Archive of SID

مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹٤، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ۲٤۰-۲٤۷

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

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران
Society of Manufacturing Engineering of Iran

بررسی پارامترهای موثر در پرداخت‌کاری پیچ‌های ساچمه‌ای به کمک ذرات ساینده مغناطیسی

آرش محمدی[۱]، عبدالحمید عزیزی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران
دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، واحد علوم و تحقیقات کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران
۲- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه ایلام، ایلام
*ایلام، صندوق‌پستی ۵۱۶-۶۹۳۱۵ ah.azizi@ilam.ac.ir

چکیده

پرداخت‌کاری با استفاده از ذرات ساینده مغناطیسی روشی جدید در پرداخت سطوح می‌باشد. در این فرآیند، براده‌برداری به صورت مکانیکی انجام می‌شود و ابزار ساینده که به‌صورت گل ساینده تهیه می‌گردد با سایش سطح قطعه‌کار عمل پرداخت‌کاری را انجام می‌دهد. نیروی ماشین‌کاری توسط میدان مغناطیسی تامین می‌شود. مارپیچ‌ها و پیچ‌ها جایگاه مهمی در صنعت دارند، این امر باعث توجه بیشتر به روش ساخت و ماشین‌کاری آن‌ها شده است. در این تحقیق به بررسی تجربی فرایند پرداخت‌کاری این‌گونه قطعات به‌کمک ذرات ساینده مغناطیسی پرداخته می‌شود به‌گونه‌ای که پارامترهای درگیر در این فرایند مورد بحث و تحلیل قرار می‌گیرد. در آزمایش‌های انجام گرفته تأثیر هشت پارامتر موثر بر کیفیت سطح مورد بررسی قرار گرفت که شامل: سرعت‌دورانی، پیشروی، مقدار و اندازه ذرات ساینده، مقدار روان‌کار، جهت اعمال میدان، فاصله‌کاری و زمان می‌باشند. نتایج بیانگر این موضوع است که از بین ورودی‌های فرایند اندازه ذرات ساینده، مقدار روان‌کار و سرعت دورانی در محدوده مشخصی منجر به بیشترین تاثیر روی پرداخت سطح شده و این درحالی است که پیشروی دارای کمترین و زمان انجام فرایند دارای بیشترین تاثیر روی کیفیت سطح می‌باشند. می‌توان اضافه کرد که افزایش فاصله‌کاری و کمتر شدن مقدار ذرات نیز موجب کاهش کیفیت سطح می‌گردند.

کلید واژگان: پرداخت‌کاری سایشی مغناطیسی، پیچ ساچمه‌ای، کیفیت سطح

Effect of the magnetic abrasive finishing (MAF) parameters on ball screw finishing process

Arash Mohammadi[1], Abdolhamid Azizi[2*]

1- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University Kermanshah Branch, Kermanshah, Iran
2- Mechanical Engineering Department, Ilam University, Ilam, Iran
*P.O.B. 69315-516 Ilam, Iran, ah.azizi@ilam.ac.ir

ABSTRACT

Surface finishing using Magnetic Abrasive Finishing (MAF) is a new method in finishing processes. In this process, material is being removed by mechanical force due to the magnetic field and magnetic abrasive particles (abrasive brush). The way of applied machining force causes MAF to be classified as an advanced machining process. The advanced machining process can be utilized when the conventional methods are not applicable. Spiral and helical parts have an important place in the industry which leads to the greater attention to their machining process. In this study, the finishing process of ball screws used in CNC machines is experimentally introduced using AFM route. The effect of input parameters such as rotational speed, feed rate, amount and the size of abrasive particles, amount of lubricant, gap and the process duration was investigated on surface roughness. Results showed that in specific range the amount of lubricant, size of abrasive particles and rotational speed have the maximum effect on surface roughness. Also it was observed that the process duration and feed rate has the maximum and minimum effect on surface roughness, respectively. It is worth mentioning that increasing the gap and decreasing the amount of abrasive particles caused falling in surface quality.

Keywords: Ball Screw, Magnetic Abrasive Finishing, Surface Roughness.

۱- مقدمه

یکی از فرآیندهای نسبتا جدید پرداخت‌کاری، پرداخت‌کاری به کمک ذرات ساینده[1] می‌باشد. در این فرآیند نیروهای برش توسط میدان مغناطیسی ثابت یا متغییر کنترل می‌شوند. این فرآیند قابلیت پرداخت‌کاری با کیفیت بالا را فراهم می‌کند. از جمله سطوحی که قابلیت ماشین‌کاری با این روش را دارند سطوح تخت، سطوح داخلی و خارجی لوله‌ها و همچنین قطعات با هندسه پیچیده می‌باشند [۱].

در پرداخت‌کاری به کمک ذرات ساینده مغناطیسی قطعه در یک میدان مغناطیسی قرار گرفته و یک فاصله‌کاری بین آن‌ها (قطعه‌کار و میدان مغناطیسی) وجود دارد. این میدان با تاثیر بر روی برس ساینده[2] موجب انجام براده‌برداری می‌شود. برس ساینده از ذرات ساینده و به‌صورت یک گل ساینده فراهم می‌گردد. ذرات ساینده در برس از جنس سیلیسیم کارباید یا آلومینا می‌باشند که به‌دلیل نداشتن خاصیت مغناطیسی این ذرات و لزوم تاثیر پذیری برس ساینده از میدان مغناطیسی برای اعمال فشار بر روی سطح نمونه‌ها به ذرات ساینده مقداری ذرات پودر آهن افزوده می‌شود. برای افزودن

1. Magnetic Abrasive Finishing

2. Magnetic Abrasive Brush

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

A.Mohammadi, A. Azizi, Effect of Magnetic Abrasive Finishing (MAF) parameters on ball screw finishing process, *Modares Mechanical Engineering*, *Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 240-247, 2015 (in Persian فارسی)

www.SID.ir

Archive of SID

یکپارچگی و نگه‌داشتن ذرات پودر آهن و پودر ساینده و همچنین همگن‌تر شدن برس از یک مایع روان‌کار نیز در مخلوط استفاده می‌شود. این برس ساینده دارای خاصیت انعطاف‌پذیری می‌باشد و زمانی که در بین میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد شکلی شبیه به سطحی که روی آن قرار دارد را به خود می‌گیرد و در نتیجه امکان پرداخت‌کاری از روی سطوحی که دارای هندسه پیچیده هستند را فراهم می‌کند. برس ساینده دارای لبه‌های برش بسیار زیادی برای پرداخت سطوح می‌باشد که این خود ناشی از وجود تعداد زیادی از ذرات ساینده در برس است که نقش یک ابزار چند لبه را دارا می‌باشند.

