مجله مهندسی مکانیک مدرس، فوق‌العاده اسفند 1393، دوره 14، شماره 13، ص‌ص 265-271

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

بررسی اثرات سختی قطعه کار و پارامترهای برش بر زبری سطح و نیروی ماشین‌کاری در فرآیند سوراخ‌کاری با استفاده از سیال برشی پایه گیاهی

احمدرضا امیددودمان[1]، حامد حسن پور[2]، محمدحسین صادقی[3*]، امیر راستی[4]، محمدحسین سعادت‌بخش[5]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
2- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
3- استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
4- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
5- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
* تهران، صندوق پستی 143-14115، sadeghim@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 23 خرداد 1393
پذیرش: 24 مرداد 1393
ارائه در سایت: 16 مهر 1393

کلید واژگان:
سوراخ‌کاری
فولاد آلیاژی 4340
سختی قطعه کار
زبری سطح
روغن پایه گیاهی

چکیده

فولاد AISI 4340 یک فولاد کم آلیاژ با استحکام کششی بالا است که کاربردهای متعددی در صنعت دارد. ماشین‌کاری این فولاد به دلیل داشتن خواص ویژه‌ای مانند سرعت انتقال حرارت پایین و تمرکز حرارت در موضع برش همواره با مشکلاتی همراه است. از این‌رو استفاده از سیال‌های برش در ماشین‌کاری این فولاد اجتناب‌ناپذیر است. از سوی دیگر، مشکلات زیست‌محیطی کاربرد روان‌کارهای معدنی، صنایع را به استفاده از روغن‌های زیست‌سازگار سوق داده است. از جمله‌ی این سیال‌های برش، روغن‌های پایه گیاهی هستند. هدف از انجام این پژوهش، بررسی فرآیند سوراخ‌کاری فولاد آلیاژی AISI 4340 در حضور روان‌کاری نیمه‌خشک و با استفاده از روغن پایه گیاهی سویا است. بدین منظور پارامترهای فرآیند سوراخ‌کاری شامل پیشروی و سرعت برشی در سه سطح و سختی قطعه‌کار در دو سطح انتخاب گردید. در مجموع تعداد 18 آزمایش توسط ابزار مته کاربیدی پوشش‌دار صورت گرفت. نتایج نشان داد که روغن پایه گیاهی به خوبی می‌تواند در فرآیند سوراخ‌کاری با استفاده از روش روان‌کاری نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرد. همچنین پیشروی مهم‌ترین عامل در تعیین نیروی برش و زبری سطح بوده و افزایش آن باعث بالا رفتن نیروی برشی و بدتر شدن کیفیت سطح شد. در ضمن سختی قطعه کار تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای را بر اندازه‌ی زبری سطح نشان داد.

Evaluation of workpiece hardness and cutting parameters effects on cutting force and surface roughness in drilling using vegetable-based cutting fluid

Ahmad Reza Omiddodman, Hamed Hassanpour, Mohammad Hosein Sadeghi*, Amir Rasti, Mohammad Hosein Saadatbakhsh

Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
* P.O. B. 14115-143, Tehran, Iran, sadeghim@modares.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 13 June 2014
Accepted 16 August 2014
Available Online 08 October 2014

Keywords:
Drilling, AISI4340
Workpiece Hardness
Surface Roughness
Vegetable-Base Oil

ABSTRACT

AISI 4340 steel is a low alloy steel with high tensile strength that has numerous applications in industry. Machinability of this alloy steel is difficult due to its low heat conduction and high heat concentration in cutting zone. Therefore, use of cutting fluids in machining of this steel is inevitable. On the other hand, environmental problems of using mineral lubricants lead industries to use of biodegradable oils such as Vegetable-based cutting fluids. The aim of this study is to investigate the drilling of AISI4340 alloy steel in presence of semi-dry lubricant using soybean vegetable-based oil. For this purpose, drilling parameters including feed rate and cutting speed at three levels and workpiece hardness at two levels were chosen. Totally 18 experiments were carried out using coated carbide drill. Results revealed that vegetable-based oil can be used effectively in drilling using a semi-dry lubrication method. In addition, feed rate was the most effective parameter on cutting force and surface roughness and by increasing it, the cutting force increased, and the surface quality deteriorated. Also, workpiece hardness showed significant effect on surface roughness.

1- مقدمه

امروزه ماشین‌کاری به دلیل مزایایی چون سرعت بالای تولید و دقت ابعادی مناسب سهم عمده‌ای از عملیات ساخت و تولید قطعات را به خود اختصاص داده است. یکی از حساس‌ترین مراحل تولید محصولات ماشین‌کاری شده، فرآیند سوراخ‌کاری است که به طور گسترده در ساخت قطعات به کار گرفته

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:
A. R. Omiddodman, H. Hassanpour, M. H. Sadeghi, A. Rasti, M. H. Saadatbakhsh, Evaluation of workpiece hardness and cutting parameters effects on cutting force and surface roughness in drilling using vegetable-based cutting fluid, *Modares Mechanical Engineering,* Vol. 14, No. 13, pp. 265-271, 2015 (In Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.10.3]

می‌شود، به طوری که در بعضی از کشورهای صنعتی فرآیند سوراخ‌کاری 50% حجم فرآیند تولید قطعات را در بر می‌گیرد [1].

نیروی برشی و زبری سطح دو فاکتور مهم و قابل‌توجه در فرآیندهای سوراخ‌کاری هستند که متأثر از پارامترهای مختلفی از جمله سرعت برشی، نرخ پیشروی، عمق برش، سختی قطعه کار، نوع روان‌کار مصرفی و هندسه‌ی ابزار می‌باشند. زبری سطح یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های سطح قطعات ماشین‌کاری است که با اثرگذاری بر خواصی نظیر مقاومت به سایش، استحکام خستگی و مقاومت به خوردگی، نقش بسزایی در عملکرد و عمر نهایی آن‌ها دارد [2].

