مجله مهندسی مکانیک مدرس، فروردین 1394، دوره 15، شماره 1، ص‌ص 84-90

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

مطالعه تجربی زبری سطح و عرض پلیسه در فرآیند میکروفرزکاری آلیاژ تیتانیوم

حامد حسن‌پور[1]، حامد رضایی[1]، محمد حسین صادقی[2*]، امیر راستی[1]، محمدمهدی هادوی[3]

1- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
2- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
3- دانشیار، مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر، تهران
* تهران، صندوق پستی 14115-143 sadeghim@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 20 شهریور 1393
پذیرش: 09 آبان 1393
ارائه در سایت: 01 آذر 1393

کلید واژگان:
میکروفرزکاری
زبری سطح
پلیسه
آلیاژ تیتانیوم

چکیده

میکروفرزکاری یکی از فرایندهای ساخت قطعات مینیاتوری است. به دلیل خواص منحصر به فرد آلیاژ Ti6Al4V، مانند مقاومت در برابر اکسیداسیون، خستگی، خوردگی و همچنین کاربرد آن در صنایع حساس، در این تحقیق به مطالعه زبری و عرض پلیسه تشکیل شده در فرآیند میکروفرزکاری این آلیاژ پرداخته می‌شود. پارامترهای ماشین‌کاری از جمله سرعت اسپیندل، نرخ پیشروی و عمق برش محوری به عنوان ورودی‌های فرایند در نظر گرفته شدند. آزمایش‌ها در حضور دو سیستم روان‌کاری تَر و نیمه‌خشک انجام گرفت. ابزار میکرو به کار رفته در آزمایش‌ها نیز، فرز انگشتی کاربایدی سرتخت به قطر 0/5 میلیمتر با روکش TiAlN بود. به منظور طراحی و تحلیل نتایج، از روش تاگوچی استفاده گردید. نتایج نشان داد که سرعت برشی و نرخ پیشروی به ترتیب، مؤثرترین پارامترها روی زبری سطح و اندازه پلیسه در میکروفرزکاری آلیاژ تیتانیوم بودند و افزایش هر دوی آن‌ها، موجب کاهش مقدار زبری و عرض پلیسه شد. همچنین روان‌کاری نیمه‌خشک عملکرد بهتری روی کیفیت سطح قطعات میکروفرزکاری داشته است و این تأثیر در سرعت‌های برشی و عمق‌های برش بالا برجسته‌تر بود. در نهایت بهترین شرایط کیفیت سطح در هنگام استفاده از سیستم روان‌کاری نیمه خشک و در شرایط سرعت اسپیندل 30000 دور بر دقیقه، پیشروی 0/8 میکرومتر بر لبه برنده و عمق برش 60 میکرومتر حاصل شد.

Experimental study of surface roughness and burr width in micromilling of titanium alloy

Hamed Hassanpour[1], Hamed Rezaei[1], Mohamad H. Sadeghi[1], Amir Rasti[1], Mohamad M. Hadavi[2]

1- Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- Department of Metallurgy Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran
* P.O. B. 14115-143, Tehran, Iran. sadeghim@modares.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 11 September 2014
Accepted 31 October 2014
Available Online 22 November 2014

Keywords:
Micromilling
surface roughness
burr
Titanium alloy

ABSTRACT

Micromilling is a machining process in manufacturing of the miniature parts. Because of high oxidation and corrosion resistance, high fatigue strength and application of Ti6Al4V in hi-tech industries, in this paper surface roughness and burr formation in micromilling of this alloy have been investigated. Cutting parameters including spindle speed, feed rate and axial depth of cut have been considered as input parameters of tests. Experiments have been performed for two cases: a) in presence of the minimum quantity lubrication and b) wet conditions. Carbide micro-end mill tool of diameter 0.5 mm and TiAlN coating were used. The Taguchi experimental design method has been used to design and analyze the results. Results showed that the spindle speed and feed rate were the most effective parameters on the surface roughness and burr width of titanium alloy, respectively. Also, by increasing both of these parameters, surface roughness and burr width were decreased. In addition, application of minimum quantity lubrication technique significantly improved the surface quality, and was more effective in upper levels of spindle speed and axial depth of cut. Finally, the best surface quality was attained in spindle speed of 30000 rpm, feed rate of 0.8 μm/tooth and cutting depth of 60 μm.

1- مقدمه

میکرو فرزکاری یکی از فرآیندهای مستقیم و کم‌هزینه برای ساخت قطعات مینیاتوری است که در پزشکی، هوافضا، الکترونیک و قالب سازی کاربرد دارد. مهم‌ترین مزیت این روش نسبت به دیگر روش‌های تولید میکرونی، توانایی آن در ایجاد اشکال پیچیده سه بعدی و نرخ تولید بالاتر می‌باشد. اصول عملیات میکروفرزکاری مشابه فرزکاری معمولی بوده، با این تفاوت که در آن از ابزارهایی با قطر کمتر از 1 میلی‌متر استفاده می‌شود. از این رو، لبه برنده ابزار را دیگر نمی‌توان تیز در نظر گرفت. در این حالت با کوچک شدن قطر ابزار، پدیده‌هایی مانند اثر اندازه[1] بر شرایط باربرداری تأثیرگذار شده و آن را از فرزکاری معمولی متمایز می‌کند. اثر اندازه به نسبت عمق برش بر شعاع لبه ابزار گفته می‌شود. در فرایند ماشینکاری با تغییر مکانیزم باربرداری از ماکرو

1- Size Effect

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:
H. Hassanpour, H. Rezaei, M. H. Sadeghi, A. Rasti, M. M. Hadavi, Experimental study of surface roughness and burr width in micromilling of titanium alloy, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 1, pp. 84-90, 2015 (In Persian)

Archive of SID
www.SID.ir

به میکرو و نزدیک شدن ضخامت براده جدانشده به شعاع نوک ابزار، خروجی‌های فرایند ماشینکاری مانند نیرو و غیره به صورت غیرخطی تغییر می‌کنند. به دلیل نزدیک بودن اندازه شعاع لبه برنده ابزار به ضخامت براده تولیدی، میکروماشینکاری تحت تأثیر دو مکانیزم برش و شخم‌زنی قرار می‌گیرد. شخم‌زنی سهم عمده‌ای در افزایش نیروهای ماشینکاری و ارتعاشات دارند و موجب کاهش کیفیت سطح می‌شوند[1-3].