از جمله قطعاتی که نقش بسیار مهمی در صنعت ایفا می‌کنند مارپیچ‌ها هستند. با گسترش استفاده از این قطعات تحول بسیار بزرگی در صنعت ماشین‌آلات و اتوماسیون به وجود آمده است. از مهم‌ترین کاربرد مارپیچ‌ها که در سال‌های اخیر گسترش چشم‌گیری داشته است می‌توان به استفاده آن‌ها به عنوان پیچ‌های انتقال قدرت و حرکت همراه با ساچمه[1]ها اشاره کرد که باعث تحول بزرگی در ماشین‌های ابزار شده است. از عواملی که نقش اساسی در کارایی و بالابردن راندمان مارپیچ‌ها دارد کیفیت سطح آن‌ها می‌باشد. افزایش کیفیت سطح علاوه‌بر کاهش اصطکاک باعث افزایش عمر و جلوگیری از به وجود آمدن ترک‌های ناشی از خستگی در آن‌ها می‌شود. به دلیل شکل خاص و پیچیده این مارپیچ‌ها و همچنین جنس سخت آن‌ها پرداخت‌کاری آن‌ها امری دشوار و هزینه‌بر می‌باشد.

در گذشته مطالعاتی در زمینه پرداخت‌کاری به کمک ذرات ساینده مغناطیسی صورت گرفته است که این مطالعات عموما برای بررسی پارامترهای تاثیر گذار بر روی کیفیت سطح در قطعات مسطح و یا سطوح داخلی و خارجی لوله‌ها بوده است. شینیمورا و همکارانش با استفاده از پرداخت‌کاری به کمک ذرات ساینده مغناطیسی آزمایش‌هایی بر روی سطوح تخت انجام دادند. نتایج نشان داد که با افزایش قطر ذرات ساینده، کیفیت سطح نیز بهبود می‌یابد. از طرفی به منظور حصول به یک سطح پرداخت شده نیاز است تا قطر ذرات فرومغناطیس با یک نسبت مناسبی نسبت به قطر ذرات ساینده انتخاب شوند [۲]. در سال ۱۹۹۵ میلادی شینیمورا و یاماگوچی در ادامه تحقیقات خود به بررسی چگونگی توزیع میدان مغناطیسی با استفاده از روش پرداخت‌کاری به کمک ذرات ساینده مغناطیسی در پرداخت داخلی لوله‌ها پرداختند. با بررسی‌های انجام شده توسط این محققان، مشخص گردید که قدرت میدان مغناطیسی و تغییر آن در مرکز قطب‌های مغناطیسی دارای کمترین مقدار و در لبه‌های کناری دارای بیشترین شدت می‌باشد [۳].

در تحقیقی، جین و کومار به بررسی فرآیند پرداخت‌کاری مغناطیسی بر روی سطح خارجی استوانه پرداختند و نقش دو پارامتر سرعت دورانی قطعه-کار و فاصله‌کاری را مورد مطالعه قرار دادند. بعد از طراحی و ساخت تجهیزات و انجام تست زبری سنجی دریافتند که با افزایش فاصله‌کاری در سرعت‌های ۰/۸ و ۱ متر بر ثانیه تغییرات عمده‌ای در صافی سطح صورت نمی‌گیرد، اما با افزایش سرعت تا ۱/۶ متر بر ثانیه می‌توان شاهد کاهش کیفیت سطح بر اثر افزایش فاصله‌کاری بود، در این مطالعه مشاهده گردید که با افزایش سرعت دورانی به طور کلی شاهد کاهش کیفیت سطح خواهیم بود [۴]. همین پارامترها در تحقیقی دیگر توسط دریندراو و همکارانشان برای پرداخت قطعات مسطح مورد بررسی قرار گرفت و با بررسی تغییرات سرعت دورانی و فاصله‌کاری دریافتند که با افزایش فاصله‌کاری شاهد افزایش کیفیت سطح به میزان قابل ملاحظه‌ای خواهیم بود. همچنین با افزایش سرعت دورانی کاهش کیفیت سطح مورد انتظار است [۵].

سانگ نیز در تحقیقی دیگر به بررسی پرداخت‌کاری سطوح خارجی محورهای استوانه‌ای از جنس فوق سخت پرداخته است. با بررسی پارامترهای سرعت دورانی، زمان و اندازه ذرات ساینده نتایج گرفته شده از دستگاه زبری سنج به این صورت بود که با افزایش سرعت دورانی کیفیت سطح در حد مطلوبی افزایش پیدا می‌کند که این افزایش از حد معینی به بعد عملا بدون تاثیر می‌باشد. همچنین با افزایش زمان فرآیند نیز شاهد افزایش کیفیت سطح می‌باشیم و با ریزتر شدن ذرات ساینده کیفیت سطح بالاتری بدست خواهد آمد [۶].

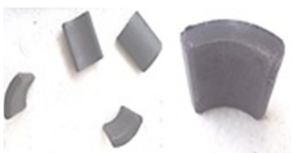
تای ام و همکارانشان نیز در تحقیقی به میکروپرداخت‌کاری محوری از جنس STS 304 پرداختند. ایشان با استفاده از آهنرباهای ثابت و مخلوط پودر الماس و آهن اقدام به پرداخت‌کاری نمونه مورد نظر نموده‌اند. پس از انجام آزمایش‌ها دریافتند که با افزایش زمان می‌توان به کیفیت سطح بالاتر رسید و همچنین با افزایش سرعت دورانی کیفیت سطح پایین‌تری حاصل خواهد شد. از طرفی با ایجاد تغییر در اندازه ذرات پودر الماس دریافتند که این تغییرها نقش کلیدی در فرآیند ندارد و تغییر چشم‌گیری در صافی سطح ایجاد نمی-کند [۷].