اساس فرآیند سوراخ‌کاری، برداشتن براده از طریق اعمال نیرو است. از طرف دیگر افزایش بیش از حد نیروی ماشین‌کاری باعث بروز خطا در فرآیند می‌شود. لذا مطالعه‌ی نیروهای ماشین‌کاری، به دلیل مطرح‌شدن بحث انطباقات در سوراخ‌کاری و اهمیت دقت سوراخ، از عوامل موثر در عملکرد قطعات خواهد بود [3]. یکی از راه‌کارهای کاهش زبری سطح و نیروی برشی در سوراخ‌کاری، استفاده از سیال‌های برشی مناسب جهت روان‌کاری و خنک‌کاری موضع برش است. درعین‌حال به‌کارگیری این روان‌کارها با مشکلاتی نیز همراه است. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به مواردی چون مشکلات زیست‌محیطی، سلامتی اپراتور و همچنین هزینه بالای مصرفی آن‌ها (حدود 17% هزینه عملیات ماشین‌کاری) اشاره کرد [5,4]. از این رو، در فرآیندهای ماشین‌کاری تمایل زیادی به حذف و یا به حداقل رساندن کاربرد سیال‌های برشی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روان‌کاری نیمه‌خشک[1] یا روان‌کاری با حداقل سیال برشی (MQL[2]) است که در آن، مخلوط هوا و سیال برشی به صورت اسپری با فشار بالا به ناحیه برش پاشیده می‌شود [6].

تحقیقاتی در این زمینه، به ویژه روش MQL در فرآیندهای مختلف ماشین‌کاری صورت گرفته است. ربیعی و همکاران [7] تأثیر شرایط روان‌کاری مختلف و سختی قطعه کار را در سنگ‌زنی دو نوع فولاد تندبر خام (25 راکول‌سی) و سخت‌شده (63 راکول‌سی) بررسی کردند. آزمایش‌ها در سه محیط روان‌کاری تر[3]، MQL و خشک[4]، با استفاده از چرخ سنگ اکسید آلومینیوم انجام شد. بهترین صافی‌سطح، کمترین نیروی مماسی و ضریب اصطکاک در هنگام سنگ‌زنی فولاد سخت‌شده و در حالت MQL به دست آمد. مطالعه زبری سطح و نیروی برش در تراش‌کاری سرعت بالای سوپرآلیاژ مونل K500 در حضور روان‌کاری MQL توسط امینی و همکاران [8] صورت گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از این روش روان‌کاری، کاهش قابل‌ملاحظه زبری سطح و سایش ابزار را در پی دارد. کیواک و همکاران [3] تغییرات زبری و نیرو را در فرآیند سوراخ‌کاری فولاد AISI 4340 با دو نوع ابزار پوشش‌دار و بدون پوشش انجام دادند. آزمایش‌ها در شرایط خشک و بدون روان‌کار انجام گرفت و اثرات پیشروی و سرعت برشی به عنوان متغیرهای ورودی درنظرگرفته شدند. نوع ابزار مصرفی و پیشروی به ترتیب به عنوان مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر زبری سطح و نیروی برشی گزارش شدند. تسائو و هوچنگ [9] سوراخ‌کاری کامپوزیت‌های فلزی را مورد بررسی قراردادند. پیشروی، سرعت برشی و قطر ابزار فاکتورهای متغیر آزمایش بودند. در پایان سرعت برشی و پیشروی به عنوان عوامل موثر بر زبری سطح، پیشروی و قطر ابزار عوامل موثر بر نیرو نتیجه گرفته شدند. کرت و همکاران [10] کیفیت سطح و خطای قطری را در سوراخ‌کاری Al 2024 با استفاده از روش طراحی آزمایش تاگوچی[5] بهینه کردند. آزمایش در شرایط خشک انجام شد و پارامترهای برشی مانند پیشروی، سرعت برشی، عمق برش و ابزار با پوشش‌های مختلف به عنوان فاکتورهای متغیر درنظرگرفته شدند. دار و همکاران [11] سایش ابزار و زبری سطح در فرآیند تراش‌کاری فولاد AISI 4340 با ابزار کاربیدی بدون پوشش را با استفاده از روش MQL مورد بررسی قراردادند. نتایج نشان داد که روان‌کاری نیمه‌خشک در مقایسه با شرایط خشک، باعث کاهش قابل‌ملاحظه سایش ابزار و زبری سطح می‌شود. علت این امر کاهش دمای منطقه درگیری ابزار و قطعه کار بیان شد. بوبکری و همکاران [12] فرآیند سوراخ‌کاری فولاد AISI 1020 را تحت شرایط روان‌کاری MQL و تر مورد بررسی قراردادند و نتیجه گرفتند که میزان سایش ابزار، زبری سطح و تلرانس ابعادی سوراخ تولیدی در حالت MQL نسبت به حالت تر، بهتر است. تاسدلن و همکاران [13] تأثیر شرایط مختلف روان‌کاری MQL را بر روی میزان سایش ابزار، نیروها، گشتاور و زبری سطح نوعی فولاد سخت در فرآیند سوراخ‌کاری مطالعه کردند و نشان دادند که میزان سایش ابزار در حالت MQL و هوای فشرده نسبت به امولسیون کمتر بوده و بدترین صافی‌سطح نیز در حالت هوای فشرده به دست می‌آید.

در سال‌های اخیر استفاده از روغن گیاهی به عنوان سیال برشی، به دلیل نداشتن ترکیبات مضر شیمیایی و قیمت مناسب در حال افزایش است. این روغن‌ها زیرمجموعه‌ی روغن‌های چرب طبیعی هستند و عموماً شامل 95% استرهای اسیدهای چرب و 5% اسیدهای چرب آزاد می‌باشند که خاصیت روان‌کاری خوبی در باربرداری‌های کم دارند. روغن‌های گیاهی ویسکوزیته بالا و دمای اکسیداسیون پایینی دارند که مهم‌ترین محدودیت این روغن‌ها محسوب می‌شود. بررسی‌های مختلفی در زمینه اثرات استفاده از روان‌کارهای پایه گیاهی انجام و با قابلیت روان‌کاری روغن‌های پایه معدنی مقایسه شده است [1]. از روغن‌های گیاهی مورد استفاده در این تحقیقات می‌توان روغن کانولا، روغن خرما، روغن کلزا، روغن آفتابگردان و روغن سویا را نام برد.

