Archive of SID

مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹٤، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص ص ۳۲۳-۳۳۱

مجموعه مقالات کنفرانس ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ و ۱٤ آبان ۱۳۹٤

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

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 ۱۴۳۹۹۵۵۹۶۱، mjhadad@utac.ir

چکیده

بارگذاری چرخ‌سنگ، مستلزم انباشته شدن براده‌ها در بین دانه‌های ساینده و یا جوش‌خوردن 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. مشخص‌کردن بارگذاری چرخ‌سنگ یکی از مهم‌ترین موضوعات برای بهینه‌کردن فاصله بین فرآیند درسینگ می‌باشد. بنابراین اگر بارگذاری به میزان زیاد بر روی چرخ‌سنگ مشاهده گردد، باعث توقف فرآیند سنگ‌زنی در هنگام تولید قطعات می‌شود که این موجب افزایش زمان و هزینه تولید می‌گردد. یک روش براساس پردازش‌تصویر جهت مشخص‌کردن 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 فرآیند سنگ‌زنی از روان‌کار- خنک‌کارهای مختلف استفاده گردیده شد 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 Sharbati[1], 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, mjhadad@utac.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.

۱ مقدمه

در سنگ‌زنی، دانه‌های ساینده سطح چرخ‌سنگ به عنوان میکروابزارهای برنده‌ای 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 فرآیند سنگ زنی 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 ذرات‌ساینده روی سطح چرخ‌سنگ. در چرخ‌سنگ‌های سنتی با ذرات 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 [۱ ۴].

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

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

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)

www.SID.ir

Archive of SID

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 [۵].

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[1] است. ساکاموتو[2] 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 [۶]. پروفیل چرخ‌سنگ در هنگام سنگ‌زنی با پروفیل اولیه آن مقایسه می‌گردید تا میزان بارگذاری چرخ‌سنگ بدست آید. موکبل[3] و مکسود[4] از روش نشر یا نفوذ آکوستیک برای پایش‌کردن شرایط سطح چرخ‌سنگ استفاده کرده‌اند [۷]. یکی از مشکلات جدی این روش، حساسیت ذاتی سیستم‌های نشر آکوستیک می‌باشد. سریواستاوا[5] و همکارانش از روش اشعه ایکس برای اندازه‌گیری بارگذاری استفاده کرده‌اند [۸]. در این روش از انرژی بسیاری استفاده شده است تا بارگذاری سطح چرخ‌سنگ مورد ارزیابی قرار گیرد. کیم[6] و آهن[7] از جریان ادی و سنسورهای لیزری جهت اندازه‌گیری بارگذاری سطح چرخ‌سنگ و همچنین بررسی توپوگرافی سطح چرخ‌سنگ پس از فرایند درسینگ استفاده کرده‌اند [۹]. 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 زمان بر 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 پردازش‌گرها 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، باتوجه به مقالات پیشین، امکان استفاده از این روش وجود دارد. برای مثال می‌توان به پژوهش لاچنس[8] و همکارانش اشاره کرد که با کمک‌گیری از روش پردازش تصویر، یک سیستم خودکار را برای اندازه‌گیری سایش سطح چرخ‌سنگ توسعه داده‌اند [۱۳] و در پژوهشی دیگر، ساکاگوچی[9] و همکارانش، سیستم اندازه‌گیری برای مشاهده توپوگرافی سطح چرخ‌سنگ ارایه 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[10] مورد استفاده قرار گرفته است تا بتوان براده‌ها را بر روی سطح چرخ‌سنگ 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 پردازش‌تصویر، باتوجه به نتایج بدست آمده، فرمول تجربی ارایه 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 ترویینگ و درسینگ بر روی چرخ‌سنگ صورت گیرد. درسینگ عبارت است تیزکردن و شکل‌دادن به ذرات ساینده روی سطح چرخ سنگ. در چرخ‌سنگ‌های سنتی، مانند چرخ‌سنگ آلومینیوم اکساید، عملیات ترویینگ 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 چرخ‌سنگ 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 سرعت‌پیشروی درسر، v_c سرعت‌خطی چرخ‌سنگ و d_s قطر چرخ‌سنگ است. همچنین معمولاً جهت ایجاد زاویه‌های مناسب برروی 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 طورکلی 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، سرعت‌پیشروی درس v_d و زاویه حمله α_d می‌باشند.