همان‌گونه که در مطالعه‌های گذشته مشاهده می‌شود پارامترهای بسیار زیادی برای بهبود کیفیت سطح در این فرآیند وجود دارد. بیشتر بررسی‌ها بر روی قطعات با اشکال ساده انجام گرفته و پرداخت‌کاری سطوحی با هندسه پیچیده مورد مطالعه قرار نگرفته است. لذا در این تحقیق سعی می‌شود تا با فراهم آوردن تجهیزهای آزمایشگاهی، فرایند پرداخت‌کاری پیچ‌های ساچمه-ای به کمک ذرات ساینده مغناطیسی مورد مطالعه قرار گیرد و تاثیر پارامترهای ورودی روی کیفیت سطح پرداخت شده مورد بررسی قرار گیرد.

۲- طراحی و انجام آزمایش‌ها

برای پرداخت‌کاری از یک گل ساینده مغناطیسی به عنوان ابزار استفاده می-شود (شکل ۱). در این فرآیند شدت جریان مغناطیسی ۲ تسلا توسط چهار تکه آهن‌ربای ثابت که هرکدام قطاعی از یک دایره هستند تولید می‌شود. آهن‌رباهای ثابت از جنس ND-FE-D می‌باشند (شکل ۲). ابعاد این آهن‌رباها در نحوه استقرار و کارایی آن‌ها در فرآیند بسیار اهمیت دارد که مشخصه‌های آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

شکل ۱ برس ساینده



شکل۲ آهن‌رباهای تولید کننده میدان مغناطیسی

1. Ball Screw

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ مشخصات آهن‌رباها (ابعاد به میلی‌متر هستند)

ضخامت	شعاع	ارتفاع	طول قطاع
۷	۴۸	۳۹	۴۵

به‌دلیل جنس سخت مارپیچ و نتایج حاصل شده از مطالعه‌های قبل، پودر ساینده با جنس سیلسیم کارباید مورد استفاده قرار گرفت [۸]. با توجه به بررسی‌های قبلی، هفت پارامتر موثر بر پرداخت‌کاری انتخاب و هرکدام با ۵ میزان متفاوت مورد آزمایش قرار گرفته که تاثیر هریک از پارامترها بر روی پرداخت سطوح مارپیچ مشخص می‌گردد[۹،۱۰]. برای انجام کار به تجهیزات مخصوصی برای این کار نیاز است. از جمله این تجهیزات یک دستگاه برای ایجاد چرخش و انجام حرکت پیشروی می‌باشد که برای این کار از یک دستگاه تراش استفاده شده است.

برای نگه داشتن آهن‌رباها نیز یک فیکسچر طراحی و ساخته شده که منبع تولید میدان مغناطیسی درون آن قرار گرفته و به ابزارگیر ماشین‌تراش متصل می‌گردد (شکل ۳). برای جلوگیری از پاشش پودر ساینده و نگه‌داشتن آن در اطراف مارپیچ یک پوسته ساخته شده که قطعه‌کار همراه با ابزار ساینده درون آن قرار گرفته و فرآیند پرداخت‌کاری انجام می‌شود. این پوسته به ضخامت ۳ میلی‌متر انتخاب شده است که میدان مغناطیسی از آن عبور کرده و قابلیت کنترل برس ساینده را دارد. برای جلوگیری از تاثیر میدان مغناطیسی بر روی کل پوسته و از هم‌پاشیدگی میدان مغناطیسی پوسته از جنس پلی‌آمید می‌باشد (شکل ۴).

برای چرخش بهتر مارپیچ درون پوسته دو یاتاقان در ابتدا و انتهای مارپیچ قرار داده می‌شود. برای بسته شدن مارپیچ به سه نظام اسپیندل دستگاه تراش، در انتهای پوسته محلی برای خروج دنباله مارپیچ در نظر گرفته شد. پوسته باید ثابت نگه داشته شود که برای این امر از مرغک ثابت دستگاه تراش استفاده می‌گردد.

قطعه‌کار از جنس CK45 و بریده شده از تکه‌ای از پیچ ساچمه‌ای دستگاه CNC می‌باشد که در شکل ۵ نشان داده شده است. مشخصات فیزیکی و هندسی قطعه‌کار در جدول ۲ مشخص شده است. زبری سطح آن قبل از انجام آزمایشها نیز توسط دستگاه زبری‌سنج شرکت میتوتویو نشان داده شده در شکل ۶ اندازه‌گیری و زبری برابر با ۱/۰۱۷ میکرومتر ثبت گردید. نمونه زبری سطح بدست آمده از سطح اولیه قطعه در شکل ۷ نشان داده شده است. تمام نمونه‌ها قبل از آزمایش با سنباده‌زنی به زبری سطح یکسان قبل از کار می‌رسند. برای قرار گرفتن نمونه آزمایش در دستگاه زبری‌سنج و میکروسکوپ الکترونی، توسط دستگاه وایرکات مقدار یک گام از آن برش خورده و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

شکل ۳ فیکسچر آهنرباها

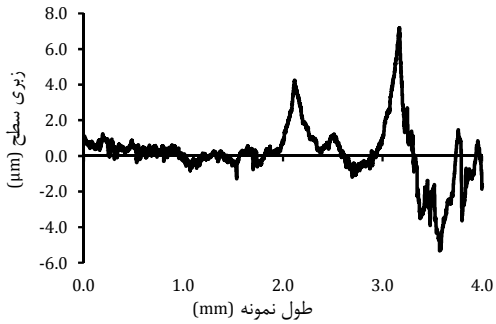
شکل ۴ پوسته پلی آمیدی نگه دارنده برس ساینده و قطعه‌کار