بلاک و جفری [14] خواص دو نوع روغن برش گیاهی و معدنی را در سوراخ‌کاری فولاد AISI 316L بررسی کردند. متغیرهای مورد مطالعه سایش ابزار، نیروی برش و نحوه شکل‌گیری براده بود. مشاهده شد که استفاده از روان‌کار پایه گیاهی باعث افزایش عمر ابزار و کاهش نیرو می‌شود. کورام و همکاران [15] تأثیر استفاده از روغن خالص آفتابگردان و دو نوع روغن تجاری پایه گیاهی و پایه معدنی را بر نیرو و زبری سطح در سوراخ‌کاری AISI304 با ابزار از جنس فولاد تندبر بررسی کردند. مشاهده شد که استفاده از روغن آفتابگردان، باعث کاهش نیرو و بهبود کیفیت سطح می‌شود. اوزچلیک و همکاران [16] سوراخ‌کاری فولاد AISI 304 را با ابزار کاربیدی پوشش‌دار با روان‌کارهای مختلف، به منظور بررسی میزان سایش ابزار، کیفیت سطح و نیروی برش انجام دادند. آنان برای روان‌کاری از روغن آفتابگردان، روغن کانولا و روغن نیمه مصنوعی استفاده کردند. نتیجه آزمایش‌ها نشان داد که استفاده از روغن کانولا، موجب بهبود شرایط برش می‌گردد.

سختی قطعه ماشین‌کاری، یکی از پارامترهای مهم و موثر بر نیرو، کیفیت سطح، عمر ابزار، توان مصرفی ناحیه برش و به‌طورکلی عملکرد فرآیند سوراخ‌کاری است. در زمینه بررسی تأثیر سختی قطعه کار بر نیروی برشی و زبری سطح قطعات ماشین‌کاری شده، مطالعات کمی صورت گرفته است. لیما و همکاران [17] قابلیت ماشین‌کاری فولاد سخت‌شده AISI 4340 را با سختی‌های متفاوت مطالعه کردند. این فولاد در دو سختی 42 راکول‌سی و

1- Near dry
2- Minimum Quantity Lubrication
3- Wet
4- Dry
5- Taguchi

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.10.3]

48 راکول‌سی با دو نوع ابزار کاربیدی پوشش‌دار و CBN تراش‌کاری شدند. بیش‌ترین مقدار زبری سطح در سختی 42 راکول‌سی به دست آمد و بالاترین نیروی برشی نیز در سختی 48 راکول‌سی و پیشروی پایین گزارش شد. مطالعه تأثیر هندسه ابزار و سختی قطعه کار بر کیفیت سطح در فرآیند تراش‌کاری سخت توسط تیل و ملکوته [18] انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که بهترین کیفیت سطح در شعاع‌های بزرگ‌تر ابزار به دست آمده و با بالا رفتن سختی، اثر افزایش شعاع ابزار بر بهبود کیفیت سطح کمتر می‌شود.

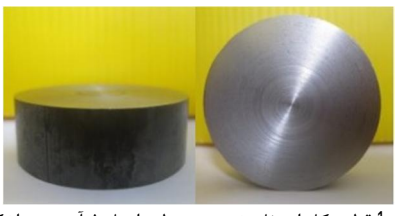
هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر سختی قطعه کار و پارامترهای برش ازجمله سرعت برشی و پیشروی بر نیروی برشی و زبری سطح در فرآیند سوراخ‌کاری فولاد آلیاژی AISI 4340 در روان‌کاری نیمه‌خشک با سیال پایه گیاهی (روغن سویای خام) است. به منظور طراحی و تحلیل نتایج آزمایش‌ها، از روش فاکتوریل کامل[1] بهره گرفته شد.

2- مواد و تجهیزات

ماده مورد استفاده در این تحقیق، فولاد AISI 4340 بود که نوعی فولاد کم آلیاژ با استحکام کششی بالا است که ترکیب شیمیایی آن در جدول 1 آمده است. جهت آماده‌سازی نمونه‌های آزمایش، قطعاتی به ارتفاع 17 میلی‌متر از شمش فولادی به قطر 42 میلی‌متر بریده شد که در نهایت توسط عملیات تراش‌کاری به ارتفاع 15 میلی‌متر رسیدند (شکل 1). نمونه‌ها سپس تحت عملیات حرارتی سخت‌کاری قرار گرفتند. بدین منظور، نمونه‌ها در کوره با دمای 870 درجه سانتی‌گراد آستنیته گشته، سپس به مدت 2 ساعت در دمای 425 درجه سانتی‌گراد برگشت داده شدند و در نهایت در حمام روغن به دمای محیط رسیدند. آزمایش‌های سوراخ‌کاری با استفاده از ابزار مته مارپیچ تنگستن‌کاربایدی، به قطر 8 میلی‌متر، دارای پوشش چند لایه از نوع ریزساختار TiN[2]، زاویه مارپیچ 140 درجه و زاویه رأس 27 درجه ساخت شرکت کارجان[3] انجام شد. برای اطمینان از صحت آزمایش‌ها و جلوگیری از تأثیر منفی سایش ابزار در نتایج، بعد از هر سه آزمایش ابزارها تعویض گردید. به منظور انجام آزمایش‌های سوراخ‌کاری، آزمایش‌ها توسط ماشین فرز CNC سه محوره کنترل همزمان میتسوبیشی مدل S-1354A با حداکثر دوران 8000 دور بر دقیقه انجام شد.