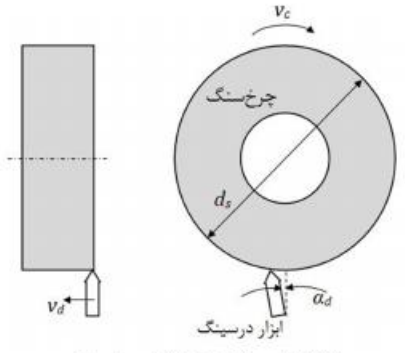
۳ مشخصات مواد، تجهیزات و روش انجام آزمایش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها، نیاز به تجهیزات مناسب می‌باشد تا به‌کمک 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

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

www.SID.ir

Archive of SID



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 روان‌کاری‌کمینه انتخاب شده است. شرایط ماشین‌کاری و فرآیند درسینگ در جدول۱ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که توضیح داده شد، برای ایجاد توپوگرافی موردنظر بر روی سطح چرخ‌سنگ می‌توان مقادیر مختلفی را برای پارامترهای درسینگ درنظر 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 درنظر 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[1] 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[2] است و دارای ۲میلیون نقطه‌ی قابلیت ثبت تصویر است (۱۲۰۰×۱۶۰۰ پیکسل). حداکثر بزرگ‌نمایی این دوربین نیز ۲۰۰ برابر می‌باشد که قابلیت مشاهده سطوح را به خوبی به کاربر می‌دهد.

٤ تجزیه وتحلیل نتایج آزمایش‌ها

سختی چرخ‌سنگ نشان دهنده میزان استحکام چسبیدن دانه‌های ساینده 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 ساینده ۵۴ درصد خواهد بود. اندازه دانه‌های ساینده 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 وخشن) تا ۶۰۰ (دانه های خیلی ریز) تغییر می‌کند 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 توپوگرافی‌چرخ‌سنگ خواهیم داشت. این توپوگرافی‌های مختلف، در شکل ۲ مشاهده می‌شوند.

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

ادیبی و همکاران در مطالعات خود، بارگذاری چرخ سنگ فوق ساینده 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 ساینده متمایز کردند و نیز در تحقیقی دیگر اثر جت سیال پرفشار جهت تمیز کردن چرخ سنگ را مورد بررسی قرار داده‌اند [۵، ۱۵،۱۹].

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 روان‌کاری‌کمینه 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 شکل۴ تصاویر سطح چرخ‌سنگ پس از فرآیند سنگ‌زنی برای دو آزمایش با شرایط درسینگ یکسان آورده شده است. دو تصویر بالا و پایین شکل۴ (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.

1. DigiMicro 2.0 Scale
2. CMOS

www.SID.ir

Archive of SID

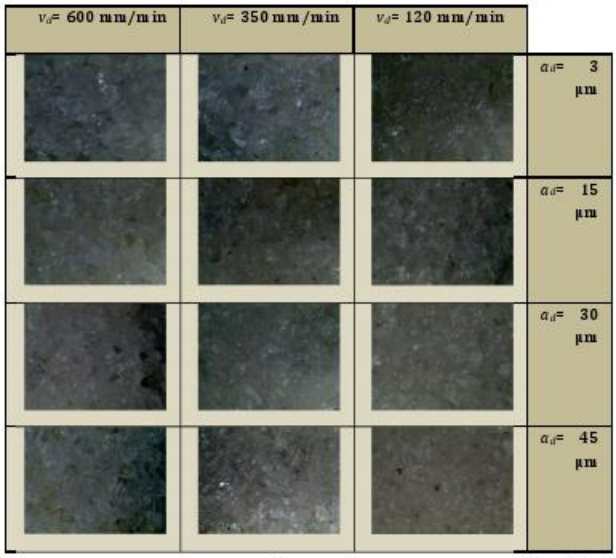
جدول ۱ شرایط فرآیند سنگ زنی و درسینگ

نوع فرآیند سنگ زنی	سنگ زنی تخت، موافق
چرخ سنگ	Al_2O_3 (AW60L5V28103): باند ویتریفاید، قطر چرخ سنگ: ۲۵۰میلی-متر
ماشین ابزار	ماشین سنگ تخت MST-300-1000
سرعت سنگ (v_c)	v_c = ۲۶m/s
سرعت پیشروی میز (v_f)	v_f = ۲۵۰۰ mm/min
عمق برش (a_e)	a_e = ۵ µm
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	۱۸lit/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 ۲۰درجه سانتی‌گراد)	۸۴cP
نوع گاز استفاده شده در روان‌کاری کمینه	هوا، آرگون
فاصله افقی نازل روان‌کاری کمینه تا خط عمود گذرنده از مرکز چرخ‌سنگ	۱۱۰mm
جنس قطعه‌کار	فولاد St37 با سختی ۸۳±۳ راکول‌بی (65 mm×12 mm×58.15 mm)
ابزار تیز کردن سنگ	ابزار الماس تک لبه
عمق درسینگ چرخ‌سنگ (a_d)	a_d= ۳، ۱۵، ۳۰، ۴۵ µm
سرعت درسینگ (v_d)	v_d= ۸۲، ۱۲۰، ۳۵۰، ۶۰۰ mm/min
زاویه حمله ابزار درس (α_d)	α_d= ۱۰°
تعداد پاس درسینگ	n_{dr}= ۳