شکل ۵ نمونه قطعه‌کار مورد بررسی

جدول ۲ مشخصه‌های فیزیکی و هندسی قطعه‌کار

مشخصه‌های شناسایی و ترکیب آلیاژ	
نماد	Ck45
کد	۱/۱۱۹۱
چگالی	۷/۸۵
Ni	<۰/۴۰
Mo	<۰/۴۰
Cr	<۰/۴۰
Mn	۰/۶۵
Si	۰/۴۶
C	۰/۴۶
مشخصه‌های ابعادی قطعه‌کار	
نوع مارپیچ	چپ گرد
شعاع درون مارپیچ (mm)	۷
گام (mm)	۱۵
طول (mm)	۱۰۰
قطر داخلی (mm)	۲۲
قطر خارجی (mm)	۲۸

شکل ۶ دستگاه زبری‌سنج مورداستفاده در تحقیق



شکل ۷ نمودار زبری‌سنجی برای نمونه قبل از آزمایش

www.SID.ir

Archive of SID

برای شروع ابتدا باید برس ساینده را که از مخلوط ذرات سیلیسم کارباید و پودر آهن و همچنین مقداری روان‌کار تشکیل شده است، تهیه گردد. هرکدام از پودرها را با مقدار مشخص شده با یکدیگر مخلوط شده و درون پوسته که مارپیچ در آن نصب شده است، قرار می‌گیرد. فیکسچر آهن‌رباها نیز در قسمت ابزارگیر مطابق شکل ۸ نصب می‌شود. پس از تهیه برس ساینده سیلیکون کارباید آن را درون پوسته که مارپیچ درون آن قرار دارد ریخته می‌شود. در پوش پوسته را بسته و دنباله مارپیچ به اسپیندل دستگاه تراش بسته می‌شود. قسمت انتهایی پوسته را نیز به مرغک دستگاه تراش متصل کرده که هم پوسته را در مرکز نگه دارد و هم به دلیل ثابت بودن مرغک از چرخش پوسته نیز جلوگیری کند. بعد از انجام تنظیم‌های مربوط به سرعت دورانی و سرعت پیشروی و با نصب فیکسچر آهنرباها و مرکز کردن آن با اطراف پوسته، دستگاه را روشن کرده و به مدت۲۰ دقیقه به آن زمان می‌دهیم که عمل پرداخت‌کاری را انجام دهد. بعد از سپری شدن زمان پرداخت‌کاری و باز کردن اسپیندل و درب پوسته، مارپیچ را از آن خارج کرده و زبری سطح توسط دستگاه زبری سنج مورد بررسی قرار گرفته و مقدار زبری سطح برای نمونه به دست می‌آید. بعد از شستشوی پوسته آزمایش‌ها ادامه پیدا می‌کند. مشخصات و پارامترهای مورد بررسی در این فرایند در جدول ۳ و ۴ نشان داده شده است.

۳- نتایج و بحث

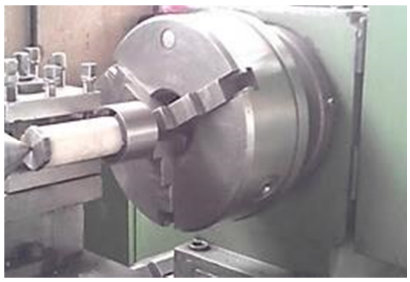
با انجام آزمایش‌ها و بررسی زبری سطح به‌دست آمده به تاثیر پارامترهای درگیر در فرآیند که در ادامه آورده شده است پرداخته می‌شود. برای بررسی یک پارامتر، سایر مقادیر ثابت در نظر گرفته شده است که مقادیر ثابت دیگر پارامترها مطابق جدول ۵ می‌باشد.

۳-۱- اندازه ذرات ساینده

جهت بررسی این پارامتر از ذرات سیلیسیم کارباید و در پنج اندازه مش ۵۰۰، ۴۰۰ ، ۳۰۰ ، ۲۰۰ و ۱۰۰ استفاده می‌شود. تاثیر این پارامتر روی زبری سطح حاصل شده در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود به‌صورت کلی هرچه از ذرات با اندازه درشت‌تر استفاده می‌شود به صافی سطح بالاتری دست پیدا خواهیم کرد. این موضوع به دلیل جنس سخت نمونه مورد آزمایش و کیفیت سطح پایین آن قبل از کار است. ذرات سیلیسم کارباید با اندازه ذرات ریز توانایی برداشت براده و سایندگی کمتری را دارند، به همین دلیل نمونه‌هایی که با این ذرات پرداخت شده‌اند دارای کیفیت سطح پایین‌تری می‌باشند. اما ذرات ساینده با اندازه درشت‌تر به دلیل داشتن لبه‌های ساینده بیشتر و درگیری بهتر با سطح نمونه میزان براده‌برداری بیشتر و در نتیجه کیفیت سطح بالاتری را حاصل می‌کنند. کیفیت سطح تا مقدار مشخصی بهبود پیدا می‌کند ولی با درشت‌تر شدن ذرات ساینده از حد معینی به دلیل ایجاد شیارهای عمیق روی سطح نمونه کیفیت سطح پایین آمده و زبری سطح افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۳ پارامترهای ماشین و سیال

پارامترها	مقادیر
سرعت دوران (rpm)	۳۵۵، ۵۰۰، ۷۱۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰
سرعت پیشروی (mm/min)	۷، ۱۰، ۱۳ ، ۱۵، ۲۰، ۲۵
ویسکوزیته روان‌کار(P)	۳۰
مقدار روان‌کار (g)	۳، ۴، ۵، ۶، ۷



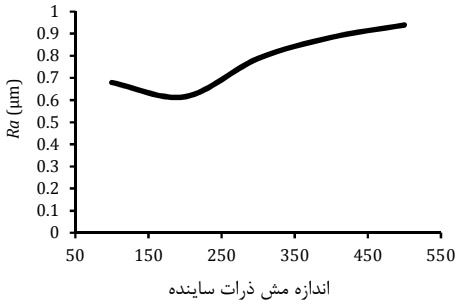
شکل ۸ نصب و انجام آزمایش‌ها بر روی دستگاه

