



تأثیر سرعت دورانی و ترکیب دو ذره‌ی ساینده آلومینیوم اکساید و سیلیکون کارباید با روش نانو پرداخت کاری با استفاده از میدان مغناطیسی

علی خوش انجام^۱، صادق امیری^{۲*}، عبدالحمید عزیزی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی کرمانشاه، کرمانشاه

۲- مربی، ماشین ابزار، دانشگاه فنی و حرفه ای کرمانشاه، کرمانشاه

۳- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه ایلام، ایلام

*کرمانشاه، صندوق پستی ۶۷۱۵۶۸۴۳۹-ah.azizi@ilam.ac.ir

چکیده

پرداخت کاری با استفاده از میدان مغناطیسی^۱ (NNMAF)، روشی نوین برای براده برداری بصورت مکانیکی بوده و از طریق سایش ابزار، که بصورت پودر ذرات ساینده در فرآیند NMAF می باشد، نیروی مورد نیاز برای حرکت ابزار توسط میدان مغناطیسی که خود دارای حرکت نسبی با قطعه کار است تامین می شود. این روش برای پرداخت قطعات فلزی غیرمغناطیسی و یا قطعات غیر فلزی قابل استفاده است. یکی از ویژگی های خاص این روش توانایی انجام پرداخت کاری روی سطوحی از قطعه است که بدلیل شکل هندسی ابزارهای معمول توانایی انجام کار را بر روی آن ها ندارند مانند پرداخت کاری سوپر آلیاژها و فلزات سخت و همچنین برای سطوحی که فرم های خاص دارند و نمی توان از طرق دیگر به این میزان پرداخت سطحی دست پیدا کرد. در این مقاله با استفاده از مکانیزم NMAF برای پرداخت کاری سطوح خارجی بر روی میله هایی از جنس سوپر آلیاژ هاستالوی C206 شرح داده شده است که کیفیت سطح در حد نانو ارتقا می یابد. برای ایجاد میدان مغناطیسی از آهنرباهای متغیر استفاده شده است. در آزمایشات انجام شده سعی بر آن شده است که تأثیرات ذرات ساینده و دوران بروی کیفیت سطوح قطعات مورد بررسی قرار گیرد. افزایش سرعت دورانی تأثیر گذار بوده و افزایش آن تا مقدار خاصی سبب دستیابی به صافی سطح بهتر می شود. عامل اصلی تأثیر گذار بروی کیفیت سطح مقدار استفاده از ذرات ساینده می باشد. در این تحقیق از ذرات ساینده آلومینیوم اکسید و برای اولین بار از سیلیکون کارباید و تلفیق آن ها مورد استفاده قرار گرفته است. با افزایش سرعت حرکت نسبی نیز تا محدوده خاصی تأثیر مثبت در نتیجه دیده می شود اما با گذر از این محدوده تأثیر افزایش سرعت عکس شده و روی نتایج فرآیند اثر نامطلوب خواهد داشت.

کلید واژگان: نانو پرداخت کاری، میدان مغناطیسی، پودرهای ساینده، سرعت دورانی، آهنربای متغیر، صافی سطح.

The effects of angular velocity and combination of AlO_2 and SiC abrasive particle by use of NNMAF method

Ali Khoshanjam¹, Sadehg Amiri^{2*}, Abdolhamid Azizi³

1- Mechanical Student of azad university, Kermanshah, Iran

2- Preceptor at Technical and Vocational University, Kermanshah, Iran

3- Assistant Professor of Mechanical Engineering, Ilam University

* P.O.B. 6715668449, Kermanshah, Iran, ah.azizi@ilam.ac.ir

ABSTRACT

Nano Magnetic Abrasive Finishing (NMAF) is a modern method for machining by abrading tool which is in the form of abrasive powder applied to the surface concerned in the process of magnetic abrasive finishing (MAF). The energy required for motion of the tool is provided by a magnetic field which, in turn, has a motion relative to the workpieces used. This method is used for finishing non-magnetic metal and/or non-metallic parts. A characteristic feature of this method is its capability of finishing surfaces which, considering their special geometric configuration, the ordinary tools cannot be applied to them, such as super alloys and hard metals and surfaces having special forms not amenable of surface finishing by use of other methods. In this article, the use of MAF for finishing outer surfaces of Hostalloy C276 alloy bars is described in which the surface quality is promoted to nano level. For creating magnetic fields, variable magnets have been used. In the tests performed, efforts were made to survey the effects of abrasive particles and angular velocity on the quality of the surfaces of the workpieces. Escalation of angular velocity is effective and will lead to achievement of a better smoothness of the surfaces. The main factor affecting the surface quality is the amount of the abrasive particles used for the escalation. In this study, Aluminum oxide and silicon carbide abrasive particles and their combination have been used for the first time. Increasing of relative motion velocity to a certain extent will lead to positive results, but surpassing this limit will lead to an inverse result and will render undesirable effects on the process result.