جدول 1 ترکیب شیمیایی AISI 4340 استفاده‌شده در این تحقیق

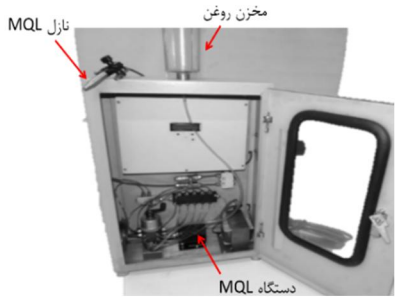
عنصر	درصد وزنی (%)
کربن	0/38
نیکل	1/7
کروم	0/9
منگنز	0/69
مولیبدن	0/3
سیلیسیوم	0/28
آهن	پایه



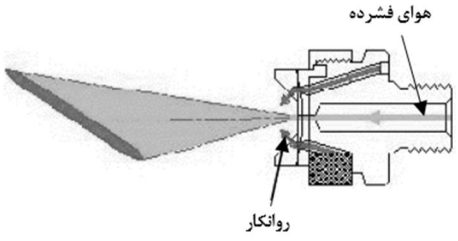
شکل 1 قطعه کار استفاده‌شده به منظور انجام فرآیند سوراخ‌کاری

به منظور اعمال جریان روان‌کار MQL، از سیستم نشان داده شده در شکل 2 استفاده گردید. در این سیستم از یک کمپرسور جهت تولید هوای فشرده استفاده می‌شود که فشار آن توسط رگلاتور دستگاه و دبی سنج گاز قابل تنظیم است. از طرف دیگر روغن موجود در محفظه بالای دستگاه، توسط یک لوله پلاستیکی با قطر کم و به کمک یک پمپ به نازل هدایت می‌شود و میزان دبی روغن با تغییر فرکانس پمپ قابل تنظیم است. دستگاه دارای نازل اتمیزه کننده‌ای (شکل 3) است که جریان هوا و جریان روغن به طور جداگانه وارد آن می‌شوند. سرعت جریان گاز نسبت به جریان روغن بسیار بیشتر است و در دهانه خروجی نازل، سرعت جریان گاز باعث شکستن روغن و تبدیل آن به قطرات ریز شده که توسط گاز حامل شتاب می‌گیرند. قطرات روغن در جریان گاز حامل، تشکیل اسپری روغن-هوا داده و از آن برای روان‌کاری ناحیه ماشین‌کاری استفاده می‌شود. برای بهتر شدن عملکرد و تأثیرگذاری بیشتر روان‌کار، جهت اعمال اسپری از دو نازل کمک گرفته شد. جدول 2 مشخصات سیستم MQL مورد استفاده را نشان می‌دهد. چیدمان آزمایش، نحوه بستن قطعه کار و موقعیت دستگاه MQL در شکل 4 آمده است.

سیال برشی استفاده‌شده، روغن گیاهی سویای خام بود. این روغن جزء روغن‌های چرب طبیعی و غیر محلول در آب محسوب شده که شامل 95% استرهای گلیسرول و تری‌گلیسرید و 5% اسید چرب آزاد هستند. تری‌گلیسرید در این نوع روغن‌ها از یک مولکول گلیسرول و سه زنجیره مولکولی بلند از اسیدهای چرب تشکیل شده است. وجود پیوند قوی بین اسیدهای چرب باعث شده تا روغن‌های گیاهی، لایه روان‌کار پایداری روی سطح فلز ایجاد کرده و خاصیت روان‌کاری خوبی داشته باشند. در ضمن این روغن‌ها اثر تر کنندگی بالایی بر سطوح فلزی از خود نشان می‌دهند. جدول 3 مشخصات روغن مورد استفاده را نشان می‌دهد.



شکل 2 دستگاه MQL استفاده‌شده جهت انجام آزمایش‌ها



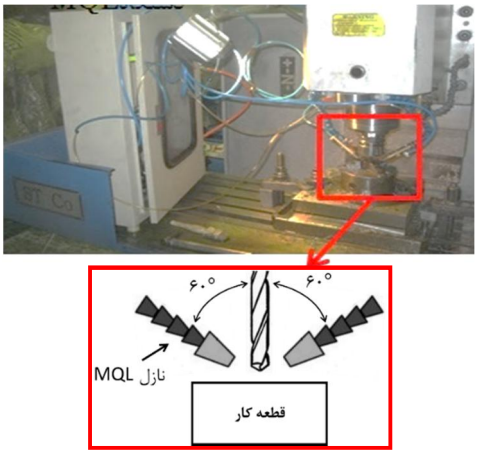
شکل 3 نازل اتمیزه‌کننده دستگاه

جدول 2 مشخصات سیستم MQL و روغن مورد استفاده در آزمایش‌ها

پارامتر	مقدار
دبی خروجی سیال	140ml/hr
فشار هوا	4bar
زاویه نازل نسبت به ابزار	60°

1- Full factorial
2- Sub micro grain
3- Karcan

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.10.3]



شکل 4 چیدمان انجام آزمایش به همراه دستگاه MQL استفاده‌شده

جدول 3 خواص فیزیکی روغن سویای مورد استفاده در آزمایش‌ها

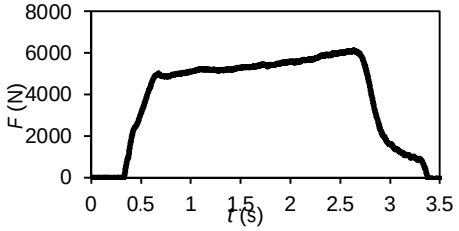
رطوبت	ناخالصی	گران‌روی در 40°c (cSt)	نقطه اشتعال (°C)	چگالی در 15 °c (kg/m³)
%0/8	%0/8	33	240	925