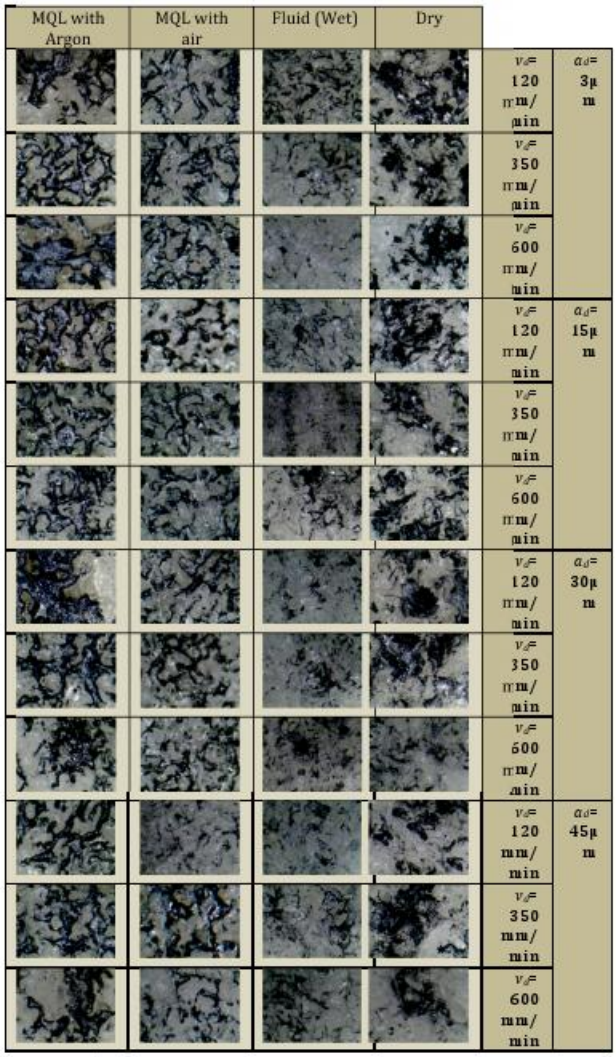
جدول ۲ سطوح مختلف استفاده شده برای سرعت پیشروی درس و عمق درس

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 شکل۴ (ب)، مربوط به سنگ‌زنی با روان‌کاری کمینه (مخلوط روغن و هوای‌فشرده) 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 مبنی‌بر خارج کردن براده‌ها از منطقه برشی به خوبی انجام داده است. از طرفی، وقتی روان-کاری‌کمینه 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.



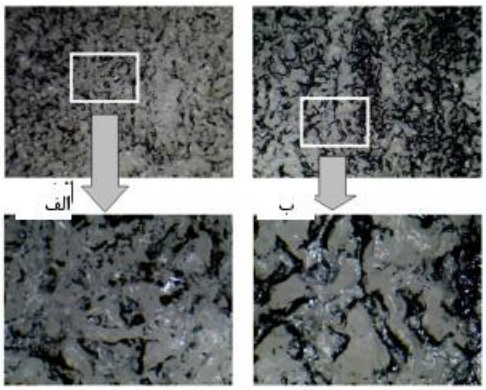
شکل ۲ توپوگرافی سطح چرخ سنگ پس از فرآیند درسینگ (بزرگ‌نمایی ۲۰۰ برابر)



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

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴ بارگذاری چرخ‌سنگ: (الف) سنگ‌زنی با سیال برشی (a_d= 3µm, v_d= 120 mm/min)، (ب) سنگ زنی با روان‌کاری کمینه- اسپری روغن با هوای فشرده (a_d= 3µm, v_d= 120 mm/min)- دو تصویر بالا با بزرگ‌نمایی ۱۰۰ و تصاویر پایین با بزرگ‌نمایی ۲۰۰ برابر

از آن‌جایی که پهنای چرخ‌سنگ بیشتر از پهنای سنگ‌زنی می‌باشد، بنابراین در یک سمت پهنای چرخ‌سنگ 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 روان‌کاری‌کمینه (مخلوط هوای‌فشرده و روغن) است. این تصاویر با بزرگنمایی ۱۰۰ گرفته شده است تا به‌طور همزمان بارگذاری چرخ‌سنگ در حالت سنگ‌زنی خشک و سنگ‌زنی با روان‌کاری کمینه و نیز توپوگرافی سطح چرخ‌سنگ 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 چرخ‌سنگ 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 چرخ‌سنگ زبرتر می‌باشد. با توجه به این شرایط، انتظار می‌رود که در درسینگ های خشن میزان بارگذاری چرخ‌سنگ 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.