Keywords: Abrasive Powders, Angular Velocity, Nano Finishing, Surface Smoothness, Variable Velocity Magnets.

میدان مغناطیسی، یکی از روش های جدید پرداخت کاری است که در این مقاله سعی شده است همراه با معرفی یکی از کاربردهای آن مورد بررسی قرار گیرد و چند پارامتر مهم آن معرفی و بررسی شوند. در این روش، فرآیند پرداخت کاری، که شکلی از ماشین کاری است، بصورت کاملاً مکانیکی انجام

نیاز روزافزون به سطوح پرداخت شده و دقیق در قطعات مختلف صنعتی و ناتوانی روش های سنتی و معمول در بسیاری از موارد باعث شده تا روش های جدید برای پرداخت سطوح ابداع شوند. روش پرداخت کاری سایشی به کمک

1. Nano magnetic Abeasive Finishing

Please cite this article using:

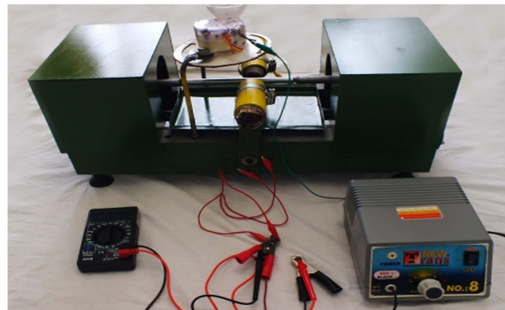
A. Khoshanjam, S. Amiri, A. Azizi, The effects of angular velocity and combination of AlO_2 and SiC abrasive particle by use of NNMAF method, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 234-239, 2015 (in Persian فارسی)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

می‌شود و در آن تمامی اجرای ماشین کاری سنتی، از قبیل قطعه کار، ابزار، و ماشین ابزار وجود دارد. اما المان جدیدی که وظیفه‌ی تولید انرژی یا نیروی ماشین کاری را به عهده دارد میدان مغناطیسی متغیر یا ثابت است (شکل ۱). در این تحقیق از آهنربای متغیر که جهت انجام این آزمایش طراحی و ساخته شده است، استفاده خواهد شد [۱] میزان قدرت این میدان مغناطیسی برای پرداخت کاری، ۱ تسلا در نظر گرفته شده است [۲] که این میزان شدت میدان مغناطیسی برای این آزمایش مناسب و حتی می‌توان گفت بیشتر از میدان مغناطیسی مورد نیاز می باشد [۳]. در فرایند NMAF ابزار برشی بصورت ذرات بسیار کوچک پودری شکل هستند که در اندازه‌های مختلف عرضه می‌شوند. البته پودر ساینده می‌تواند مغناطیسی بوده و مستقیم مورد استفاده قرار گیرد. اگر ذرات حالت مغناطیسی نداشته باشند در جهت مغناطیسی کردن آن‌ها از مخلوط پودر آهن استفاده می‌شود. در این تحقیق از ذرات ساینده‌ی آلومینیوم اکسید، سیلیکون کارباید و ترکیب این دو و مقایسه‌ی آن‌ها به عنوان ذرات ساینده استفاده می‌شود. در فرایند NMAF پودر ساینده روی سطحی از قطعه کار که باید پرداخت شود قرار می‌گیرد. موقعیت قرارگیری پودر باید به گونه‌ای باشد که در حوزه میدان مغناطیسی ایجاد شده قرار گیرد. با حرکت نسبی بین قطعه کار و میدان مغناطیسی پودر ساینده نیز نسبت به قطعه کار حرکت خواهد کرد. این حرکت همراه با نیروی فشاری ناشی از میدان مغناطیسی باعث پرداخت سطح قطعه می‌شود. از فرایند NMAF برای پرداخت سطوحی که دیگر ابزارها توان انجام پرداخت آن را ندارند استفاده می‌شود، مانند سطوح ناهمگون و غیرمتعارف. در این تحقیق، آزمایش بر روی میله‌ای از جنس سوپرآلیاژ هاستالوی C۲۰۶ به قطر ۳۰ میلی‌متر استفاده شده است.