آلیاژهای تیتانیوم در صنایع مختلف، بالاخص صنایع هوافضا، نیروگاهی و تجهیزات پزشکی کاربرد زیادی دارند. کاربرد دیگر این آلیاژها، در ایمپلنت‌های پزشکی است. این گستردگی کاربرد به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی چون مقاومت به خوردگی و خستگی عالی و نیز نسبت استحکام به وزن بالای آنهاست. توانایی نگه داشتن این خواص استثنایی در درجه حرارت‌های بالا قابلیت ماشین‌کاری این آلیاژها را تحت تأثیر قرار داده است، به‌طوری‌که به عنوان مواد سخت ماشین‌کار[1] شناخته می‌شوند. علت اصلی این مشکل، قابلیت هدایت حرارتی ضعیف آن‌ها است. قابلیت هدایت حرارتی آلیاژهای پایه تیتانیوم چند برابر کمتر از آلیاژهای فولادی است که این امر حرارت بسیار زیادی را در موضع ماشین‌کاری ایجاد می‌کند. از این‌رو در ماشین‌کاری این آلیاژها، معمولاً نواحی برش با افزایش درجه حرارت قابل ملاحظه‌ای مواجه هستند [1]. همچنین این آلیاژها بسیار داکتیل بوده و در حین ماشین‌کاری به راحتی دچار کارسختی می‌شوند. این امر کاهش سلامت سطحی قطعات تولیدی را در پی خواهد داشت.

درصد زیادی از قطعات مهندسی بر اثر پدیده‌های سطحی نظیر سایش، خوردگی، خزش و خستگی در ضمن کار منهدم می شوند. به همین دلیل در بسیاری از موارد، کیفیت سطح قطعه‌کار عامل رد و یا قبول محصول تولیدی است. از همین رو مسأله کیفیت سطح قطعه در ماشین‌کاری همواره از موضوعات اصلی و با اهمیت برای محققان و نیز مهندسان تولید بوده است. سطح ماشین‌کاری به صورت مرز بین قطعه‌ی ماشین‌کاری شده و شرایط محیطی فرآیند ماشین‌کاری تعریف می‌شود. ماهیت لایه سطحی، تأثیر بسیار زیادی بر خواص مکانیکی و عملکردی قطعه کار دارد که تعامل این دو، تحت عنوان سلامت سطح بررسی می‌شود [3]. قیمت بالا و حساسیت شرایط کارکردی قطعات تیتانیومی، باعث افزایش اهمیت مطالعه تغییرات سطحی بوجود آمده در اثر ماشین‌کاری این مواد شده است. سلامت سطح به مطالعه این تغییرات در قالب پارامترهای مختلف می پردازد. در میکروفرزکاری، کیفیت قطعات ماشین‌کاری‌شده، با توجه به دو معیار مهم زبری سطح و تشکیل پلیسه[2] سنجیده می‌شود. پلیسه همان لبه زائد چسبیده به قطعه‌کار پس از فرایند ماشین‌کاری می‌باشد. عرض پلیسه موجب تمرکز تنش در لبه‌های سطح ماشین‌کاری شده می‌گردد و از این رو تأثیر منفی روی عمر و عملکرد قطعه دارد. برخلاف فرزکاری معمولی که برخی از مشکلات عیوب سطحی و تشکیل پلیسه با عملیات بعدی قابل حذف هستند، در میکروفرزکاری به علت محدودیت‌های هندسی این امکان وجود ندارد. در نتیجه تشکیل پلیسه در فرایند میکروفرزکاری، می‌بایست تحت کنترل باشد و عرض آن تا حد ممکن کمینه گردد [4].

پارامترهای برشی و نوع روان‌کاری از جمله پارامترهای مهم و مؤثر بر کیفیت سطح قطعه در عملیات ماشین‌کاری هستند که می‌توان از آن‌ها برای کنترل و بهبود کیفیت سطح نهایی قطعه استفاده کرد. تأثیر روان‌کاری در عملیات ماشین‌کاری، به شدت وابسته به انتخاب نوع سیال روان‌کار و سیستم پاشش آن بر محیط برش است. انواع روش‌های روان‌کاری که امروزه برای ماشین‌کاری مواد مختلف بکار گرفته می‌شوند شامل سیستم‌های خشک[3]، تَر[4]، نیمه‌خشک (MQL[5]) و روش‌های برودتی[6] هستند. استفاده از سیال، موجب افزایش عمر ابزار، پیشگیری از تشکیل لبه انباشته و افزایش صافی سطح قطعه‌کار می‌شود. با این وجود، کاربرد سنتی آن در عملیات ماشین‌کاری به علت مسائل اقتصادی، زیست‌محیطی و سلامت اپراتور دردسرساز است. بهترین راه برای کاهش اثرات منفی سیال برشی، حذف کامل آن است که نهایتاً منجر به ماشین‌کاری در حالت خشک می‌شود [5]. در حالت خشک، اصطکاک و دمای برش بیشتر از حالت تَر بوده که این امر باعث کاهش کیفیت سطح و عمر ابزار می‌شود. در نتیجه برای بهبود قابلیت ماشین‌کاری می‌توان از نفوذ روان‌کار به صورت اسپری و تحت فشار به ناحیه برش، تحت عنوان روش MQL استفاده کرد. در این روش، مخلوط هوا و سیال برشی به صورت اتمیزه شده، با فشار بالا به ناحیه برشی پاشیده می‌شود.

مطالعات تجربی مختلفی در زمینه بررسی تأثیر پارامترهای برشی و نوع روان‌کاری بر زبری سطح قطعه و تشکیل پلیسه در فرآیند میکروفرزکاری انجام گرفته است. در بین پارامترهای برشی، اهمیت پیشروی به ازای لبه برنده با توجه به نقش اثر اندازه در مقیاس میکرو، بیشتر از سایر پارامترهای برشی گزارش شده است [6، 7]. هرچند در برخی پژوهش‌ها به نقش پر رنگ سرعت برشی در بهینه‌سازی زبری سطح اشاره شده است [8]. علاوه بر پارامترهای برشی، قطر و تعداد لبه‌های برشی ابزار نیز روی زبری سطح قطعه در عملیات میکروفرزکاری موثرند.