جدول ۴ پارامترهای ابزار

پارامترها	مقادیر
مقدار ذرات ساینده (g)	۴، ۵، ۶، ۷، ۸
اندازه ذرات ساینده (μm)	۵۰۰
مقدار ذرات فرومغناطیس (g)	۴
اندازه ذرات فرو مغناطیس (مش)	۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰
جهت میدان مغناطیسی	۳، ۴، ۲
قدرت میدان مغناطیسی (T)	۲
فاصله کاری (mm)	۵، ۴/۵، ۴، ۳/۵، ۳
زمان (min)	۱۵،۱۰، ۲۰، ۲۵، ۳۰

جدول ۵ مقادیر ثابت برای بررسی تغییرات یک پارامتر

پارامتر	مقدار
سرعت دوران(rpm)	۷۱۰
سرعت پیشروی (mm/min)	۲۰
مقدار ذرات ساینده (g)	۴
اندازه ذرات فرو مغناطیس (مش)	۱۰۰
جهت میدان مغناطیسی	۴
فاصله کاری (mm)	۳
زمان (min)	۲۰
مقدار روانکار(g)	۴



شکل ۹ تاثیر اندازه ذرات ساینده بر صافی سطح

در نتایج به‌دست آمده مشاهده می‌شود که بیشترین کیفیت سطح در مش ۲۰۰ به میزان ۰/۶۱۵ میکرومتر به‌دست آمده است. تصویر گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی در شکل ۱۰ نشان دهنده تغییر به وجود آمده در سطح با تغییر در اندازه ذرات ساینده می‌باشد.

۳-۲- سرعت دورانی

سرعت دورانی یکی از مهم‌ترین پارامترهای فرآیند پرداخت‌کاری می‌باشد. در این تحقیق برای بررسی تاثیر این پارامتر از سرعت‌های ۳۵۵، ۵۰۰، ۷۱۰،

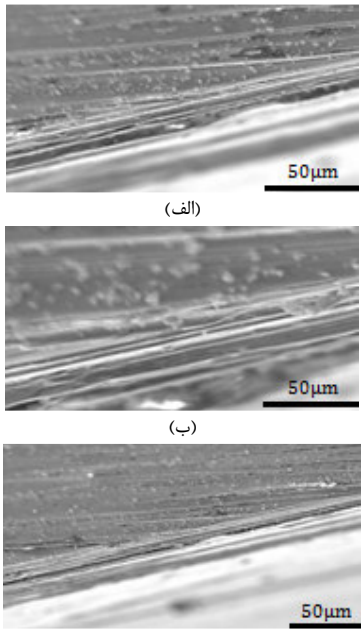
www.SID.ir

Archive of SID

۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ دور بر دقیقه استفاده شده است. نمودار تغییر زبری سطح با تغییر سرعت دورانی در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است با افزایش سرعت دورانی کیفیت سطح به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد. این افزایش زیاد کیفیت سطح در سرعت‌های بالا به دلیل افزایش برخورد برس ساینده و افزایش تعویض لبه‌های برنده در برخورد با سطح نمونه می‌باشد. هرچه سرعت بالاتر باشد خمیر ساینده تعداد دفعات بیشتری بر روی سطح کشیده می‌شود و در نتیجه کیفیت سطح بهتری را به وجود می‌آورد. البته همان‌طور که در نمودار بدست آمده مشخص است، در سرعت‌های بالای ۱۰۰۰ دور بر دقیقه کیفیت سطح روبه کاهش است که این کاهش ناشی از پراکندگی گل ساینده در روی مارپیچ و درنتیجه کاهش کارایی فرآیند است. در نتیجه با افزایش سرعت تا ۱۵۰۰ دور بر دقیقه شاهد کاهش کیفیت سطح خواهیم بود. بهترین کیفیت سطح در بررسی این پارامتر در دور ۱۰۰۰ دور بر دقیقه به میزان ۰/۴۵۵ میکرومتر حاصل گردید.

۳-۳- سرعت پیشروی

سرعت پیشروی میزان سرعت حرکت حلقه‌های مغناطیسی در اطراف پوسته

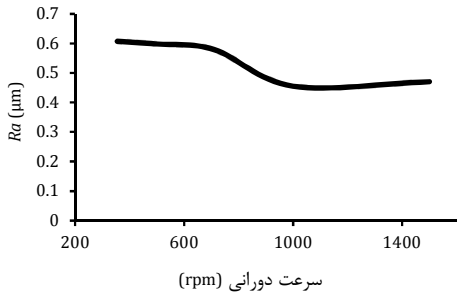


(الف)

(ب)

(ج)

شکل ۱۰ تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح در پرداخت‌کاری با ذرات مش الف- ۱۰۰، ب-۳۰۰ و ج-۵۰۰



شکل ۱۱ تاثیر سرعت دورانی بر صافی سطح

در جهت موازی با محور ماشین است که با این حرکت، برس ساینده بر روی نمونه جابه‌جا شده و موجب برداشت براده از سطح آن می‌شود. برای بررسی تاثیر این پارامتر از سرعت پیشروی‌های به ترتیب ۵، ۷، ۱۰، ۱۳ و ۱۵ میلی-متر بر دقیقه استفاده گردید. نتایج حاصل از تاثیر این پارامتر روی زبری سطح در شکل ۱۲ نشان داده شده است. با بررسی شکل ۱۲ می‌توان فهمید که با افزایش سرعت پیشروی کیفیت سطح کاهش می‌یابد و این کاهش به دلیل افزایش سرعت عبور برس ساینده از روی نمونه می‌باشد. هر چه میزان سرعت عبور بیشتر باشد برس ساینده به تعداد دفعات کمتری با قطعه‌کار برخورد داشته و در نتیجه کیفیت سطح کاهش می‌یابد. البته به طور کلی میزان تاثیر پارامتر سرعت پیشروی نسبت به سایر پارامترها کمتر بوده و از کمترین مقدار (۵ میلی‌متر بر دقیقه) تا میزان ۱۳ میلی‌متر بر دقیقه تفاوت چشمگیری ملاحظه نمی‌شود و تنها با افزایش این سرعت تا ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه شاهد کاهش کیفیت سطح به طور محسوسی خواهیم بود.

