, T. Kawashita, S. Matsuo, Development of Three-Dimensional Measurement System of a Grinding Wheel Surface with Image Processing, *Advanced Materials Research*, Vol. 325, pp. 294-299, 2011.

[15] H. Adibi, S. M. Rezaei, Ahmed A. D. Sarhan, Grinding Wheel Loading Evaluation Using Digital Image Processing, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 136, 2014.

[16] M.J. Hadad, *Minimum Quantity Lubrication-MQL grinding process & investigation of surface quality*, Ph.D. Thesis, Manufacturing Engineering Division, School of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 2010. (In Persian)

[17] T. Tawakoli, M. J. Hadad, M. H. Sadeghi, A. Daneshi, S. Stöckert, A. Rasifard, An experimental investigation of the effects of workpiece and grinding parameters on minimum quantity lubrication-MQL grinding, *Int. J. of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 46, pp. 924-932, 2009.

[18] M. J. Hadad, M. Hadi, An investigation on surface grinding of hardened stainless steel S34700 and aluminum alloy AA6061 using minimum quantity of lubrication (MQL) technique, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 68, Issue 9-12, pp. 2145-2158, 2013.

[19] H. Adibi, S. M. Rezaei, Ahmed A. D. Sarhan, Investigation on using high-pressure fluid jet in grinding process for less wheel loaded areas, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 70, pp. 2233-2240, 2014.

[20] Y. Chen, W. Jin, L. Zhao, F. Li, A Subpixel Motion Estimation Algorithm Based on Digital Correlation for Illumination Variant and Noise Image Sequences, *Optik*, Vol. 120, pp. 835-844, 2009.

[21] J. Song, E. J. Delp, The Analysis of Morphological Filters With Multiple Structuring Elements, *Comput. Vis. Graph. Image Process.*, Vol. 50, pp. 308-328, 1990.

[22] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Third Edition, Pearson Education Inc, New Jersey, USA, 2008.

[23] C. G. Relf, *Image acquisition and processing with LabVIEW*, CRC Press LLC, USA, 2004.

۲- با مشاهده‌ی تصاویر گرفته شده از سطح چرخ سنگ پس از فرآیند سنگ زنی با روان کاری کمینه و همچنین مشاهدات پژوهشگران از منطقه ماشین کاری در هنگام آزمایش، تاثیر روغن قابل مشاهده است، ذرات ریز براده با روان کار کمینه ترکیب شده است و باعث کم شدن سرعت براده ها می گردد و در اطراف محیط ماشین کاری و قطعه کار باقی می ماند. بخشی از این ترکیب، به سطح چرخ سنگ چسبیده می شود و به مرور زمان، بر توپوگرافی سطح چرخ سنگ تاثیر می گذارند. تصاویر مربوط به سنگ زنی با روان کاری کمینه همراه هوای فشرده با تصاویر مربوط به سنگ زنی با روان کاری کمینه همراه آرگون شباهت خاصی دارند اما همان طور که مشاهده می شود میزان انباشت براده بر سطوح چرخ سنگ در حالت سنگ زنی با روان کاری کمینه همراه آرگون بیشتر می باشد، که می توان دلیل آن را سرعت انتشار بیشتر گاز آرگون نسبت به هوا و نیز ضریب انتقال حرارت مناسب گاز آرگون دانست. لازم بذکر است که یکی از ویژگی های گاز آرگون، پخش شدن سریع در فضای بسته می باشد که این پدیده در هنگام انجام آزمایش، توسط پژوهشگران مشاهده شده است.

۳- با خشن تر شدن سطح چرخ سنگ، دانه ها تیزتر و سطح چرخ سنگ زبرتر می گردد. بنابراین در درسینگ های خشن، میزان بارگذاری چرخ سنگ در همه ی روان کار- خنک کارها کاهش می یابد و میزان چسبندگی براده به چرخ سنگ کمتر می گردد.

جدول ۶ مقادیر بدست آمده برای بارگذاری چرخ سنگ در آزمایش های انتخاب شده

محیط های سنگ زنی	عمق درس (۵۱ میکرون)	سرعت پیشروی درس (۷۰ میلی متر بر دقیقه)	بارگذاری بدست آمده با پردازش تصویر (درصد)	بارگذاری بدست آمده با تجربی (درصد)	بارگذاری بدست آمده با روش اول - رابطه	بارگذاری بدست آمده با روش دوم - رابطه تجربی (درصد)
خشک	۳	۶۰۰	۳۳/۰۳	۳۵/۴	۳۵/۱۵	۳۵/۱۵
خشک	۱۵	۶۰۰	۳۸/۶	۳۱/۸	۳۱/۸۲	۳۱/۸۲
خشک	۴۵	۱۲۰	۳۰/۳	۳۳/۷	۳۳/۴۹	۳۳/۴۹
خشک	۴۵	۶۰۰	۲۲	۲۲/۹	۲۲/۴۸	۲۲/۴۸
سیال برشی	۳	۱۲۰	۳۰/۹	۲۵/۷۸	۲۳/۴۹	۲۳/۴۹
سیال برشی	۱۵	۱۲۰	۱۸/۸	۲۵	۲۳/۱۷	۲۳/۱۷
سیال برشی	۱۵	۶۰۰	۲۱/۱	۲۱/۴۷	۲۱/۵۵	۲۱/۵۵
سیال برشی	۴۵	۱۲۰	۱۸/۷	۲۳/۲۷	۲۲/۳۶	۲۲/۳۶
سیال برشی	۴۵	۶۰۰	۱۸/۶	۱۲/۴۹	۱۷/۵۲	۱۷/۵۲
MQL-هوای فشرده	۳	۶۰۰	۳۷/۹	۳۲/۱۷	۳۲/۳۷	۳۲/۳۷
MQL-هوای فشرده	۱۵	۱۲۰	۲۸/۳	۳۲/۷	۳۲/۳۷	۳۲/۳۷
MQL-هوای فشرده	۱۵	۶۰۰	۳۱/۶	۲۹/۱۲	۲۹/۱۲	۲۹/۱۲
MQL-هوای فشرده	۴۵	۱۲۰	۲۷	۳۰/۹۲	۳۰/۷۵	۳۰/۷۵
MQL-هوای فشرده	۴۵	۶۰۰	۲۰/۸۲	۲۰/۱۴	۲۰/۹۹	۲۰/۹۹
MQL-گاز آرگون	۳	۶۰۰	۶۰	۵۲/۰۹۳	۵۴/۷۴	۵۴/۷۴
MQL-گاز آرگون	۱۵	۱۲۰	۵۵	۵۲/۰۹	۵۴/۷۴	۵۴/۷۴
MQL-گاز آرگون	۱۵	۶۰۰	۵۰/۵	۴۸/۵	۴۸/۵	۴۸/۵
MQL-گاز آرگون	۴۵	۱۲۰	۴۳/۵	۵۰/۳	۵۱/۶۲	۵۱/۶۲
MQL-گاز آرگون	۴۵	۶۰۰	۳۳/۵	۳۹/۵۱	۳۲/۹۱	۳۲/۹۱

۹- منابع

[1] S. Malkin, C. Guo, *Grinding Technology: Theory and Applications of*