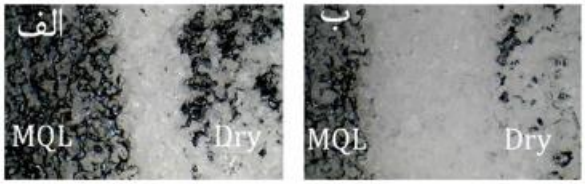
۵ پردازش تصویر بارگذاری چرخ‌سنگ

آزمایش‌هایی برای بررسی دقیق پارامترهای درسینگ بر روی فرآیند سنگ‌زنی با روش روان‌کاری 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 بردقیقه و عمق درسینگ مقادیر ۳، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میکرون را داشتند و همچنین محیط‌های روان‌کار خنک‌کار شامل: خشک، سیال برشی (آب صابون)، روان‌کاری کمینه با آرگون و روان‌کاری کمینه با هوای فشرده بودند. حال جهت کمی‌سازی میزان بارگذاری چرخ‌سنگ، از بین ۴۸ آزمایش انجام شده، برخی از آزمایش‌ها انتخاب گردید تا تصاویر حاصل از سطح چرخ‌سنگ آن‌ها پس از فرآیند سنگ‌زنی مورد پردازش قرار گیرد. شرایط آزمایش‌های انتخاب شده در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول۳ مشخص می‌باشد، برای سنگ‌زنی خشک، چهار آزمایش برای پردازش‌تصویر انتخاب شده است. برای هر یک از سه محیط روان‌کار خنک‌کار، پنج آزمایش انتخاب گردید و همچنین هر ردیف معین کننده‌ی یک آزمایش انتخاب شده می‌باشد.

در روش پردازش تصویر، الگوریتم‌ها و اقدامات مختلفی وجوددارد که با استفاده از آن‌ها می‌توان تصویر موردنظر را مورد بررسی و تحلیل قرار داد. برای این‌که بتوان درک بهتری از تصویرهای گرفته شده توسط دوربین نوری از سطح چرخ‌سنگ پس از فرآیند سنگ‌زنی به‌دست آورد، می‌بایست آن‌ها مورد پردازش و تحلیل قرار می‌گرفتند بنابراین یک سری مراحل و اقداماتی موردنیاز می‌باشد. روند پردازش‌تصاویر گرفته شده پس از سنگ‌زنی از سطح چرخ‌سنگ آلومینیوم‌اکساید را می‌توان در دو مرحله دسته‌بندی نمود. این مراحل شامل: نرمال‌سازی تصویر[1] و ناحیه‌بندی تصویر هستند، بنابراین با انجام این مراحل، میزان درصد بارگذاری چرخ‌سنگ بدست آمده است.

۵-۱- نرمال‌سازی تصویر

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



شکل ۵ بارگذاری سطح چرخ‌سنگ پس از فرآیندهای سنگ‌زنی خشک (Dry) و سنگ‌زنی با روان‌کاری کمینه- اسپری روغن با هوای فشرده (MQL): (الف) (a_d=45µm, v_d= 350 mm/min) و (ب) (a_d=45µm, v_d= 600 mm/min)- a_d=45µm- بزرگنمایی ۱۰۰برابر

جدول ۳ شرایط آزمایش‌های انتخاب شده برای پردازش تصویر

شرایط سنگ‌زنی	عمق درسینگ a_d (میکرون)	سرعت پیشروی درس v_d (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- هوای‌فشرده	۳	۶۰۰
سنگ‌زنی MQL- هوای‌فشرده	۱۵	۱۲۰
سنگ‌زنی MQL- هوای‌فشرده	۱۵	۶۰۰
سنگ‌زنی MQL- هوای‌فشرده	۴۵	۱۲۰
سنگ‌زنی MQL- هوای‌فشرده	۴۵	۶۰۰
سنگ‌زنی MQL- گازآرگون	۳	۶۰۰
سنگ‌زنی MQL- گازآرگون	۱۵	۱۲۰
سنگ‌زنی MQL- گازآرگون	۱۵	۶۰۰
سنگ‌زنی MQL- گازآرگون	۴۵	۱۲۰
سنگ‌زنی MQL- گازآرگون	۴۵	۶۰۰