باجپای و همکارانش[9] گزارش کردند که افزایش سرعت دورانی، پیشروی و عمق برش موجب بهبود کیفیت سطح می‌شود. در عین حال افزایش قطر ابزار منجر به تولید سطحی خشن و افزایش تعداد لبه‌های برشی، باعث یکنواختی بهتر سطح می‌شود.

لی و چو [10] نیز در بررسی اثر روان‌کاری بر زبری سطح فولاد سخت نشان دادند که زبری سطح اندازه‌گیری شده در شرایط نیمه‌خشک بهتر از حالت خشک است. در حالت نیمه‌خشک، مقدار زبری حدود 0/2 میکرومتر بوده که در سرعت و پیشروی‌های مختلف، تغییر چندانی نداشت. درحالی‌که شرایط خشک به دلیل سایش زیادتر ابزار (حدود 60% بیشتر از شرایط نیمه‌خشک)، زبری سطح بالاتری را نتیجه داد.

در مورد کنترل پلیسه، ناکایاما و آرای [11] پیشنهاد کردند که در مقیاس ماکرو، اندازه پلیسه را می‌توان با کاهش ضخامت براده نتراشیده و کمتر شدن کرنش برشی براده کوچک کرد. لازم به ذکر است که در مقیاس میکرو، زمانی‌که ضخامت براده نتراشیده بیشتر از شعاع لبه برنده است، کاهش ضخامت براده می‌تواند موجب کوچک‌شدن اندازه پلیسه شود. در غیر این صورت، شخم‌زنی باعث تشکیل پلیسه بزرگ‌تر می‌شود [6،12].

استراتژی‌های مختلف ماشین‌کاری نیز شرایط متفاوتی را برای تشکیل پلیسه بوجود می‌آورند، به طوری‌که در اکثر تحقیقات منتشر شده، اشاره به تشکیل پلیسه‌های بزرگتری در فرزکاری مخالف[7] شده است [6،10،13].

میان و همکارانش [8] سرعت برشی و پیشروی را به ترتیب با 17/3% و 26/42% اثرگذاری، به عنوان مهم‌ترین پارامترهای کنترل‌کننده ضخامت پلیسه عنوان کردند. همچنین نشان داده شد که در پیشروی‌های پایین‌تر و به

1- Hard Difficult to Cut
2- Burr

3- Dry
4- Wet
5- Minimum Quantity Lubricant (MQL)
6- Cryogenic
7- Downmilling

www.SID.ir
Archive of SID

علت پدیده شخم‌زنی، امکان تشکیل پلیسه‌های بزرگتری وجود دارد.

تبسونتی و اوزیل [7] عمق برش محوری را به عنوان موثرترین پارامتر بر عرض پلیسه عنوان کرده و نتیجه گرفتند که با افزایش عمق برشی و سرعت برشی پلیسه کمتری تشکیل می‌شود.

وینرت و پتزولدت [14] در بررسی تأثیر روانکاری نیمه‌خشک روی میکروفرزکاری آلیاژ نایتینول گزارش کردند که به دلیل سایش کمتر ابزار در این روش روانکاری پلیسه کمتری تشکیل می‌شود.

در زمینه میکروماشینکاری آلیاژ تیتانیوم در مراجع داخلی گزارشی منتشر نشده اما در زمینه فرزکاری تیتانیوم مطالعاتی صورت گرفته است. رازفر و ابوترابی [15] اثر پارامترهای برشی را بر ناپایداری در فرزکاری آلیاژ Ti6Al4V بررسی کردند و نشان دادند که افزایش سختی ابزار برشی و کاهش میزان درگیری شعاعی ابزار با قطعه‌کار، فرایند را پایدارتر می‌سازد.

به دلیل وجود پدیده‌ی اثر اندازه در فرآیند، دانش و تجربه موجود در فرآیندهای ماشین‌کاری معمولی را نمی‌توان مستقیماً در میکروفرزکاری بکار گرفت. از این رو مطالعات بیشتری به منظور شناخت بهتر ارتباط میان پارامترهای فرآیند و کیفیت سطح قطعات میکروفرزکاری شده مورد نیاز است. هدف از این تحقیق، مطالعه تجربی تأثیر نوع روان‌کاری و پارامترهای برشی بر زبری سطح و تشکیل پلیسه در میکروفرزکاری آلیاژ تیتانیوم Ti6Al4V می‌باشد. طرح آزمایش تاگوچی با سه پارامتر سرعت اسپیندل، نرخ پیشروی و عمق برش محوری، در سه سطح و با استفاده از دو نوع سیستم روان‌کاری تَر و MQL انتخاب شد. در نهایت شرایط بهینه ماشین‌کاری بر اساس معیار حداقل زبری و کمترین اندازه‌ی پلیسه استخراج شدند.

2- مواد و تجهیزات آزمایش

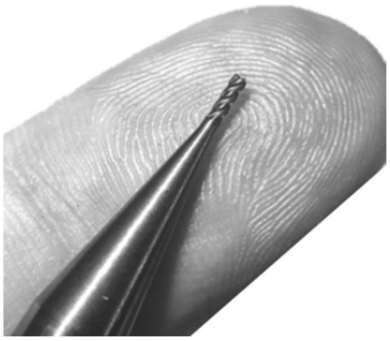
ماده‌ی به‌کاررفته در این تحقیق، آلیاژ تیتانیوم Ti6Al4V آنیل شده با سختی 300 ویکرز بود که ترکیب شیمیایی آن در جدول 1 آمده است. آزمایش‌ها روی نمونه‌های مکعبی شکل به ابعاد 10×10×10 میلی‌متر و با وجوه سنگ خورده انجام گرفت. میکروابزار مورد استفاده در آزمایش‌ها، فرز انگشتی سرتخت سه لبه از جنس تنگستن کارباید با پوشش TiAlN و قطر 0/5 میلی‌متر، زاویه مارپیچ 30 درجه و شعاع نوک ابزار 4 میکرومتر ساخت شرکت همتولز[1] بوده که در شکل 1 نشان داده شده است. تمامی آزمایش‌ها روی ماشین فرز کنترل عددی چهار محوره‌ی کنترل همزمان مدل مایکرون[2] 710 با حداکثر دور اسپیندل 42000 دور بر دقیقه انجام شد. تصویر مربوط به آزمایش‌های میکروفرزکاری در شکل 2 آمده است.