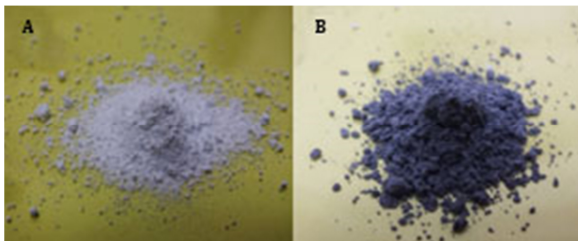
شکل ۲ نمایی از نمونه های مورد آزمایش



شکل ۳ نمایی از دستگاه MAF

جدول ۲ مشخصات متغیرهای ثابت آزمایش

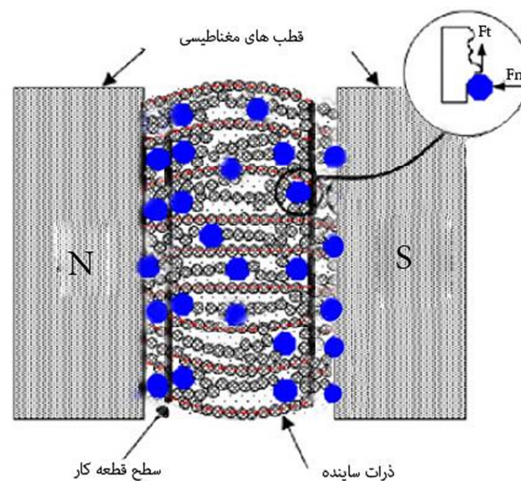
اسم	گپ	زمان	شدت جریان	ذرات ساینده	روغن
مقدار	۰/۵ میلی‌متر	۳۲ دقیقه	۱ تسلا	۱۲ گرم	۶ گرم



شکل ۴ نمایی از ذرات (A) آلومینیوم اکسید و (B) سیلیکون کارباید

۲- روش تحقیق

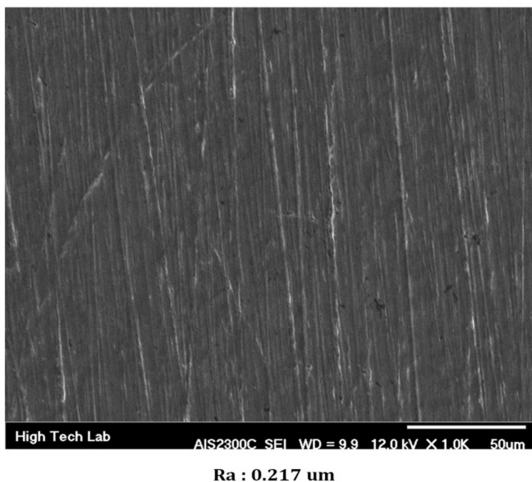
در این تحقیق عملیات پرداخت کاری روی میلگردی از جنس هاستالوی C۲۰۶ شده به قطر ۳۰ میلی‌متر انجام شد. ترکیب شیمیایی آلیاژ فولاد هاستالوی C۲۰۶ در جدول ۱ ارائه شده است.



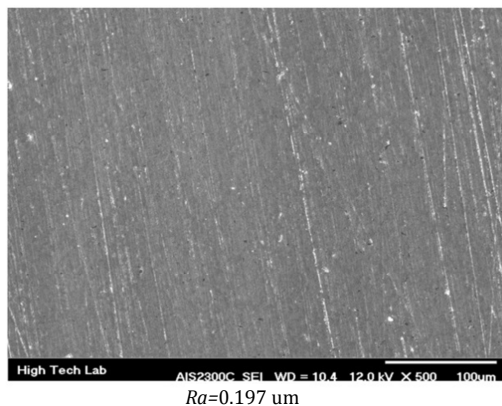
شکل ۱ نمای شماتیک از پرداخت کاری با استفاده از میدان مغناطیسی

جدول ۱ ترکیب شیمیایی آلیاژ فولاد هاستالوی C۲۰۶

ترکیبات شیمیایی	کروم	منگنز	سیلیسیوم	کربن	نام اختصاری
۷/۷	۱۱/۵	۰/۳۰	۰/۲۵	۲/۰۵	هاستالوی C۲۰۶



شکل ۶ نمای میکروگرافی SEM در دوران ۵۰۰rpm



شکل ۷ نمای میکروگرافی SEM در دوران ۱۵۰۰ rpm

باشد، اما بدلیل سختی بالای این ذره کیفیت سطح و پرداخت کاری بدست آمده از این ماده‌ی ساینده بهتر از آلومینیوم اکساید می‌باشد (شکل ۷).