1. Image Normalization

www.SID.ir

Archive of SID

اصلاح ناپایداری‌ها و بی‌ثباتی‌ها دست پیداکرد. 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 معرفی‌کرده‌اند [۲۱،۲۰]. از الگوریتم سانگ دلپ[1] 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 دانه-های 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 درنظر 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[2]، روش حد آستانه[3] می‌باشد. این روش برمبنای 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 معمولا در نرم‌افزار متلب، مقدار صفر برای رنگ سیاه و مقدار یک برای رنگ سفید درنظر 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 پردازش تصویر آورده شده است. شکل ۶ الف مربوط به عکس گرفته شده از سطح چرخ‌سنگ با دوربین[4] می‌باشد، شکل ۶ ب، تصویر سطح چرخ‌سنگ پس از دی‌نویز کردن توسط نرم‌افزار آمده است و همچنین شکل۶ 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[5] می‌باشد و منبع نور که به صورت دایره‌ای شکل در اطراف لنز دوربین قرار دارد از ۸ لامپ ال‌ای‌دی[6] 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 قرارمی‌گیرد. 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 می‌گردید تا تصویربرداری در تمام آزمایش‌ها به‌صورت یکسان صورت گیرد.

۵-۳- نتایج پردازش تصویر

همان‌طور که بحث گردید، می‌توان با بدست آوردن تعداد پیکسل‌های لودشده، درصد بارگذاری چرخ‌سنگ را به‌دست آورد. با توجه به رابطه (۱۰۰×(تعداد کل پیکسل‌ها/تعداد پیکسل‌های سیاه‌رنگ) =درصد بارگذاری سطح‌سنگ) 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 قسمت های لود شده‌ی سطح چرخ‌سنگ حضور دارد و در مخرج کسر تعداد کل پیکسل‌های هر تصویر قرار می‌گیرد که مجموع تعداد پیکسل-های 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 بخش۴ 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 به‌دست آمده است. بنابراین می-توان گفت در این نوع سنگ‌زنی براده‌ها به صورت پراکنده در سطح چرخ-سنگ حضور داشته‌اند و منطقه‌ای از سطح چرخ‌سنگ که توسط براده پرشده 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

1. Song-Delpalgorithm
2. Image Segmentation
3. threshold technique

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

www.SID.ir

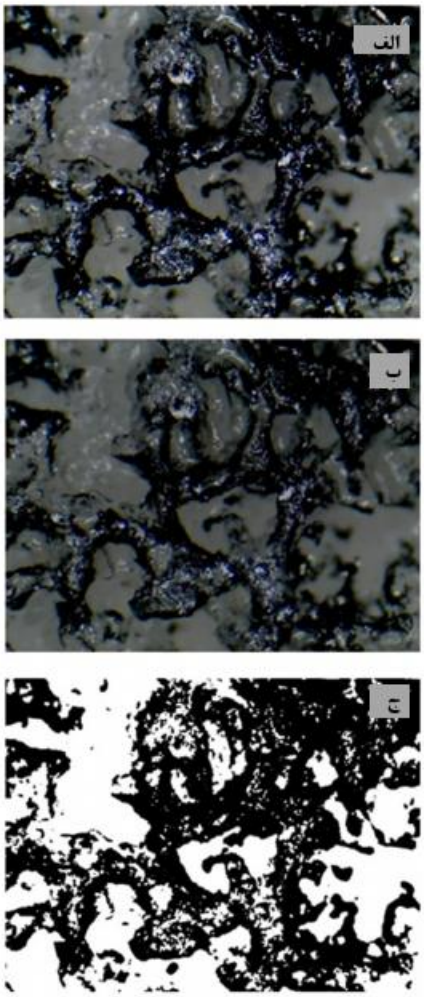
Archive of SID

قطعه‌کار باقی می‌مانند. مقداری از این ترکیب، به سطح چرخ‌سنگ چسبیده می‌شوند و به مرور زمان، بر توپوگرافی سطح چرخ سنگ تاثیر می‌گذارند. بارگذاری برای سنگ‌زنی با روان‌کاری کمینه همراه با هوای فشرده و سنگ زنی با روان‌کاری کمینه همراه آرگون با عمق درس ۱۵ میکرون و سرعت پیشروی درس ۶۰۰ میلی‌متر بر دقیقه به ترتیب مقادیر ۳۱/۶ درصد و ۵۰/۵ درصد بدست آمده است این اختلاف به دلیل خاصیت گاز آرگون می‌باشد که یکی از خواص آن انتشار سریع در محیط است که در محیط کارگاه مشاهده گردید. این خاصیت، باعث می‌شود ذرات ریز روغن از ترکیب دوفازی آرگون و روغن زودتر جدا گردند و در منطقه سنگ‌زنی باقی بمانند. در ادامه رابطه‌ای برای بارگذاری بدست آورده می‌شود، 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.