آزمایش‌ها در حالت فرزکاری موافق و در دو حالت روان‌کاری تَر و نیمه‌خشک انجام شدند. روغن برش مصرفی در هر دو حالت روانکاری تَر و نیمه‌خشک نیز روغن بهران برش 11 بود که مشخصات آن در جدول 2 آورده شده است. سیال برشی در روش نیمه‌خشک، با دبی 240 میلی‌لیتر بر ساعت و فشار 6 بار انجام شد. به‌منظور عملکرد بهتر سیستم روان‌کاری، از دو نازل پاشش بهره گرفته شد.

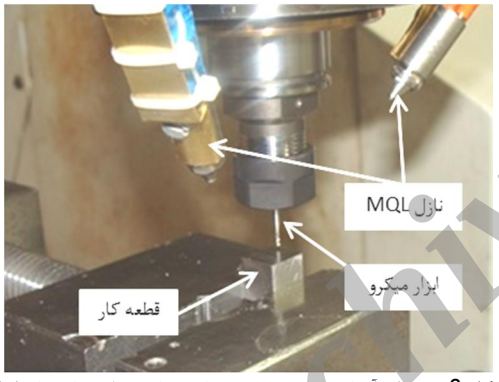
در ادامه، آزمایش‌های فرزکاری طرح‌ریزی شدند. طرح آزمایش به‌کار رفته در این تحقیق، روش تاگوچی بود. سه پارامتر ماشین‌کاری از جمله سرعت اسپیندل (n)، پیشروی به ازای لبه برنده (f_z) و عمق برش محوری (a_p) در سه سطح تغییر داده شدند.

جدول1 ترکیب شیمیایی آلیاژ Ti6Al4V

عنصر	درصد وزنی (%)
تیتانیوم	پایه
وانادیوم	4
آلومینیوم	6
نیتروژن	0/05
اکسیژن	0/2
هیدورژن	0/01
کربن	0/08
آهن	0/25



شکل 1 ابزار میکروفرز بکار رفته در آزمایش‌ها



شکل 2 تجهیزات آزمایش‌های میکروفرزکاری شامل قطعه، نازل‌ها و ابزار برشی

جدول 2: خواص روغن‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها

روغن مصرفی	گرانروی در 40℃ (cSt)	نقطه اشتعال (℃)	چگالی در 15℃ (kg/m³)
بهران برش 11	24	170	870

در جدول3، پارامترهای ماشین‌کاری، تعداد سطوح و مقادیر آن‌ها آمده است. تعداد 9 آزمایش از این طرح آزمایش بدست آمد که با فرض دو حالت روان‌کاری، جمعاً 18 آزمایش تجربی انجام گرفت.

زبری سطح نمونه‌های میکروفرزکاری شده با استفاده از دستگاه زبری‌سنج مار[3] مدل ام2[4] با طول کورس 5/6 میلی‌متر اندازه‌گیری شد. برای تعیین زبری سطح هر نمونه، زبری‌سنجی 3 مرتبه و در محل‌های مختلف مربوط به هر آزمایش، انجام و میانگین به عنوان زبری‌سطح متوسط (Ra) ارائه گردید. همچنین عرض پلیسه بعنوان معیار ارزیابی اندازه پلیسه ایجاد شده حین عملیات میکروفرزکاری تعیین شد. برای اندازه‌گیری پلیسه از

1- HAMTools
2- Mikron
3- Mahr
4- M2

www.SID.ir
Archive of SID

میکروسکوپ الکترونی ساخت شرکت فیلیپس[1] مدل ایکس‌ال 30[2] استفاده شد.

3- نتایج و بحث

نتایج 18 آزمایش انجام‌گرفته در جدول 4 نشان داده شده است. در ادامه تحلیل نتایج حاصل در دو بخش آورده شده و تأثیر پارامترهای برشی و نقش سیستم‌های روان‌کاری روی زبری سطح و عرض پلیسه به صورت جداگانه ارزیابی می‌گردند.

3-1- زبری سطح

با توجه به نتایج بدست آمده، سرعت دوران اسپیندل، پیشروی و عمق برش محوری به ترتیب بیشترین تأثیر را بر زبری سطح آلیاژ Ti6Al4V در فرآیند میکروفرزکاری داشتند. نمودارهای برهم‌کنش دوتایی پارامترهای برشی روی زبری سطح در شکل‌های 3، 4 و 5 نیز بیانگر این موضوع است. در شکل 3 و 4 اثر بیشتر سرعت دوران اسپیندل نسبت به عوامل دیگر قابل مشاهده است. شکل 5 نیز گویای این مطلب است که نرخ پیشروی در مقادیر پایین خود دارای اثرگذاری بیشتری بر زبری بوده ولی در مقادیر بالاتر، تاثیر آن درحد عمق برش می‌باشد.

نمودار تأثیر پارامترهای برشی بر زبری سطح میانگین نیز در شکل‌های 6، 7 و 8 آورده شده است. مستقل از نوع سیستم روان‌کاری، زبری سطح با افزایش سرعت برشی کاهش معناداری داشته است. دلیل این امر را می‌توان آسان‌تر شدن تغییر شکل پلاستیک ماده، افت تنش سیلان و کاهش اصطکاک در سطوح تماس به دلیل افزایش درجه حرارت دانست. علاوه بر این، با افزایش سرعت برشی و کاهش احتمال تشکیل لبه انباشته، صافی‌سطح بهبود می‌یابد.