3- اندازه‌گیری زبری سطح و نیروی برش

در این پژوهش زبری سطح بر اساس معیار *Ra* یا زبری سطح متوسط گزارش شده است که برابر با انتگرال پروفیل زبری مطلق در طول اندازه‌گیری و یا سطح بین پروفیل زبری و خط مرکزی است. اندازه‌گیری زبری، با استفاده از دستگاه زبری سنج ماهر[1] مدل PS1 انجام شد. اندازه‌گیری زبری سطح برای هر نمونه در 4 موقعیت مختلف و با 3 تکرار انجام شد. میانگین اندازه‌های بدست‌آمده به عنوان زبری سطح متوسط (*Ra*) گزارش گردید. به منظور اندازه‌گیری نیروها، از دینامومتر کیستلر مدل 9255B استفاده شد. این دینامومتر دارای قدرت اندازه‌گیری نیرو در محورهای *X* و*Y* از 20- کیلونیوتن تا 20+ کیلونیوتن و در محور *Z* از 10- کیلونیوتن تا 40+ کیلونیوتن است. جهت انجام آزمایش‌ها در ابتدا سطح میز ماشین‌ابزار کاملاً تمیز و دینامومتر دقیقاً تنظیم و ساعت گردید، سپس کلیه اتصالات برقی سیستم برقرار شد و پس از آن عملیات کالیبراسیون دینامومتر انجام گرفت. سیگنال‌های ارسال‌شده از پیزوالکتریک، توسط دستگاه تقویت‌کننده، تقویت‌شده و به وسیله نرم‌افزار دینوور[2] نمایش داده می‌شوند. نمونه‌ای از خروجی این نرم‌افزار در شکل 5 آمده است.

4- طراحی آزمایش‌ها

در این پژوهش 3 فاکتور پیشروی (f_z)، سرعت برشی (V_c) و سختی قطعه کار (*H*) به عنوان متغیرهای فرآیند درنظرگرفته شدند. طراحی آزمایش‌ها با استفاده از روش فاکتوریل کامل صورت گرفت. سرعت برشی و پیشروی در سه سطح، سختی قطعه کار در دو سطح و عمق برش نیز ثابت و برابر 10 میلی‌متر انتخاب شدند. در جدول 4 مقادیر و سطوح تعریف‌شده متغیرهای فرآیند آمده است.



شکل 5 گراف نیروی برشی مربوط به آزمایش شماره 12

5- نتایج و بحث

با استفاده از روش فاکتوریل کامل، در مجموع تعداد 18 آزمایش انجام گردید. در جدول 5 مقادیر پارامترهای خروجی هر آزمایش، شامل زبری سطح و نیروی سوراخ‌کاری نشان داده شده است. در ادامه هر کدام از این خروجی‌ها به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت.

5-1- تحلیل نیرو

به منظور تحلیل نیرو، تنها مؤلفه نیروی برشی در راستای محور ابزار به عنوان نیروی اصلی در فرآیند سوراخ‌کاری مورد بررسی قرار گرفت. شکل 6 تأثیر نرخ پیشروی بر نیروی برشی را در دو سختی قطعه کار نشان می‌دهد.

مشاهده می‌شود که با افزایش پیشروی، نیروی ماشین‌کاری به صورت خطی تا 300% زیاد می‌گردد. دلیل اصلی این افزایش را می‌توان در بیشتر

جدول 4 پارامترهای مورد آزمایش و سطوح آن‌ها

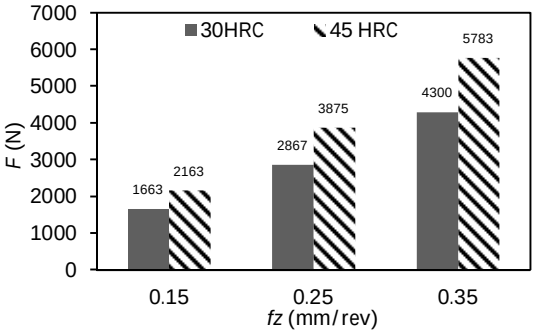
پارامتر	سطوح		
	1	2	3
پیشروی *fz* (mm/rev)	0/15	0/25	0/35
سرعت برشی *Vc* (m/min)	8	13	18
سختی *H* (HRC)	30	45	-

جدول 5 جدول طراحی آزمایش‌ها به همراه مقادیر پاسخ

شماره آزمایش	*H* (HRC)	*Vc* (m/min)	*fz* (mm/rev)	*Ra* (µm)	*F* (N)
1	30	8	0/15	1/244	2168
2	30	8	0/25	1/573	3878
3	30	8	0/35	2/035	6047
4	30	13	0/15	0/846	1541
5	30	13	0/25	1/215	2605
6	30	13	0/35	1/494	3922
7	30	18	0/15	0/789	1279
8	30	18	0/25	1/103	2108
9	30	18	0/35	1/513	2931
10	45	8	0/15	0/712	2872
11	45	8	0/25	1/387	5227
12	45	8	0/35	1/714	7876
13	45	13	0/15	0/519	1981
14	45	13	0/25	0/967	3624
15	45	13	0/35	0/947	5398
16	45	18	0/15	0/638	1635
17	45	18	0/25	0/798	2774
18	45	18	0/35	0/879	4076

1- Mahr
2- DynoWare

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.10.3]