۲-۳ مقایسه ۲ ذره ساینده در دوران ۱۵۰۰ rpm

با توجه به عکس‌های بدست آمده از دستگاه SEM می‌توان گفت کیفیت سطح نمونه‌ی پرداخت شده با ذره‌ی سیلیکون کارباید دارای سطحی پرداخت تر و عرض شیارهای کمتر می‌باشد (شکل ۷). پس می‌توان نتیجه گرفت ذره‌ی سیلیکون کارباید می‌تواند بدلیل سختی بالاتر کیفیت نسبتاً بهتری از نمونه‌ی پرداخت شده با ذره‌ی ساینده‌ی آلومینیوم اکساید بوجود بیاورد. اما بدلیل ترد بودن زیاد این ذره میزان مصرف آن در طول عملیات پرداخت کاری بیشتر بود. همان‌گونه که در شکل ۸ آمده است کیفیت سطح نمونه‌های پرداخت شده با ذره‌ی ساینده‌ی سیلیکون کارباید دارای مقدار ۰/۱۷۹ میکرومتر بوده که این مقدار برای ذرات ساینده آلومینیوم اکساید مقدار ۰/۲۱۷ میکرومتر می‌باشد.

۳-۳ تأثیر ذرات ساینده آلومینیوم اکساید و سیلیکون کارباید در دوران ۲۰۰۰ RPM

در دوران ۲۰۰۰ rpm با استفاده از ذره‌ی ساینده‌ی آلومینیوم اکساید کیفیت سطح به مقدار قابل توجهی نسبت به سطح پرداخت شده در دوران ۱۵۰۰ rpm با همین ذره ارتقاء پیدا کرد. شکل ۹ بنابر این می‌توان نتیجه گرفت با افزایش



شکل ۵ نمایی از دستگاه SEM

سرعت دورانی انتخاب شده و مورد بررسی ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ rpm انتخاب گردیده است در این آزمایش از آهنربای متغیر با شدت جریان ۱ تسلا استفاده گردید. پس از انجام تست‌های موردنظر در دوران مختلف و ذرات متفاوت قطعات را جهت اندازه‌گیری کیفیت سطح مورد بررسی در دستگاه میکروسکوپ الکترونیکی با استاندارد AISI2300C مورد بررسی قرار می‌دهیم (شکل ۵).

۳- تفسیر و تحلیل نتایج

سرعت دورانی بین قطعه‌کار و میدان مغناطیسی یکی از مواردی است که می‌تواند روی صافی سطح قطعه‌کار و زمان پرداخت کاری اثرگذار باشد [۶]. براساس کار انجام شده‌ی وی‌کی. جین^۱، که از دوران ۱۵۰۰ الی ۲۰۰۰ کیفیت سطح روبه بهبود است که بعد از دوران ۲۰۰۰ سطح هیچ‌گونه تغییر محسوسی در آن ایجاد نمی‌شود [۵]. قبل از دوران ۱۵۰۰ بهبود کیفیت سطح ناچیز و خطی می‌باشد بعد از دوران ۲۰۰۰ بهبود کیفیت سطح ثابت می‌ماند.

براساس تحقیقات و نتایج بدست آمده از آزمایش وی‌کی جین در این آزمایش برای مقایسه و تأثیرگذار بودن دوران از دو دوران ۲۰۰۰ rpm و ۱۵۰۰ استفاده شده است و با ثابت نگه داشتن دیگر متغیرهای این آزمایش و استفاده از دو ذره‌ی ساینده‌ی آلومینیوم اکساید و سیلیکون کارباید به تأثیر این دو دوران و این دو ذره‌ی ساینده بر صافی سطح می‌پردازیم [۳]