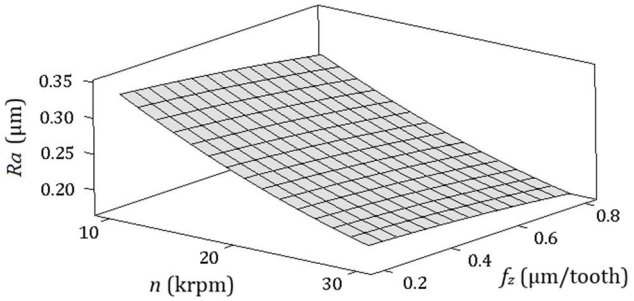
با افزایش پیشروی نیز زبری سطح کاهش می‌یابد. دلیل این پدیده را می‌توان در کاهش اثر اندازه برای پیشروی‌های بالاتر دانست. در واقع وقتی ضخامت براده نتراشیده در مقایسه با شعاع نوک ابزار خیلی کوچک است، اثرات اندازه و نیروهای شخم‌زنی چشمگیرتر خواهند بود. پدیده شخم‌زنی در ضخامت براده نتراشیده کوچک‌تر (به عبارتی پیشروی کمتر)، حاکم بر مکانیزم برش بوده و منجر به جریان پلاستیک غیریکنواخت ماده و زبری بیشتر آن می‌گردد. همچنین ناهمگن بودن خواص قطعه‌کار، تغییرات سختی ماده و نیز کوچک بودن مدول خمشی ابزار در میکروفرزکاری، موجب بروز ارتعاشات بیشتر در مقایسه با فرزکاری معمولی می‌شود.

جدول 3 پارامترهای مورد آزمایش و سطوح آن‌ها

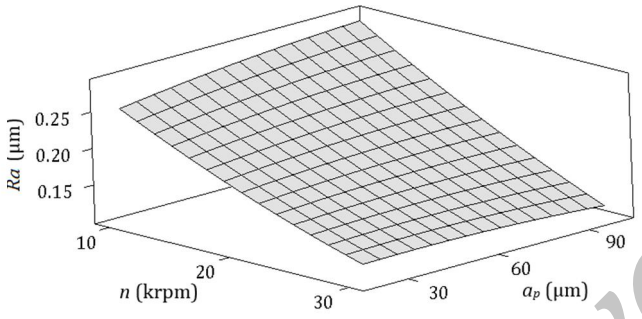
پارامترهای ماشین‌کاری	سطوح 1	2	3
عمق برش محوری a_p (µm)	20	60	100
سرعت پیشروی f_z (µm/tooth)	0/2	0/5	0/8
دوران اسپیندل n (rpm)	10000	20000	30000

جدول 4 نتایج زبری‌سنجی به همراه شرایط ماشین‌کاری

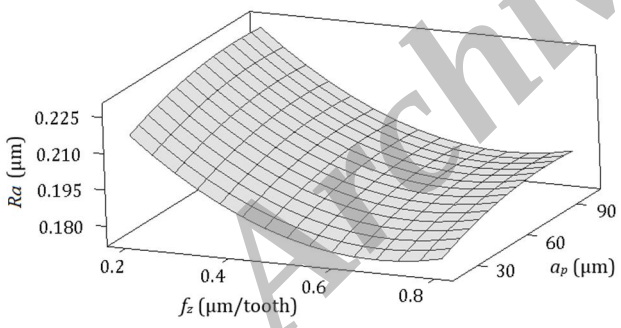
شماره آزمایش	پارامترها و سطوح n	f_z	a_p	زبری سطح (µm) تَر	MQL	اندازه پلیسه (mm) تَر	MQL
1	10000	0/2	20	0/311	0/288	0/61	0/45
2	10000	0/5	60	0/302	0/274	0/44	0/19
3	10000	0/8	100	0/292	0/285	0/44	0/18
4	20000	0/2	60	0/234	0/226	0/57	0/29
5	20000	0/5	100	0/231	0/191	0/39	0/24
6	20000	0/8	20	0/203	0/178	0/35	0/14
7	30000	0/2	100	0/198	0/152	0/55	0/21
8	30000	0/5	20	0/175	0/123	0/31	0/12
9	30000	0/8	60	0/170	0/118	0/26	0/09



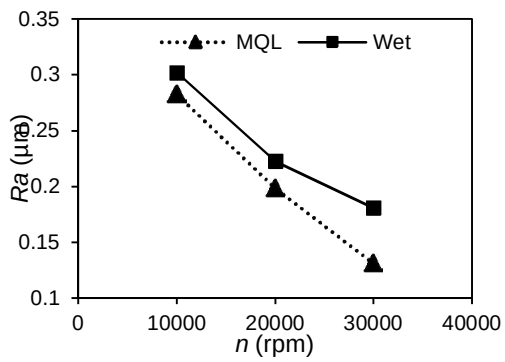
شکل 3 تأثیر سرعت اسپیندل و نرخ پیشروی بر زبری سطح در شرایط نیمه‌خشک



شکل 4 تأثیر سرعت اسپیندل و عمق برش بر زبری سطح در شرایط نیمه‌خشک



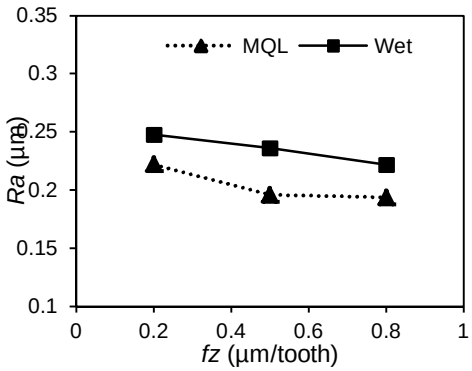
شکل 5 تأثیر پیشروی و عمق برش بر زبری سطح در شرایط نیمه‌خشک



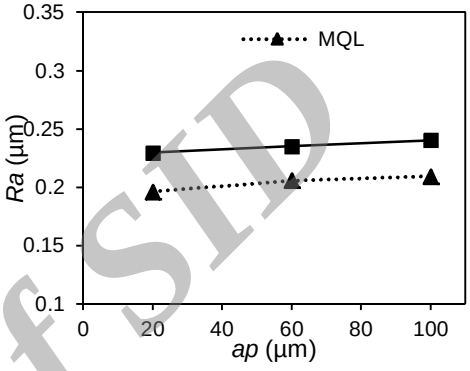
شکل 6 نمودار اثر سرعت اسپیندل بر زبری سطح میانگین