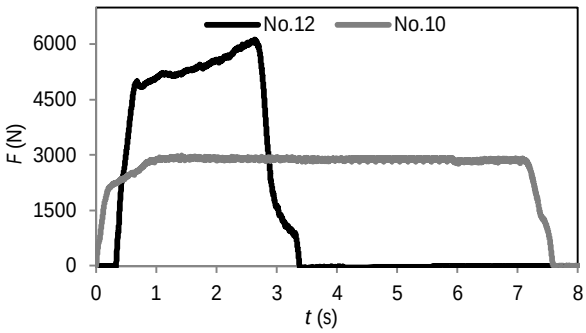


شکل 6 تأثیر تغییرات نرخ پیشروی بر نیروی برشی

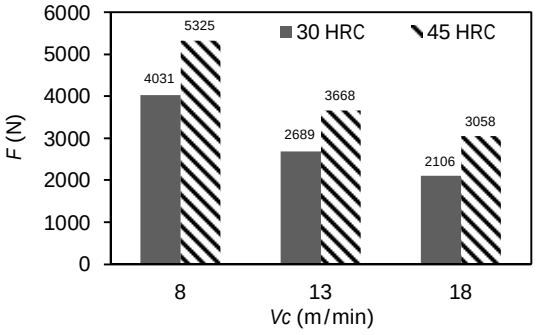
شدن نرخ براده‌برداری و سطح درگیری ابزار با قطعه کار دانست که باعث افزایش نیروی برش می‌گردد. از سوی دیگر با افزایش پیشروی، روان‌کار فرصت کمتری برای نفوذ به محل سوراخ‌کاری خواهد داشت و موجب بالا رفتن نیروی برشی خواهد شد. همچنین این شکل نشان می‌دهد که با افزایش نرخ پیشروی، میزان تأثیر سختی قطعه کار بر روی نیروی برشی بیشتر می‌شود. به طوری که در سطوح پایین‌تر پیشروی، اختلاف نیرو در دو حالت سختی برابر با 500 نیوتن بوده و این مقدار در بالاترین سطح پیشروی به سه برابر (1500 نیوتن) افزایش می‌یابد. شکل 7 نیز تغییرات نیروی برشی را در آزمایش‌های 10 (پیشروی 0/15 میلی‌متر بر دور) و 12 (پیشروی 0/35 میلی متر بر دور) نشان می‌دهد که بیانگر رابطه مستقیم نیرو و پیشروی است.

در شکل 8 تغییرات نیروی برشی بر اساس سرعت برشی آورده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت برشی، نیروی ماشین‌کاری کاهش می‌یابد. در واقع با افزایش سرعت برشی، حرارت بیشتری در محل سوراخ‌کاری ایجادشده و دما بالا می‌رود. این افزایش دما باعث کاهش تنش سیلان و نرم‌تر شدن قطعه کار شده و در نتیجه انرژی کمتری صرف تغییر شکل و براده‌برداری می‌شود. از سوی دیگر بر اساس این شکل، میزان تأثیر سختی قطعه کار بر روی نیروی برشی در سرعت برشی پایین‌تر مشهود است.

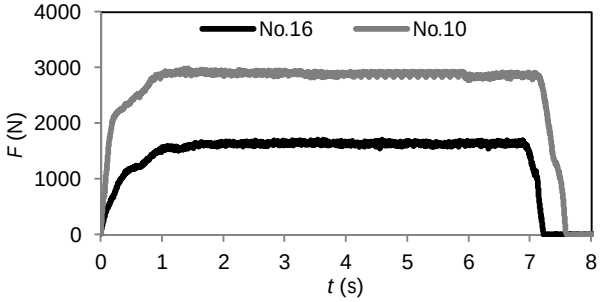
همچنین شکل 9 تغییرات نیرو را در آزمایش‌های 10 (سرعت برشی 8 متر بر دقیقه) و 16 (سرعت برشی 18 متر بر دقیقه) نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در شرایط یکسان با افزایش سرعت برشی، نیروی برش حدود 50% کاهش‌یافته است. شکل 10 تأثیر سختی قطعه کار را بر نیروی برش نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که با افزایش سختی قطعه کار، مقاومت در مقابل نفوذ ابزار بالا می‌رود. در نتیجه برای انجام عمل برش، انرژی و توان بیشتری مورد نیاز خواهد بود که این پدیده باعث زیادشدن نیروی برش می‌شود.



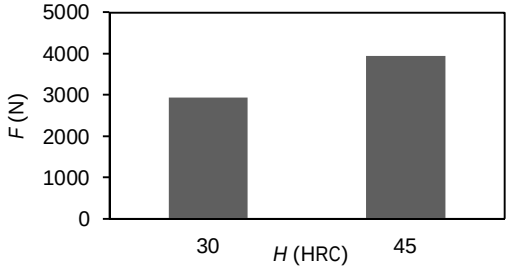
شکل 7 مقایسه نیروی برشی در آزمایش‌های 10 و 12



شکل 8 تأثیر تغییرات سرعت برشی بر نیروی ماشین‌کاری



شکل 9 مقایسه نیروی برشی در آزمایش‌های 10 و 16



شکل 10 تأثیر سختی قطعه کار بر روی نیروی برشی

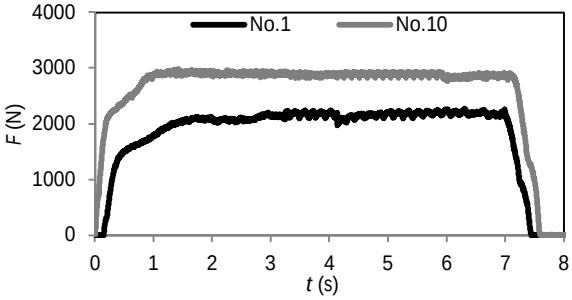
این روند تغییرات در شکل 11 برای نتایج نیرو در آزمایش‌های 1 (سختی 30 راکول‌سی) و 10 (سختی 45 راکول‌سی) نیز قابل‌مشاهده است. در شکل 12 تأثیر سختی بر روی تمامی آزمایش‌ها نشان داده‌شده است. مشاهده می‌شود که مستقل از شرایط و پارامترهای برشی، در تمامی آزمایش‌ها با افزایش سختی، نیروهای ماشین‌کاری افزایش می‌یابد.

6- تحلیل زبری سطح

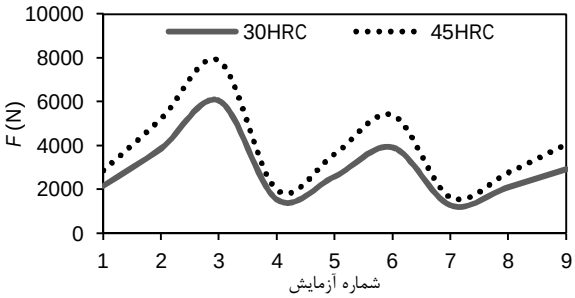
همان طور که اشاره شد، اندازه‌گیری زبری سطح برای هر نمونه 12 بار تکرار و میانگین این اندازه‌ها به عنوان زبری سطح متوسط (*Ra*) گزارش شد. شکل 13 نشان می‌دهد که با افزایش سرعت برشی، زبری سطح کاهش می‌یابد و این کاهش زبری سطح در سرعت برشی 13 متر بر دقیقه نسبت به سرعت برشی 8 متر بر دقیقه مشهودتر است. اما در سرعت‌های برشی بالاتر، تغییر محسوسی بر روی زبری سطح مشاهده نمی‌شود. این بهبود زبری سطح را می‌توان ناشی از کاهش نیروی برش به واسطه افزایش درجه حرارت در سرعت‌های برشی بالاتر دانست. از سوی دیگر یکی از عوامل افزایش زبری سطح در فرآیند سوراخ‌کاری، برخورد براده تولیدی با سطح ماشین‌کاری شده در هنگام خروج است. در نتیجه با افزایش سرعت برشی، تماس براده با سطح ماشین‌کاری شده کاهش‌یافته و زبری سطح بهبود می‌یابد [19]. همچنین با توجه به شکل 13، میزان تأثیر سختی قطعه کار بر روی زبری سطح در سرعت‌های برشی مختلف تقریباً ثابت است.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