٦ رابطه تجربی بارگذاری چرخ‌سنگ

وقتی دو سطح با هم در تماس قرار می‌گیرند، مواد بین دو سطح انتقال پیدا می‌کند که ناشی از قراگیری مرزها در تماس با یکدیگر است. برای این‌که بتوان رابطه‌ای برای بارگذاری چرخ‌سنگ به‌دست آورد می بایست پارامترهای موثر بر بارگذاری مورد بررسی و ارزیابی قرارگیرد. با توجه به مطالعات قبلی [۵] مشخص می‌گردد که در مدل‌های تحلیلی، عواملی چون پارامترهای برشی، ساختار چرخ‌سنگ و خواص قطعه‌کار در نظر گرفته شده است که در نتیجه فرمول تحلیلی مناسبی برای بارگذاری چرخ‌سنگ بدست آمده است. در این پژوهش، سعی می‌شود که تاثیر مستقیم پارامترهای درسینگ بر بارگذاری چرخ‌سنگ آلومینیوم اکساید مورد بررسی قرار گیرد بنابراین دو پارامتر عمق درس و سرعت پیشروی درس به‌عنوان عوامل تاثیرگذار جهت بررسی بارگذاری انتخاب شده‌اند. باتوجه به نتایج بحث شده در بخش قبل، مشخص می‌گردد که هرچه درسینگ خشن‌تر بر روی چرخ‌سنگ انجام گیرد میزان بارگذاری چرخ‌سنگ نیز کاهش می‌یابد که ناشی از کم شدن تعداد دانه‌های فعال است. بنابراین عمق درس و گام درسینگ با میزان بارگذاری چرخ‌سنگ رابطه عکس دارد و هرچه عمق درس و گام درس افزایش پیدا کند باعث می شود سطح چرخ‌سنگ خشن شده و براده‌ها کمتر بر سطح چرخ-سنگ می‌چسبند. از این سو، ابتدا برای بدست آوردن یک رابطه جهت تخمین مساحت سطحی از چرخ‌سنگ که براده به آن نچسبیده است، تلاش می‌شود.

همان‌طور که در بخش‌های قبل گفته شده است، شرایط سنگ‌زنی در آزمایش‌های صورت گرفته شامل سرعت برشی ۲۶ متر بر ثانیه و سرعت پیشروی ۲۵۰۰ میلی‌متر بر دقیقه بوده است. با توجه به این‌که مقادیر آن‌ها در آزمایش‌ها ثابت بوده است، جهت استخراج رابطه تجربی برای بارگذاری سطح چرخ‌سنگ، این پارامترها در رابطه لحاظ نمی‌گردد. از سوی دیگر پارامتر سختی قطعه‌کار که بر میزان بارگذاری موثر می‌باشد نیز به دلیل ثابت‌بودن نوع قطعه‌کار استفاده‌شده در آزمایش‌ها، در رابطه تجربی لحاظ نمی‌گردد. بنابراین پارامترهای عمق درس و گام درس به عنوان پارامترهای مورد بررسی در رابطه تجربی لحاظ می‌گردد. همان‌طور که در فصل قبل مشاهده شد، هریک از محیط‌های روان‌کار خنک‌کار تاثیر مختلفی بر بارگذاری سطح چرخ‌سنگ داشته اند، بنابراین ضریبی در رابطه تجربی برای محیط‌های روانکار خنک‌کار باید درنظر گرفته شود. با استفاده از رابطه (۲) می‌توان درصدی از سطح چرخ‌سنگ 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 چرخ‌سنگ را به صورت درصد بدست آورد.



شکل۶ پردازش تصویر، الف) تصویر اصلی گرفته شده توسط دوربین، ب) تصویر سطح چرخ سنگ پس از دی تویزینگ، ج) تصویر باینری شده توسط نرم‌افزار متلب، (سنگ زنی با روان‌کاری کمینه گاز آرگون، عمق درسینگ: ۱۵میکرون و سرعت پیشروی درس: ۶۰۰میلیمتر بر دقیقه).

$$Not\ loaded = \frac{(L_{lc} + L_d(a_d s_d))}{\pi d_s b} \times 100 \qquad (۲)$$

در صورت رابطه (۲)، حاصل‌ضرب دو پارامتر درسینگ یعنی عمق درس a_d و گام درسینگ s_d مشاهده می شود که به همراه یک ضریب با نام L_d آمده است. ضریب L_d میزان تاثیر پارمترهای درسینگ را نشان می‌دهد. L_{lc} در صورت کسر رابطه‌ی (۲)، معرف و تعیین‌کننده‌ی میزان تاثیر محیط روان‌کار خنک‌کار می‌باشد. این دو ضریب معرفی شده، ضرایبی هستند که در آزمایش‌ها با روان‌کار خنک‌کارهای مختلف می‌توانند مقادیر متفاوتی را داشته باشند. مخرج کسر رابطه (۲) برابر است با مساحت قسمتی از سطح چرخ‌سنگ که در زمان سنگ‌زنی مورد استفاده قرار گرفته است که در آن، d_s قطر چرخ‌سنگ و b پهنای سنگ‌زنی می‌باشد. مقادیر L_d و L_{lc} می بایست با توجه به آزمایش‌ها و نتایج تجربی مشخص گردند. در این راستا از نرم‌افزار آماری مینی‌تب استفاده گردید تا مقادیر آنها بدست آیند. دو روش در نرم‌افزار مینی تب اتخاذ گردید که ابتدا این روش‌ها بحث می شود و مقادیری که این دو روش برای L_d و L_{lc} معرفی کرده‌اند در جدول آورده خواهد شد.