۳-۱ تأثیر ذرات ساینده آلومینیوم اکساید و سیلیکون کارباید در دوران ۱۵۰۰ rpm

نوع ذره‌ی ساینده و مقدار آن یکی از پارامترهای مهم در پرداخت کاری به روش MAF می‌باشد. در دوران ۱۵۰۰ rpm با استفاده از ذره‌ی ساینده‌ی آلومینیوم اکساید کیفیت سطح به مقدار قابل توجهی نسبت به سطح سنگ زده شده ارتقاء پیدا کرد شکل ۶ ویژگی ذرات ساینده‌ی آلومینیوم اکساید به گونه‌ای می‌باشد که دارای چقرمگی بالا هستند که این امر سبب می‌شود، زمان استفاده از این ذرات طولانی تر باشد. ذرات در زمان طولانی استفاده، لبه‌های تیز خود را از دست می‌دهند و این باعث می‌شود که کیفیت سطحی که از این ذره بدست می‌آید تا مقدار مشخصی ثابت بماند.

ذرات ساینده‌ی سیلیکون کارباید دارای سختی بسیار بالایی نسبت به آلومینیوم اکساید می‌باشد که همین امر باعث شده است از این ذره برای سنگ‌زنی فولادهای سخت HSS و فولادهای ابزارسازی استفاده شود. اما این ذره‌ی ساینده چقرمگی کمتری نسبت به ذره‌ی ساینده آلومینیوم اکساید دارا می‌باشد [۷] و همین امر باعث شد که مراحل تعویض این ذره‌ی ساینده کوتاه

همان گونه که پیش تر در مورد دو ذره بحث و نتیجه گیری انجام شد براساس شکل ۱۱ می توان گفت با تغییر ذرات ساینده از آلومینیوم اکساید به سیلیکون کارباید کیفیت سطح نیز بهبود می یابد. کیفیت سطح نمونه ی پرداخت شده با ذره ساینده سیلیکون کارباید در دوران ۲۰۰۰ rpm به مقدار ۰/۰۹۷ میکرومتر می باشد که بدلیل سختی ذره ی ساینده سیلیکون کارباید است. اما مقدار عددی Ra بدست آمده برای ذره ی ساینده آلومینیوم اکساید به مقدار ۰/۱۲۷ میکرومتر است.

حال می توان نتیجه گرفت با تغییر دوران و نوع ذرات ساینده کیفیت سطح مطلوبی بدست آمده است زیرا در دوران ۲۰۰۰ rpm چون قطعات با سرعت بالاتری نسبت به نمونه های ۱۵۰۰ rpm دوران دارند و همین امر سبب می شود که تماس ذرات با قطعه کار در زمان تعیین شده (۳۲ دقیقه) بیشتر از حالت دوران ۱۵۰۰ rpm باشد. پس می توان گفت دلیل بهتر بودن کیفیت سطح در سرعت دورانی بالاتر، سطح تماس بیشتر و در مدت ثابت می باشد (شکل ۱۲).

۳-۴ - تأثیر ذرات ترکیبی آلومینیوم اکساید و سیلیکون کارباید بر کیفیت

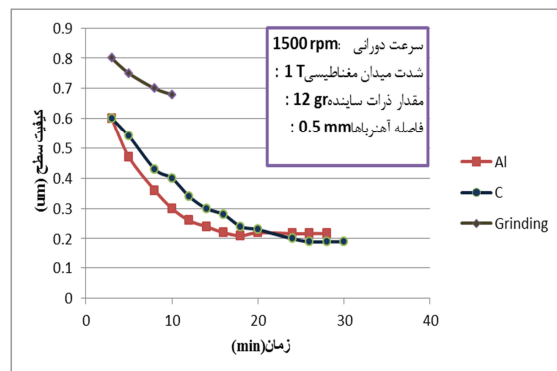
سطح در دوران ۲۰۰۰ rpm

در آزمایشات گذشته چنین نتیجه گیری شد که با افزایش دوران از rpm ۱۵۰۰ به ۲۰۰۰ rpm کیفیت سطح مطلوب تری بدست می آید. پس برای این آزمایش جدید از دورانی استفاده شد که بهینه ترین کیفیت سطح را در آن حاصل شده، همان گونه که در بخش های قبل در مورد ذرات ساینده صحبت شد، در نتیجه گیری ها این امر اثبات گردید که نمونه های پرداخت شده با ذرات سیلیکون کارباید دارای کیفیت سطح مطلوب تری می باشد. اما مقدار وزن ذره ی استفاده شده ی سیلیکون کارباید از آلومینیوم اکساید بیشتر بود که این امر نشان دهنده ی ترد بودن و زود از بین رفتن ذره ی ساینده سیلیکون کارباید نسبت به آلومینیوم اکساید می باشد [۶]. پس با تکیه بر مزایا و معایب