۳-۴- جهت اعمال میدان مغناطیسی

برای انجام این آزمایش و بررسی میزان تاثیر جهت اعمال میدان مغناطیسی، آهن‌رباهای ثابت با قدرت ۲ تسلا به ترتیب در سه جهت مختلف و به‌صورت ۴ طرفه، ۳ طرفه و ۲ طرفه در اطراف قطعه‌کار قرار می‌گیرند. نتایج حاصل از تاثیر این پارامتر روی زبری سطح حاصل شده در شکل ۱۳ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در حالت قرار دادن ۴ طرف و ۳ طرف تغییر اندکی در کیفیت سطح به‌وجود می‌آید که محسوس نمی‌باشد، اما در حالت قرار دادن میدان در دو طرف قطعه‌کار میزان صافی سطح به مقدار قابل توجهی بهبود می‌یابد. این افزایش به دلیل متمرکز شدن بیشتر برس ساینده در دو نقطه و افزایش میزان براده‌برداری در آن نقاط و هم‌چنین فشرده شدن بسیار زیاد برس به سطح قطعه‌کار می‌باشد.

۳-۵- مقدار ذرات ساینده

پارامتر مورد بررسی بعدی مقدار ذرات ساینده مخلوط شده در برس ساینده یا همان خمیر براده‌برداری می‌باشد. برای بررسی آن از پودر سیلیسم کارباید با مش ۵۰۰ و به ترتیب از ۵ مقدار ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ گرم استفاده شده است. دیگر پارامترها، مشابه حالت‌های دیگر ثابت بوده است. تاثیر این پارامتر روی زبری سطح در شکل ۱۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش میزان ذرات سیلیسم کارباید موجود در برس ساینده میزان صافی سطح بهبود می‌یابد. این بهبود کیفیت به دلیل سخت بودن جنس قطعه‌کار و همچنین استفاده از پودر ساینده بیشتر و در نتیجه افزایش تعداد لبه‌های برنده دور از انتظار نبوده که مطالعات قبلی نیز بیان کننده همین موضوع می-باشد [۶]. ذرات ساینده مورد استفاده دارای شکل نامنظم بوده اما هر کدام داری مش مشخصی می‌باشند. تصویری که در قبل از فرآیند پرداخت‌کاری از مخلوطی از اندازه‌های مختلف ذرات ساینده گرفته شده نشان دهنده شکل هندسی نامنظم با لبه‌های تیز این ذرات می‌باشد که با مقایسه آن تصویر با تصاویری که بعد از انجام عملیات پرداخت‌کاری از ذرات ساینده که چربی-زدایی شده و ذرات پودر آهن کاملا از آن‌ها جدا شده است، نشان‌دهنده تغییراتی در شکل ظاهری و حتی ابعاد ذرات می‌باشد. این تغییر شکل‌ها ناشی از ساییده شدن و کند شدن ذرات بر اثر باربرداری از سطح مارپیچ می-باشد. همچنین ممکن است بر اثر برخورد شدید برخی دانه‌ها با یکدیگر و یا با سطح مارپیچ، به خاطر ترد بودن جنس ذرات دچار ترک شده و بشکنند که این امر توجیه مناسبی برای کاهش اندازه ذرات ساینده می‌باشد. در شکل ۱۵

www.SID.ir

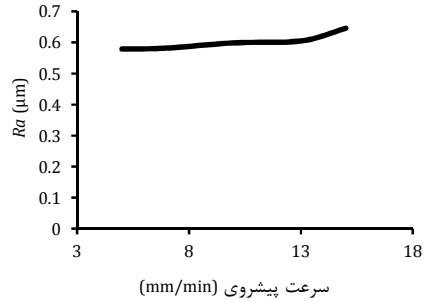
Archive of SID

یک تصویر از ذرات ساینده با مش ۲۰۰ پس از کار تهیه شده است. مشاهده می‌شود که اندازه ذرات کاهش یافته و همچنین لبه‌های برنده ذرات ساینده تا حد زیادی دچار شکستگی و صاف شده است. این امر می‌تواند دلیلی برای کاهش بازدهی فرآیند در مدت زمان‌های طولانی عملیات باشد.

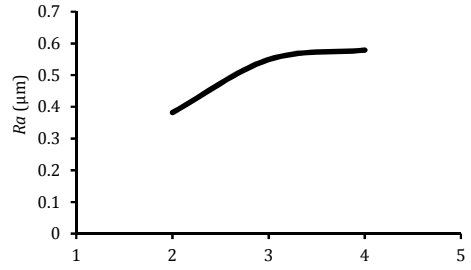
۳-۶- مقدار روان‌کار

مقدار روان‌کار نیز از نکات دارای اهمیت فراوان در این فرآیند است. افزایش یا کاهش آن می‌تواند تاثیر قابل توجهی در فرآیند داشته باشد که در ادامه جهت روشن شدن این موضوع به بررسی تاثیر مقدار روان‌کار روی زبری سطح پرداخته می‌شود. برای بررسی این پارامتر از روغن صنعتی با ویسکوزیته ۳۰ در ۵ مقدار ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ گرم استفاده گردید. تاثیر مقدار روان‌کار بر روی کیفیت سطح در شکل ۱۶ نشان داده شده است.

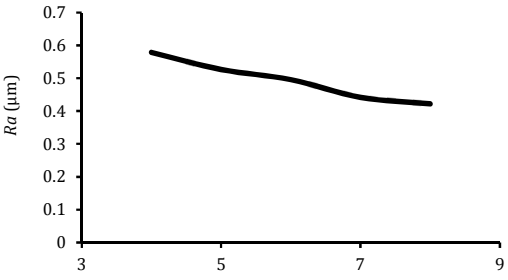
با تحلیل و بررسی نتایج می‌توان گفت که با افزایش میزان ماده روان‌کار کیفیت سطح بهبود پیدا می‌کند. دلیل این افزایش کیفیت سطح نیز به هم چسبیدگی بیشتر برس سایینده و جلوگیری از پراکندگی آن می‌باشد.