1- Philips
2- XL 30

www.SID.ir
Archive of SID

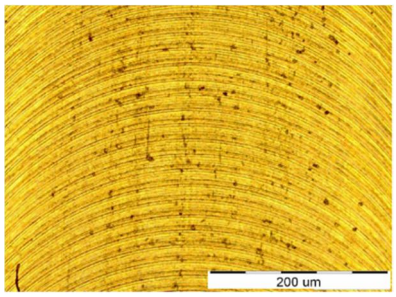


شکل 7 نمودار اثر نرخ پیشروی بر زبری سطح میانگین

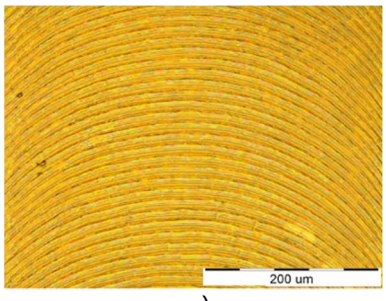


شکل 8 نمودار اثر عمق برش محوری بر زبری سطح میانگین

البته این اثرات در پیشروی و سرعت‌های برشی پایین برجسته‌تر بوده و منجر به زبری سطح بیشتر می‌گردد [16]. در میان پارامترهای برش، عمق برشی کمترین تأثیر را روی زبری سطح داشته و مقدار زبری میانگین با افزایش عمق برش به مقدار ناچیزی افزایش می‌یابد. برای درک بهتر اثر پیشروی بر زبری، تصاویر بافت سطح در دو حالت پیشروی پایین و بالا در شکل 9 آمده است. مشاهده می شود که در پیشروی پایین، بافت سطح دارای کیفیت پایین‌تری می‌باشد.



(الف)

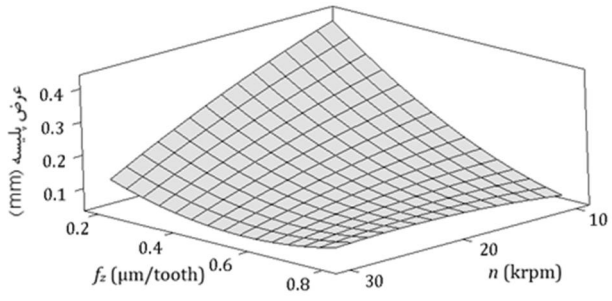


(ب)

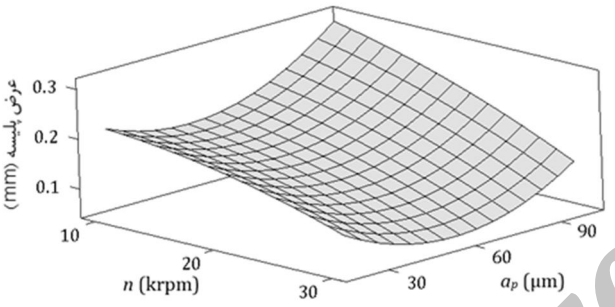
شکل 9 تصاویر بافت سطح در الف) پیشروی 0/2 میکرومتر بر لبه برنده ب) پیشروی 0/8 میکرومتر بر لبه برنده

3-2- عرض پلیسه

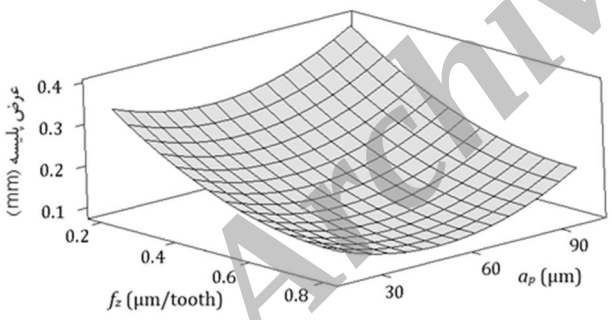
نمودارهای برهم‌کنش دوتایی پارامترهای برشی روی عرض پلیسه ایجادشده حین فرآیند در شکل‌های 10، 11 و 12 آمده است. پیشروی به ازای لبه برنده با توجه به نقش آن روی شخم‌زنی، به عنوان مؤثرترین فاکتور در تشکیل پلیسه شناخته شد و به دنبال آن، سرعت برشی و عمق برش محوری بیشترین تأثیر را داشته‌اند. روند تغییر اندازه پلیسه با توجه به تغییر پارامترهای برشی در شکل‌های 13، 14 و 15 نشان داده می‌شود.



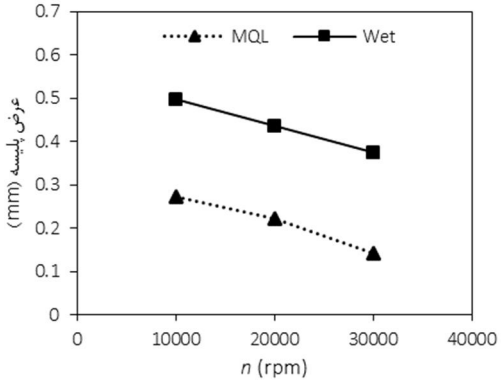
شکل 10 تأثیر سرعت اسپیندل و نرخ پیشروی بر عرض پلیسه در شرایط نیمه‌خشک



شکل 11 تأثیر سرعت اسپیندل و عمق برش بر عرض پلیسه در شرایط نیمه‌خشک



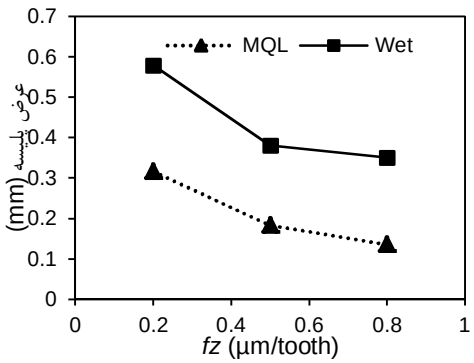
شکل 12 تأثیر نرخ پیشروی و عمق برش بر عرض پلیسه در شرایط نیمه‌خشک



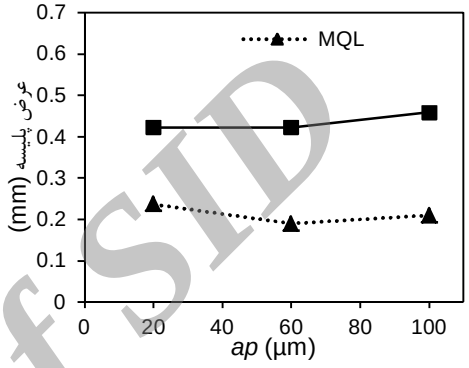
شکل 13 نمودار اثر سرعت اسپیندل بر عرض پلیسه