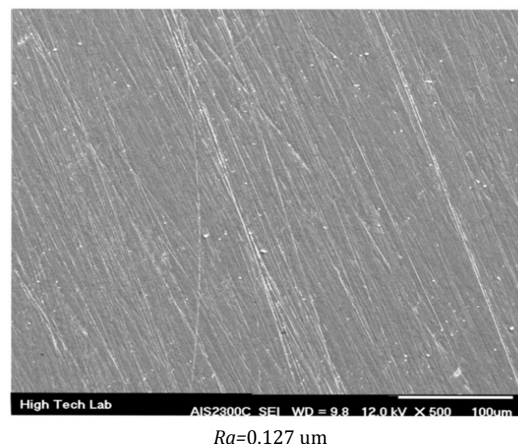
سرعت دورانی مدت زمان بیشتری ذرات با سطح قطعه کار درگیر بوده و این امر سبب بهبود کیفیت این سطح نسبت به سطح با دوران ۱۵۰۰ rpm می باشد.

به دلیل سختی بالاتر ذره ساینده ی سیلیکون کارباید و استفاده از سرعت دورانی بالاتر، کیفیت سطح بدست آمده از این ماده ی ساینده بهتر از کیفیت سطح بدست آمده با آلومینیوم اکساید می باشد (شکل ۱۰).

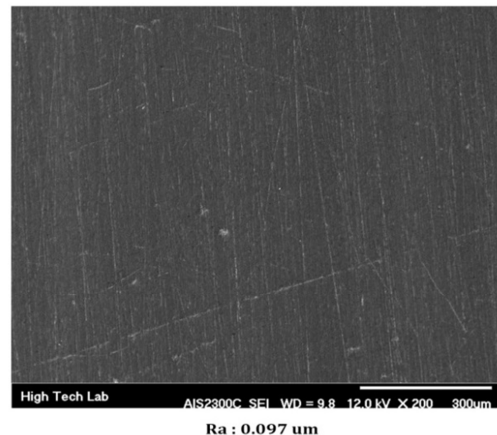
بهبود کیفیت سطح در دو ذره ی آلومینیوم اکساید و سیلیکون کارباید باهم متفاوت است که این تفاوت بدلیل سختی و چقرمگی این دو ذره می باشد.



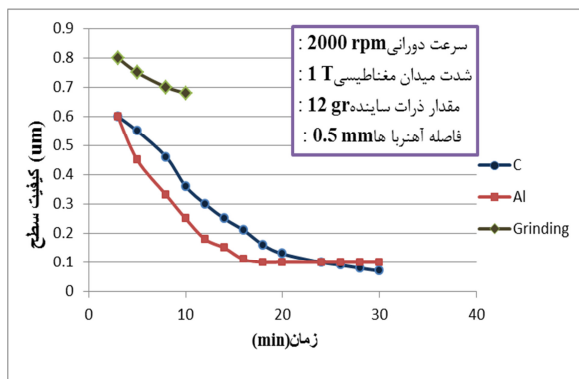
شکل ۸ مقایسه کیفیت سطح دو ذره ساینده براساس سرعت دورانی ۱۵۰۰ rpm



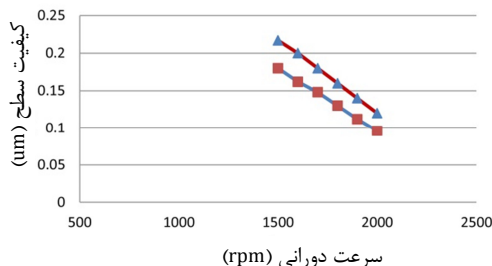
شکل ۹ نمای میکروگرافی SEM دو ذره ساینده دوران ۲۰۰۰ rpm



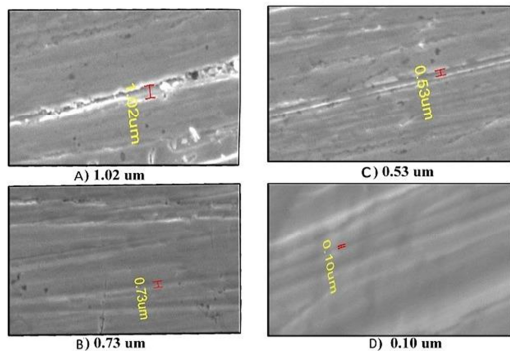
شکل ۱۰ نمای میکروگرافی SEM ذره ساینده سیلیکون کارباید با دوران ۲۰۰۰ rpm