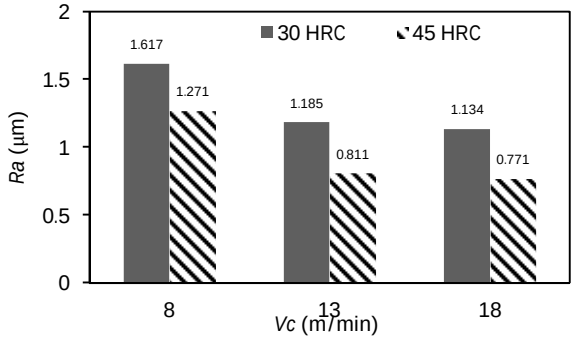
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.10.3]



شکل 11 مقایسه نیروی برشی در آزمایش‌های 1 و 10



شکل 12 تأثیر سختی بر نیروی برش در تمامی آزمایش‌ها



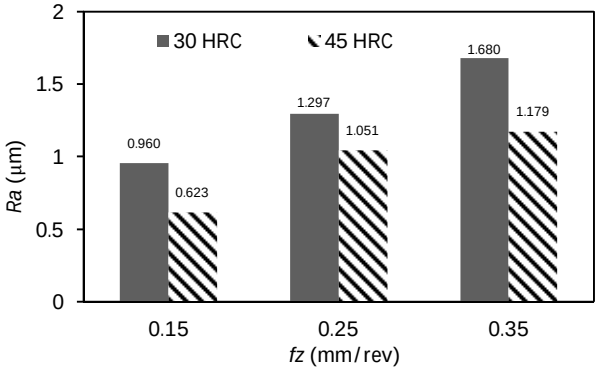
شکل 13 تأثیر تغییرات سرعت برشی بر زبری سطح سوراخ

شکل 14 تأثیر پیشروی بر تغییرات زبری سطح را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با بالا رفتن پیشروی، زبری سطح افزایش چشمگیری داشته است. این کاهش کیفیت سطح را می‌توان ناشی از افزایش ضخامت براده تغییر شکل نیافته و در نتیجه بدتر شدن شرایط برش دانست که افزایش نیروی ماشین‌کاری را در پی دارد. از سوی دیگر بر اساس این شکل، میزان تأثیر سختی قطعه کار بر روی زبری سطح در پیشروی‌های بالا، مشهودتر است. مشابه این اثر، بر روی نیروی برشی نیز ملاحظه شد. تأثیر سختی بر کاهش زبری سطح قطعه کار در شکل 15 آورده شده است. به علت ماهیت فرآیند سوراخ‌کاری، یکی از عوامل مهم در کاهش کیفیت سطح، برخورد براده خروجی از موضع برش با سطح ماشین‌کاری شده است. این براده خروجی، به دلیل تغییرات حرارتی فرآیند، به نوعی تحت عملیات حرارتی قرارگرفته و سختی آن از ماده‌ی قطعه کار بیشتر می‌شود. در نتیجه این براده سطح ماشین‌کاری شده را می‌خراشد و این پدیده در سختی پایین‌تر قطعه کار مشهودتر است. از آن گذشته افزایش سختی تمایل به تشکیل لبه انباشته در قطعه را کاهش داده و در نتیجه سطح یکنواخت‌تری نتیجه می‌دهد. شکل 16 مقایسه تغییرات زبری سطح را در دو سختی قطعه کار نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود در سختی 45 راکول‌سی، زبری سطح در تمامی آزمایش‌ها کاهش‌یافته که نشان از تأثیر قابل‌ملاحظه سختی بر کیفیت سطح سوراخ تولیدی دارد.

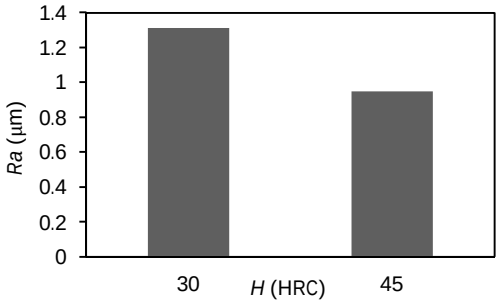
7- نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش، بررسی اثرات سختی قطعه کار و پارامترهای برش بر روی زبری سطح و نیروی ماشین‌کاری در فرآیند سوراخ‌کاری فولاد آلیاژی AISI 4340 است. آزمایش‌ها در حضور روان‌کاری نیمه‌خشک با سیال پایه گیاهی سویا انجام گرفت. پارامترهای سرعت برشی و پیشروی هر کدام در سه سطح، سختی قطعه کار در دو سطح و عمق برش نیز ثابت انتخاب شد. برای بررسی دقیق اثر پارامترهای ورودی بر متغیرهای پاسخ، از روش فاکتوریل کامل استفاده گردید. نتایج به دست آمده در این پژوهش به صورت خلاصه در ادامه آورده شده است.