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 14 نمودار اثر نرخ پیشروی بر عرض پلیسه

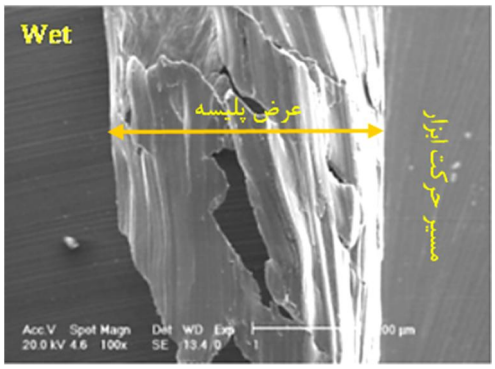


شکل 15 نمودار اثر عمق برش محوری بر عرض پلیسه

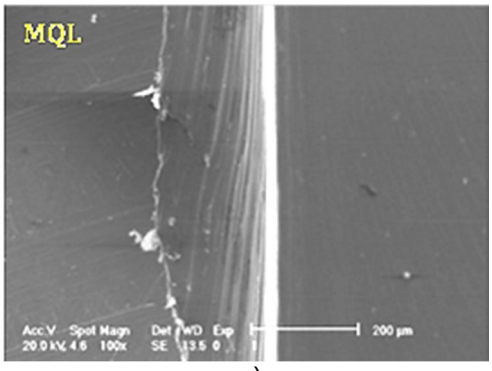
همان‌طور که در شکل مشخص است، با افزایش سرعت اسپیندل از 10000 دور بر دقیقه به 30000 دور بر دقیقه، اندازه پلیسه در حالت‌های تَر و نیمه‌خشک به ترتیب حدود 24% و 48% کاهش یافته است. کمترشدن اندازه پلیسه به علت کاهش ضخامت براده نتراشیده در سرعت دورانی بالاتر است. با افزایش مقدار پیشروی به ازای لبه برنده، اندازه پلیسه کاهش می‌یابد و این مقدار در حالت‌های تَر و نیمه‌خشک به ترتیب برابر با 39% و 57% می‌باشد. دلیل این کاهش، برجسته‌تر بودن مکانیزم شخم‌زنی در پیشروی‌های پایین‌تر است که در نتیجه آن، عمل مالش و فشردگی ماده به جای عمل برش موجب تشکیل پلیسه‌های بزرگتری می‌شود.

عمق برشی در بین پارامترهای برشی کمترین تاثیر (کمتر از 10%) را بر اندازه پلیسه داشته است. افزایش عمق برش موجب افزایش اندازه پلیسه به علت افزایش سطح براده نتراشیده می‌شود. افزایش سطح براده نتراشیده باعث افزایش نرخ براده‌برداری در واحد ابزار و نهایتاً افزایش اندازه پلیسه می‌گردد. بزرگ‌شدن شعاع لبه برنده به علت سایش ابزار که کاهش نسبت ضخامت براده نتراشیده به شعاع لبه برنده ابزار را بدنبال دارد، موجب منفی‌تر شدن زاویه براده موثر شده و در این حالت، مواد جلوی ابزار فشرده شده و تغییرشکل پلاستیکی ایجاد شده منجر به تشکیل پلیسه می‌شود [6].

تصاویر SEM مربوط به پلیسه تشکیل شده در نمونه آزمایش‌های 2 و 6 در حالت‌های روان‌کاری نیمه‌خشک و تَر، به ترتیب در شکل‌های 16 و 17 آمده‌اند. این تصاویر بیانگر کوچک بودن پلیسه جانبی تشکیل شده در حین عملیات میکروفرزکاری در روان‌کاری نیمه خشک است. این برتری به خاطر موثر بودن فشار پاشش روغن، کوچک بودن منطقه برش و روان‌کاری مؤثرتر آن در مقایسه با حالت تَر بوده و در سرعت‌های برشی و عمق‌های برشی بالا چشم‌گیرتر است. کوچک بودن قطر ابزار و کم‌بودن حجم باربرداری در مقیاس میکرو، موجب کاهش گرمای تولیدی حین فرآیند می‌شود. از این رو، روان‌کاری با پاشش سیال پرفشار، اثر خنک‌کنندگی بهتری خواهد داشت [18،17].

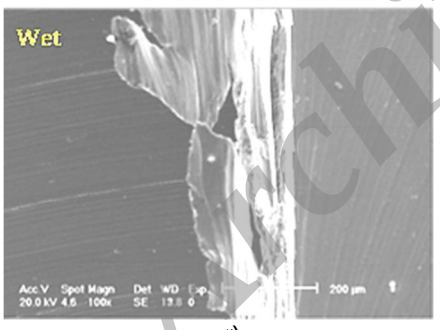


(الف)

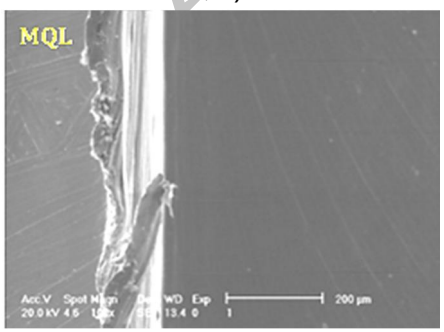


(ب)

شکل 16 شکل پلیسه ایجاد شده در آزمایش شماره 2 (سرعت اسپیندل 10000 دور بر دقیقه، نرخ پیشروی 0/5 میکرومتر بر لبه برنده و عمق برش 60 میکرومتر) و در حضور روان‌کاری الف) تَر ب) نیمه خشک



(الف)



(ب)

شکل 17 پلیسه ایجاد شده در آزمایش شماره 6 (سرعت اسپیندل 20000 دور بر دقیقه، نرخ پیشروی 0/8 میکرومتر بر لبه برنده و عمق برش 20 میکرومتر) و در حضور روان‌کاری الف) تَر ب) نیمه خشک

Archive of SID

www.SID.ir

در یک جمع‌بندی کلی از نتایج بدست آمده می‌توان گفت که استفاده از سیستم روان‌کاری نیمه‌خشک حین فرآیند میکروفرزکاری، عملکرد مناسب‌تری روی کیفیت سطح قطعه داشته است و منجر به زبری سطح کمتر و کاهش اندازه پلیسه می‌گردد. همچنین مستقل از نوع روان‌کار، با افزایش سرعت برشی و پیشروی و همچنین کاهش عمق برش محوری، زبری سطح کمتر و پلیسه کوچکتری شکل گرفته است.