شکل ۱۱ مقایسه کیفیت سطح براساس سرعت دورانی ۲۰۰۰ rpm



شکل ۱۲ مقایسه کیفیت سطح براساس سرعت دورانی ۱۵۰۰ rpm و ۲۰۰۰ rpm



شکل ۱۵: نمایی از کاهش عرض شیارها در طی فرآیند ترکیبی آلومینیوم و سیلیکون کارباید A. مرحله اول B. مرحله دوم C. مرحله سوم D. مرحله چهارم

۴- نتیجه گیری

۱. استفاده از فرآیند NMAF منجر به پرداخت نهایی سطح با کیفیت بالا می شود، بطوری که کیفیت سطح سنگ زنی در حدود $0.681 \mu\text{m}$ میکرومتر بوده و پس از انجام فرآیند به مقدار $0.03 \mu\text{m}$ میکرومتر بهبود پیدا کرد که می توان دلیل بهبود کیفیت سطح را تغییر سرعت دورانی و تغییر نوع ذره و در مرحله ی پایانی که کیفیت سطح به عدد $0.03 \mu\text{m}$ نانومتر رسیده است به دلیل آن است که ذرات ساینده ترکیب شده اند.

۲. افزایش کیفیت سطح با استفاده از ذرات ساینده آلومینیوم اکساید نسبت به سطح سنگ زنی شده با دوران 1500 rpm دور بر دقیقه که نشان دهنده ی تاثیر ذرات آلومینیوم اکساید در روش NMAF نسبت به سطح سنگ زنی شده می باشد.

۳. افزایش کیفیت سطح با استفاده از ذرات ساینده سیلیکون کارباید با دوران 1500 rpm دور بر دقیقه به نسبت آلومینیوم اکساید در دوران 1500 rpm دور بر دقیقه که نشان دهنده ی سختی بیشتر و جنس مطلوبتر ذره ی ساینده ی سیلیکون کارباید جهت پرداخت کاری این آلیاژ است.

۴. افزایش کیفیت سطح با استفاده از ذرات ساینده آلومینیوم با دوران 2000 rpm دور بر دقیقه به نسبت ذرات ساینده مشابه در دوران 1500 rpm دور بر دقیقه، که می توان به تاثیر مطلوب دوران بالاتر از 1500 rpm بر روی کیفیت سطح اشاره کرد.

۵. افزایش کیفیت سطح با استفاده از ذرات سیلیکون کارباید با دوران 2000 rpm دور بر دقیقه به نسبت ذرات ساینده مشابه در دوران 1500 rpm دور بر دقیقه تاثیر دوران که باعث می شود تماس ذرات با سطح کار بیشتر از دوران 1500 rpm باشد.

۶. افزایش کیفیت سطح با استفاده از ذرات آلومینیوم اکساید و سیلیکون کارباید با دوران 2000 rpm دور بر دقیقه ترکیب این دو ذره باعث شده که سختی ذره ی ساینده ی سیلیکون کارباید در کنار چقرمگی ذره ی ساینده-ی آلومینیوم اکساید قرار بگیرد و این ترکیب سبب شده بهترین کیفیت سطح نسبت به نمونه های قبلی و با دوران 2000 rpm باشد.

۵- تقدیر و تشکر

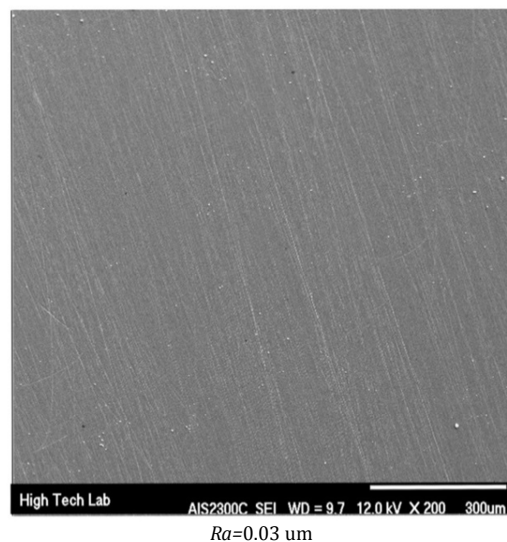
باسپاس و تقدیر از دوستان و همکارانی که ما را در این تحقیق یاری نمودند. کیوان خوش انجام، عارف اعظمی، شاهو روحانی، وحید دانش پژو، حسین شیرمحمدی، مصطفی راستگو.