در روش اول، تمامی داده‌های آزمایش ها که در جدول ۳ معرفی شده بودند

www.SID.ir

Archive of SID

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_a و L_{lc} معرفی نمود. این مقادیر در جدول ۴ آورده شده‌اند.

همان‌طور که از جدول ۴ مشخص است، نرم‌افزار برای محیط‌های روان‌کار خنک‌کار مختلف مقدار L_a را ثابت و برابر ارائه داده است. بنابراین با توجه به این روش، می‌توان از طریق رابطه (۲) و مقدار L_{lc}، 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_a در این روش برای محیط‌های مختلف یکسان است، در عمق درس و گام درس ثابت، می بایست L_{lc} بیشترین مقدار را دارا باشد تا این نوع سنگ‌زنی کمترین بارگذاری را داشته‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود L_{lc} بیشترین مقدار را داراست پس نتیجه موردنظر را خواهد داد. مقدار L_{lc} برای سنگ‌زنی با روان‌کاری‌کمینه همراه آرگون کمترین میزان را داراست، با توجه به کم بودن مقدار L_{lc} 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_aو L_{lc} توسط نرم‌افزار مینی‌تب ارائه گردید. مقادیر آن‌ها در جدول ۵ آورده شده است.

همان‌طور که از جدول۵ مشخص است، نرم‌افزار جهت بدست‌آوردن کمترین انحراف از نتایج تجربی، مقادیر مختلفی را برای L_a و L_{lc} ارائه داده است. به بیان دیگر می‌توان گفت، آزمایش‌ها با روان‌کار خنک‌کار مختلف، جدا از هم بررسی شده‌اند و مقادیر بدست آمده برای L_a و L_{lc} 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 به طور واضح قادر نیست تا تاثیر روان‌کار خنک‌کارهای مختلف را نشان دهد و می‌بایست حتماً مقادیر عمق درس، گام درس، L_a و L_{lc} 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 شده است مقدار ۱۰۰ درصد را از مقدار بدست آمده از رابطه (۲) کم می‌کنیم. به عبارتی دیگر می‌توان درصد بارگذاری چرخ‌سنگ را به صورت رابطه (۳) بدست آورد:

$$loaded = 100\% - (Not\ loaded) \quad (۳)$$

جدول۴ مقادیر L_aو L_{lc} در روش اول، برای محیط‌های روان‌کار- خنک‌کار مختلف

شرایط سنگ‌زنی	سنگ‌زنی خشک	سنگ‌زنی با سیال برشی	MQL- هوای- فشرده	MQL-گاز آرگون
L_a	۹۳۴۱۰	۹۳۴۱۰	۹۳۴۱۰	۹۳۴۱۰
L_{lc}	۵۹۹۶	۶۹۷۷	۶۲۵۷	۴۴۳۰

جدول۵ مقادیر L_aو L_{lc} در روش دوم، برای محیط‌های روان‌کار- خنک‌کار مختلف

شرایط سنگ‌زنی	سنگ‌زنی خشک	سنگ‌زنی با سیال برشی	MQL- هوای- فشرده	MQL- گازآرگون
L_a	۸۶۶۶۹	۴۱۹۳۰	۸۴۵۶۷	۱۶۲۱۰۰
L_{lc}	۶۰۳۳	۷۲۰۳	۶۲۹۷	۴۱۱۹

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 پردازش‌تصویر انتخاب شد. پس از کمی‌سازی میزان بارگذاری چرخ‌سنگ در آزمایش‌ها، رابطه تجربی برای بارگذاری چرخ‌سنگ پیشنهاد شد که دو مقدار L_a و L_{lc} 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 روان‌کاری‌کمینه (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 دانه‌های‌ساینده 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 رابطه‌تجربی 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.