شکل ۱۲ تاثیر سرعت پیشروی بر صافی سطح

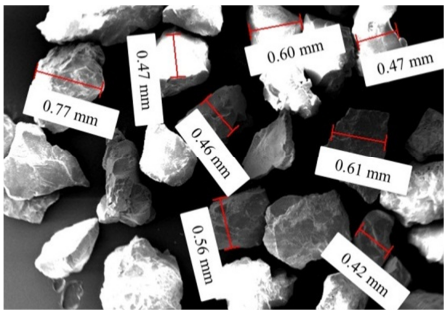


شکل ۱۳ تغییر صافی سطح با تغییر جهت اعمال میدان مغناطیسی



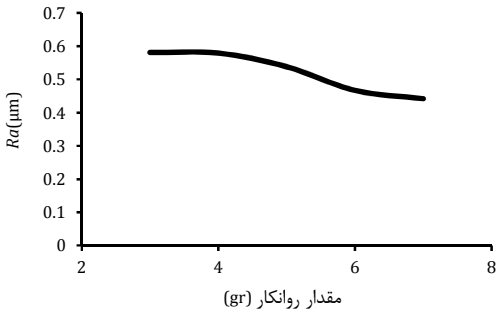
شکل ۱۴ میزان تغییر صافی سطح با تغییر مقدار ذرات ساینده

(الف)



(ب)

شکل ۱۵ لبه‌ها و اندازه ذرات ساینده با مش ۲۰۰، الف- بعد و ب- قبل از کار



شکل ۱۶ میزان تغییر صافی سطح با تغییر مقدار روانکار

۳-۷- فاصله‌کاری

فاصله‌کاری همان فاصله بین آهن‌رباهای تولید کننده میدان مغناطیسی تا سطح قطعه‌کار می‌باشد. در این‌جا آهن‌رباها با سطح خارجی پوسته‌ها مماس بوده که با کم و زیاد کردن قطر داخلی پوسته‌ها، ۵ اندازه مختلف برای بررسی تاثیر این پارامتر حاصل می‌شود. فاصله‌های کاری مورد بررسی به ترتیب ۳، ۳/۵، ۴، ۴/۵ و ۵ میلی‌متر می‌باشند. تاثیر پارامتر فاصله‌کاری روی زبری سطح در شکل ۱۷ نشان داده شده است. با مشاهده نمودار می‌توان فهمید هرچه میزان فاصله‌کاری بین پوسته و قطعه‌کار افزایش یابد، میزان کیفیت سطح کاهش می‌یابد و می‌توان دید که از همان ابتدای کار با افزایش فاصله میزان زبری سطح به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. دلیل کاهش زبری سطح در فاصله‌های کاری پایین نزدیک‌تر شدن میدان مغناطیسی به نمونه می‌باشد که خود باعث افزایش تاثیر میدان مغناطیسی و همگن‌تر شدن برس سایینده می‌شود. همچنین با کاهش فاصله‌کاری موجود بین پوسته و قطعه‌کار میزان فشردگی خمیر سایینده بین قطعه و پوسته بیشتر می‌شود که این خود باعث فشار بیشتر ذرات ساینده بر روی سطح و در نتیجه براده‌برداری بیشتر و بالا رفتن کیفیت سطح می‌گردد. افزایش کیفیت سطح با کاهش میزان فاصله-کاری در مطالعه‌های قبلی مشاهده شده است [۱۱].

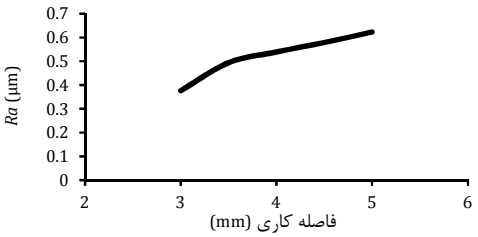
www.SID.ir

Archive of SID

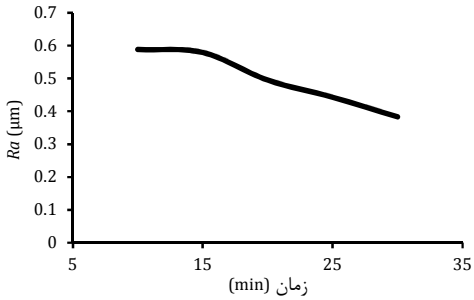
۳-۸- زمان

یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر روی اکثر فرآیندهای ماشین‌کاری و به ویژه پرداخت‌کاری، زمان می‌باشد. زمان یک فرآیند گاهی باعث افزایش کارایی فرآیند شده و گاهی نیز باعث کاهش قابلیت‌های ماشین‌کاری و در نتیجه صرفه اقتصادی کار را پایین می‌آورد. برای بررسی این پارامتر از مدت زمان-های ماشین‌کاری ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دقیقه استفاده می‌شود. تاثیر مدت زمان عملیات روی زبری سطح حاصل شده در شکل ۱۸ نشان داده شده است. با مشاهده نتایج حاصل شده می‌توان فهمید که زمان فرآیند تاثیر بسیار زیادی بر روی کیفیت سطح بدست آمده داشته به گونه‌ای که با افزایش زمان میزان کیفیت سطح به طور قابل توجهی افزایش یافته است. در زمان ۳۰ دقیقه یکی از بهترین نتایج اخذ می‌شود. دلیل این افزایش کیفیت هم افزایش مدت قرارگیری برس ساینده در روی قطعه‌کار و برداشت ذرات بیشتری از روی سطح و در نتیجه پرداخت‌کاری بیشتر قطعه‌کار می‌باشد.