این دو نوع ذره یک نوع آزمایش جدید اجرا گردید در این آزمایش با تکیه بر سخت بودن ذرات سیلیکون کارباید و چقرمگی آلومینیوم اکساید سطح پرداختی را می توان بدست آورد که کیفیت سطح در این آزمایش بالاتر می رود و صرفه اقتصادی نسبت به حالت های دیگر دارد. در عکس گرفته شده از میکروسکوپ SEM شکل ۱۳ می توان مشاهده کرد که کیفیت سطح به دست آمده از ترکیب این دو ذره از نمونه های قبلی بهتر می باشد.

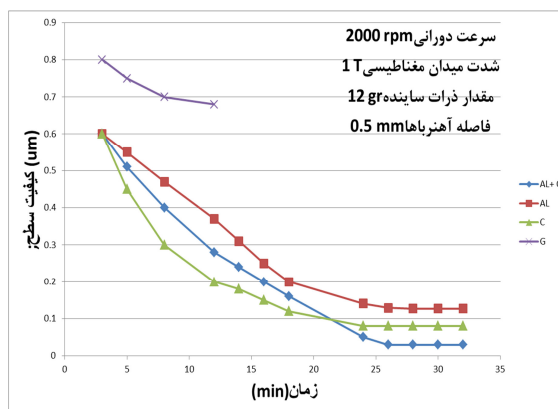
می توان براساس نمودار رسم شده در شکل ۱۴ نتیجه گرفت کیفیت سطح بدست آمده از ترکیب دو ذره در دوران یکسان نسبت به کیفیت سطح به-دست آمده از ذره های ساینده ای که بصورت جداگانه آزمایش شده اند، دارای سطح مطلوب تری و باکیفیت بالاتری می باشد.

۳-۵- تاثیر ترکیب دو ذره ساینده بر روی صافی سطح در دوران 2000 rpm

براساس تصاویر میکروگرافی گرفته شده از نمونه مورد آزمایش شماره ۵ و تاثیر تعویض ذرات ساینده می توان مشاهده نمود که در ۴ مرحله تعویض ذرات عرض شیارهای سطح کاهش می یابد و کیفیت سطح مطلوب می شود به نحوای که در مرحله نهایی تعویض ذرات، اثر بسیار کمی از شیارهای سطح مشخص است و کیفیت سطح نیز تا $0.03 \mu\text{m}$ میکرومتر بهبود یافته است (شکل ۱۵).



شکل ۱۳: نمای میکروگرافی SEM در دوران 2000 rpm



شکل ۱۴: کیفیت سطح با ذرات ترکیبی براساس سرعت دورانی 2000 rpm

- 151, 2011
- [4] W. Kordonski, A. Shorey, Magnetorheological (MR) jet finishing technology, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol 18, pp 1127–1130, 2007.
- [5] V.K. Jain. Zhang, J.N. Liu, Effect of magnetic field on properties of MR fluid, *International Journal of Modern Physics B* 19, pp 597–601, 2005.
- [6] S. Jha, Magnetorheological nanofinishing processes, in: V.K. Jain (Ed.), Introduction to Micromachining, Alpha Science International Ltd., Oxford, U.K, 2010, pp. 5.1–5.21.
- [7] A. Sidpara, M. Das, V.K. Jain, Rheological characterization of magnetorheological finishing fluid, *Journal of Materials and Manufacturing Processes*, 24-12, pp 1467–1478, 2009.
- ۶- مراجع
- [1] V.K. Jain, Prashant Kar, P.K. Behera, S.C. Jayswal, Effect of working gap and circferential speed on the performance of magnetic abrasive finishing process, *International Journal of Advanced Manufacturing Elsevier Science*, pp 384–390, 2001.
- [2] M. Arif, M. Rahman, W.Y. San, N. Doshi, An experimental approach to study the capability of end-milling for microcutting of glass, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol 53, pp 1063–1073, 2011.
- [3] A. Kar Singh, S. Jha, P.M. Pandey, Design and development of nanofinishing process for 3D surfaces using ball end MR finishing tool, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol 51, pp 142–