www.SID.ir

Archive of SID

۲ با مشاهده‌ی تصاویر گرفته شده از سطح چرخ‌سنگ پس از فرآیند سنگ-زنی با روان‌کاری کمینه و همچنین مشاهدات پژوهشگران از منطقه ماشین‌کاری در هنگام آزمایش، تاثیر روغن قابل مشاهده است، ذرات ریز براده با روان‌کار کمینه ترکیب شده است و باعث کم شدن سرعت براده-ها می‌گردد و در اطراف محیط ماشین‌کاری و قطعه‌کار باقی می‌مانند. بخشی از این ترکیب، به سطح چرخ‌سنگ چسبیده می‌شود و به مرور زمان، بر توپوگرافی سطح چرخ سنگ تاثیر می‌گذارند. تصاویر مربوط به سنگ‌زنی با روان‌کاری‌کمینه همراه هوای فشرده با تصاویر مربوط به سنگ‌زنی با روان‌کاری‌کمینه همراه آرگون شباهت خاصی دارند اما همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان انباشت براده بر سطوح چرخ‌سنگ در حالت سنگ‌زنی با روان‌کاری‌کمینه همراه‌آرگون بیشتر می‌باشد، که می‌توان دلیل آن را سرعت انتشار بیشتر گاز آرگون نسبت به هوا و نیز ضریب انتقال‌حرارت مناسب گاز آرگون دانست. لازم بذکر است که یکی از ویژگی‌های گاز آرگون، پخش شدن سریع در فضای بسته می‌باشد که این پدیده در هنگام انجام آزمایش، توسط پژوهشگران مشاهده شده است.

۳ با خشن‌تر شدن سطح چرخ‌سنگ، دانه‌ها تیزتر و سطح چرخ‌سنگ زبرتر می‌گردد. بنابراین در درسینگ‌های خشن، میزان بارگذاری چرخ‌سنگ در همه‌ی روان‌کار خنک‌کارها کاهش می‌یابد و میزان چسبندگی براده به چرخ‌سنگ کمتر می‌گردد.

جدول۶ مقادیر بدست آمده برای بارگذاری چرخ‌سنگ در آزمایش‌های انتخاب شده

محیط‌های سنگ‌زنی	عمق درس a_d (میکرون)	سرعت پیشروی درس v_d (میلی‌متر بر دقیقه)	بارگذاری بدست آمده با پردازش تصویر (درصد)	بارگذاری بدست آمده با روش اول- رابطه تجربی(درصد)	بارگذاری بدست آمده با روش دوم- رابطه تجربی (درصد)
خشک	۳	۶۰۰	۳۳/۰۳	۳۵/۴	۳۵/۱۵
خشک	۱۵	۶۰۰	۳۸/۶	۳۱/۸	۳۱/۸۲
خشک	۴۵	۱۲۰	۳۰/۳	۳۲/۷	۳۳/۴۹
خشک	۴۵	۶۰۰	۲۲	۲۲/۹	۲۳/۴۸
سیال‌برشی	۳	۱۲۰	۳۰/۹	۲۵/۷۸	۲۳/۴۹
سیال‌برشی	۱۵	۱۲۰	۱۸/۸	۲۵	۲۳/۱۷
سیال‌برشی	۱۵	۶۰۰	۲۱/۱	۲۱/۴۷	۲۱/۵۵
سیال‌برشی	۴۵	۱۲۰	۱۸/۷	۲۳/۲۷	۲۲/۳۶
سیال‌برشی	۴۵	۶۰۰	۱۸/۶	۱۲/۴۹	۱۷/۵۲
MQL-هوای‌فشرده	۳	۶۰۰	۳۷/۹	۳۲/۷۱۷	۳۲/۳۷
MQL-هوای‌فشرده	۱۵	۱۲۰	۲۸/۳	۳۲/۷	۳۲/۳۷
MQL-هوای‌فشرده	۱۵	۶۰۰	۳۱/۶	۲۹/۱۲	۲۹/۱۲
MQL-هوای‌فشرده	۴۵	۱۲۰	۲۷	۳۰/۹۲	۳۰/۷۵
MQL-هوای‌فشرده	۴۵	۶۰۰	۲۰/۸۲	۲۰/۱۴	۲۰/۹۹
MQL-گازآرگون	۳	۶۰۰	۶۰	۵۲/۰۹۳	۵۴/۷۴
MQL-گازآرگون	۱۵	۱۲۰	۵۵	۵۲/۰۹	۵۴/۷۴
MQL-گازآرگون	۱۵	۶۰۰	۵۰/۵	۴۸/۵	۴۸/۵
MQL-گازآرگون	۴۵	۱۲۰	۴۳/۵	۵۰/۳	۵۱/۶۲
MQL-گازآرگون	۴۵	۶۰۰	۳۳/۵	۳۹/۵۱	۳۲/۹۱

۹ منابع

[1] S. Malkin, C. Guo, *Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives*, 2nd edition, Industrial Press Inc, New York, USA, 2008.

[2] F. Klocke, *Manufacturing Processes 2: Grinding, Honing, Lapping*, RWTHedition, 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 Behaviorof 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.

www.SID.ir