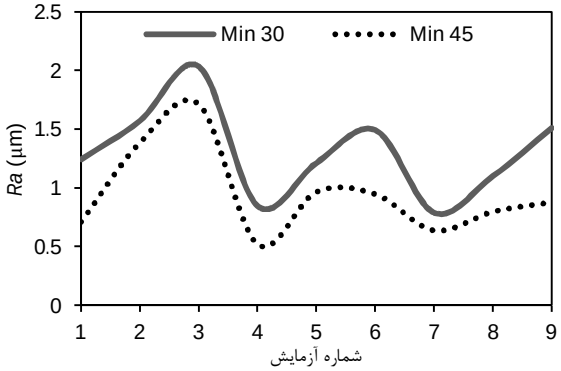
- روش روان‌کاری MQL با استفاده از روغن پایه گیاهی سویا به خوبی در فرآیند سوراخ‌کاری فولاد AISI 4340 مورد استفاده قرار گرفت و نتایج مطلوبی را دربر داشت.



شکل 14 تأثیر تغییرات نرخ پیشروی بر زبری سطح سوراخ



شکل 15 تأثیر سختی قطعه کار بر روی زبری سطح سوراخ



شکل 16 تأثیر سختی بر زبری سطح در تمامی آزمایش‌ها

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.10.3]

- نرخ پیشروی به عنوان مهم‌ترین پارامتر بر روی نیروی برش و زبری سطح در فرآیند سوراخ‌کاری تعیین گردید.
- میزان تأثیر سختی قطعه کار بر روی زبری سطح و نیروهای برشی دارای سهم قابل‌توجهی بود که این اثرگذاری در پیشروی‌های بالا، مشهودتر است.
- افزایش سختی قطعه کار موجب کاهش زبری سطح شد که علت را می‌توان در کاهش تمایل به تشکیل لبه انباشته و کمتر شدن اثر براده خروجی بر روی کیفیت سطح سوراخ، در قطعه کار با سختی بالاتر دانست.

8- مراجع

[1] R. Haber-Haber, R. Haber, M. Schmittdiel, R. M. del Toro, A classic solution for the control of a high-performance drilling process, *International Journal of Machine Tools and Manufacture,* Vol. 47, No. 15, pp. 2290-2297, 2007.

[2] X. Wang, C. Feng, Development of empirical models for surface roughness prediction in finish turning, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* Vol. 20, No. 5, pp. 348-356, 2002.

[3] T. Kıvak, G. Samtaş, A. Çiçek, Taguchi method based optimisation of drilling parameters in drilling of AISI 316 steel with PVD monolayer and multilayer coated HSS drills, *Measurement,* Vol. 45, No. 6, pp. 1547-1557, 2012.

[4] H. J. Heins, *Dry machining-A promising option.,* pp. 92-93: American Machinist.

[5] R. Quaile, Understanding MQL: machining with minimum quantity lubricant can save money and improve both tool life and part finish, *Modern Machine Shop,* 2000.

[6] E. Rahim, H. Sasahara, A study of the effect of palm oil as MQL lubricant on high speed drilling of titanium alloys, *Tribology International,* Vol. 44, No. 3, pp. 309-317, 2011.

[7] F. Rabiee, A. R. Rahimi, M. J. Haddad, M. Ashrafijoo, study the effect of minimum quantity lubrication on grinding of high speed steel, *Modares Mechanical Engineering,* Vol. 13, No. 4, pp. 1-12, 2013. (In Persian)

[8] S. Amini, H. Khakbaz, study of wiper and ceramic tool life in high speed turning k500 monel superalloy using minimum quantity lubrication, method, *mechianical engineering,* Vol. 14, No. 1, pp. 83-88, 2014. (In Persian)

[9] E. Kilickap, M. Huseyinoglu, A. Yardimeden, Optimization of drilling parameters on surface roughness in drilling of AISI 1045 using response surface methodology and genetic algorithm, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* Vol. 52, No. 1-4, pp. 79-88, 2011.

[10] C. Tsao, H. Hocheng, Evaluation of thrust force and surface roughness in drilling composite material using Taguchi analysis and neural network, *journal of materials processing technology,* Vol. 203, No. 1, pp. 342-348, 2008.

[11] M. Kurt, E. Bagci, Y. Kaynak, Application of Taguchi methods in the optimization of cutting parameters for surface finish and hole diameter accuracy in dry drilling processes, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* Vol. 40, No. 5-6, pp. 458-469, 2009.

[12] N. Dhar, M. Kamruzzaman, M. Ahmed, Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel, *Journal of materials processing technology,* Vol. 172, No. 2, pp. 299-304, 2006.

[13] N. Boubekri, An Investigation in Drilling 1020 Steel Using Minimum Quantity Lubrication, *International Journal of Applied,* Vol. 1, No. 5, 2011.

[14] B. Tasdelen, H. Thordenberg, D. Olofsson, An experimental investigation on contact length during minimum quantity lubrication (MQL) machining, *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 203, No. 1, pp. 221-231, 2008.

[15] W. Belluco, L. De Chiffre, Performance evaluation of vegetable-based oils in drilling austenitic stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 148, No. 2, pp. 171-176, 2004.

[16] E. Kuram, B. Ozcelik, E. Demirbas, E. Sik, Effects of the cutting fluid types and cutting parameters on surface roughness and thrust force, *in Proceeding of Proceedings of the World Congress on Engineering,* Vol. 2, 2010.

[17] B. Ozcelik, E. Kuram, E. Demirbas, E. ŞIK, Effects of vegetable-based cutting fluids on the wear in drilling, *Sadhana,* Vol. 38, No. 4, pp. 687-706, 2013.

[18] J. Lima, R. Avila, A. Abrao, M. Faustino, J. P. Davim, Hard turning: AISI 4340 high strength low alloy steel and AISI D2 cold work tool steel, *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 169, No. 3, pp. 388-395, 2005.

[19] J. D. Thiele, S. N Melkote, Effect of cutting edge geometry and workpiece hardness on surface generation in the finish hard turning of AISI 52100 steel, *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 94, No. 2, pp. 216-226, 1999.

[20] M. A. Xavior, M. Adithan, Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 209, No. 2, pp. 900-909, 2009.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.10.3]