دو تصویر شکل ۱۹ که توسط میکروسکوپ روبشی الکترونی از دو زمان مختلف تهیه شده، نشان‌دهنده تفاوت برداشت براده در زمان‌های مختلف ماشین‌کاری می‌باشد. تصویر الف نشان دهنده مقدار براده برداشته شده در زمان ۲۵ دقیقه و تصویر ب نشان دهنده براده برداشته شده در زمان ۱۵ دقیقه می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان ماشین‌کاری میزان براده‌های برداشته شده از سطح که بر روی ذرات سیلیسم کارباید قرار گرفته است افزایش قابل توجهی دارد. این افزایش در مطالعه‌های قبلی بر روی سطوح دیگر نیز مشاهده شده است [۱۲].

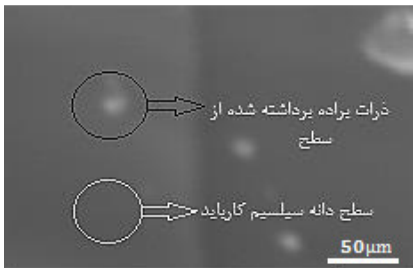


شکل ۱۷ میزان تغییر صافی سطح با تغییر فاصله‌کاری



شکل ۱۸ میزان تغییر صافی سطح با تغییر زمان ماشین‌کاری

(الف)



(ب)

شکل ۱۹ تغییر در میزان ذرات برداشته شده در زمان‌های مختلف، الف-۲۵ دقیقه و ب- ۱۵ دقیقه

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی تاثیر پارامترهای تاثیرگذار در فرایند پرداخت‌کاری قطعات با هندسه پیچیده و با استفاده از روش سایش به کمک ذرات ساینده مغناطیسی پرداخته شده است. با توجه به بررسی پارامترها نکات زیر به‌منظور کسب بهترین نتیجه مورد توجه واقع شده است:

- افزایش سرعت دورانی قطعه اثر قابل توجهی در بهبود صافی‌سطح دارد. بهترین نتایج در این آزمایش در دور ۱۰۰۰ rpm به‌دست آمده است.
- مشاهده شد که افزایش سرعت پیشروی تاثیر بسیار کمی در کیفیت سطح نهایی نمونه دارد.
- مقدار ذرات ساینده باعث تغییر چشم‌گیری در فرآیند پرداخت‌کاری این-گونه قطعات نمی‌شود.
- با بزرگ شدن اندازه ذرات فرومغناطیس صافی سطح بیشتر می‌شود که با افزایش هرچه بیشتر این ذرات، میزان تاثیرگذاری آن‌ها نیز کمتر می‌شود.
- با افزایش مقدار روانکار مخلوط همگن‌تر شده و در نتیجه صافی سطح بهتری را حاصل می‌دهد.
- جهت اعمال میدان مغناطیسی با توجه به نتایج تجربی تاثیر قابل توجهی در فرآیند داشته و با افزایش جهت اعمال میدان مغناطیسی میزان صافی سطح کاهش می‌یابد.
- افزایش فاصله بین آهنربای تولید کننده میدان و سطح مورد نظر برای پرداخت‌کاری منجر به کاهش کیفیت سطح می‌شود.
- با افزایش زمان پرداخت‌کاری بهبود در صافی سطح نسبت به سایر پارامترها قابل توجه است.

۵- تشکر و قدردانی

از آزمایشگاه مقاومت مصالح امیرکبیر و همچنین از آزمایشگاه خواص مواد دانشگاه صنعتی اصفهان به جهت در اختیار قرار دادن تجهیزات آزمایشگاهی و اندازه‌گیری تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

۶- مراجع

[1] V. Jain, *Advanced Machining Processes*, pp. 95-120, Inderscience Enterprises, 2011.
[2] T. Shinmura, K. Takazawa, E. Hatano, Study on magnetic abrasive finishing, *CIRP Annals*, Vol. 39, pp. 325-328, 1990.
[3] T. Shinmura, H. Yamaguchi, A new process for internal finishing of tube by the application of a new magnetic field, *Japan Society of Precesion Engineering Journal*, Vol. 38, No. 1, pp. 15-18, 1994.
[4] V. Jain, K. Prashant, P. Behera, S. Jayswal, Effect of working gap and circumferential speed on the performance of magnetic abrasive finishing process, *Wear*, Vol. 250, pp. 384-390, 2001.
[5] S. Dhirenda, V. Jain, V. Raghuram, Experimental investigations into forces acting during a magnetic abrasive finishing process, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 30, No. 7, pp 652-662, 2006.

www.SID.ir

Archive of SID

[6] S. Don Mun, Micro machining of high hardness materials using magnetic abrasive grains, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 11, No. 5, pp 763-770, 2010.
[7] T. Im Ik, S. Don Mun, micro machining of an STS304 bar by magnetic abrasive finishing, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 23, No. 7, pp 1982-1988, 2009.
[8] M. Vahdati, Nanometric Finishing of Flat Surfaces Using Magnetic Field, *Amirkabir Journal of Science & Research (Mechanical Engineering)*, Vol. 42, No. 3, pp. 39-48, 2009. (In Persian)
[9] Yan, B.H, Chang, G.W, Chang, J.H, Hsu, R.T, Improving Electrical Discharge Machined Surface Using Magnetic Abrasive Finishing, *Machinig Science and Technology*, Vol. 8, No. 1, pp. 103-118, 2004.
[10] M.Vahdati, E.Sadeghinia, Effect of Lubricant volume and Working Gap on the Magnetic Abrasive Finishing Process, *Proceedings of 9th Iranian Conference on Manufacturing Engineering (ICME 2010)*, Birjand, Iran 2009. (In Persian)
[11] J. Singh, R. Sham, Experimental Investigation of Process Parameter of MAF on Surface Roughness, *International Journal of Science, Technology and Management*, Vol. 4, No. 5, pp. 0963-770, 2013.
[12] S. Don Mun, Micro Machining of High-Hardness Materials Using Magnetic Abrasive Grains, *International Journal of Precesion Engineering and M*anufacturing, Vol. 11, No. 5, pp. 763-770, 2009.

www.SID.ir