4- نتیجه گیری

رسانایی حرارتی کم تیتانیوم مانع از انتقال مؤثر حرارت تولیدی حین ماشین‌کاری از طریق قطعه‌کار و براده می‌شود، از این رو حرارت تولیدی بایستی از طریق ابزار و سیال برشی منتقل گردد. انتخاب محیط ماشین‌کاری و شرایط برش از مهم‌ترین فاکتورهای بهبود کیفیت سطح در فرآیند میکروفرزکاری می‌باشند. در این تحقیق اثرات این پارامترها در قالب سرعت برشی، پیشروی و عمق برش محوری در حضور دو نوع سیستم روان‌کاری تَر و نیمه‌خشک بر زبری سطح و پلیسه ایجاد شده روی آلیاژ Ti6Al4V مورد ارزیابی قرار گرفته است. خلاصه نتایج بدست آمده بصورت زیر می‌باشند:

1. در بین پارامترهای برشی، سرعت برشی و پیشروی به ترتیب به عنوان موثرترین پارامتر روی زبری سطح و اندازه پلیسه در میکروفرزکاری آلیاژ تیتانیوم Ti6Al4V شناخته شدند.
2. مستقل از نوع روان‌کار، زبری سطح و اندازه پلیسه با افزایش سرعت برشی و پیشروی و نیز کاهش عمق برش محوری کاهش یافتند.
3. سیستم روان‌کاری نیمه‌خشک به طور میانگین زبری سطح را تا 15% و اندازه پلیسه را تا 45% کاهش داده و این اثر کاهنده در سرعت‌های برشی و عمق‌های برش بالا برجسته‌تر است.
4. بهترین شرایط کیفیت سطح در هنگام استفاده از سیستم روان‌کاری نیمه خشک و در شرایط سرعت اسپیندل 30000 دور بر دقیقه، پیشروی 0/8 میکرومتر بر لبه برنده و عمق برش 60 میکرومتر حاصل شده است.

5- مراجع

[1] M. P. Vogler, R. E. Devor, and S. G. Kapoor, On the Modeling and Analysis of Machining Performance in Microendmilling, Part II: Cutting Force Prediction, *ASME J. Manuf. Sci. Eng.,* Vol. 126, pp. 695–705, 2004.

[2] M. P. Vogler, R. E. Devor, and S. G. Kapoor, On the Modeling and Analysis of Machining Performance in Microendmilling, Part I: Surface Generation", *ASME J. Manuf. Sci. Eng.,* Vol. 126, pp. 685–694, 2004.

[3] H. Weule, V. Huntrup, and H. Trischle, Micro-Cutting of Steel to Meet New Requirements in Miniaturization, *CIRP Ann.,* Vol. 50, pp. 61–64, 2001.

[4] A. J. Mian, N. Driver, and P. T. Mativenga, A comparative study of material phase effects on micro-machinability of multiphase materials, *Int J Adv Manuf Technol,* Vol. 50, pp. 163–174, 2010.

[5] F. Klocke, G. Eisenbl¨ atter, Drycutting, *CIRPAnnals, Manufacturing Technology,* Vol. 46, pp. 519–526, 1997.

[6] A. Aramcharoen, P.T. Mativenga, Size effect and tool geometry in micromilling of tool steel, *Precision Engineering,* Vol. 33, pp. 402–407, 2009.

[7] T. Thepsonthi, T. Ozel, Multi-objective process optimization for micro-end milling of Ti-6Al-4V titanium alloy, *Int. J. adv. Manuf. Technol,* Vol. 63, pp. 903–914, 2012.

[8] A.J. Mian, N. Driver, P.T. Mativenga, Identification of factors that dominate size effect in micro-machining, *International Journal of Machine Tools and Manufacture,* Vol. 51, pp. 383–394, 2011.

[9] V. Bajpai, A. K. Kushwaha, R. K. Singh, Burr formation and surface quality in high speed micromilling of titanium alloy (ti6ai4v), *Proceedings of the ASME 2013 international manufacturing science and engineering conference, (MSEC 2013)*

[10] K. M. Li, Sh. Y. Chou, Experimental evaluation of minimum quantity lubrication in near micro-milling, *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 210, pp. 2163–2170, 2010.

[11] K. Nakayama, and M. Arai, Burr formation in metal cutting, *Ann CIRP,* Vol. 36, No. 1, pp. 33–36, 1987.

[12] Y. C. Liang, K. Yang, Q. S. Bai, J. X. Chen, and B. Wang, Modeling and experimental analysis of microburr formation considering tool edge radius and tool-tip breakage in microend milling, *Journal of Vacuum Science and Technology B,* Vol. 27, pp. 1531–1535, 2009.

[13] S. Filiz, CM. Conley, MB. Wasserman, et al., An experimental investigation of micro machinability of copper 101 using tungsten carbide micro end mills, *Int J Mach Tool Manu,* Vol. 47, pp. 1088–1100, 2007.

[14] K. Weinert, V. Petzoldt , Machining NiTi micro-parts by micro-milling, *Materials Science and Engineering A,* 481–482, pp. 672–675, 2008.

[15] M. M. Abootorabi, M. R. Razfar, Analytical and Experimental Investigations of Instability in Milling Process and Studying the Effect of Cutting Parameters and Tool Stiffness, *Mechianic And Aerospace,* Vol. 5, No. 3, pp.81-90, 2009. (In persian)

[16] GM. Zhang, S. G. Kapoor, Dynamic Generation of Machined Surfaces, Part 2. Construction of Surface Topography, *Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME,* Vol.113, No.2, pp.145-153,1991.

[17] Y. Karpat, Temperature dependent flow softening of titanium alloy Ti6Al4V: An investigation using finite element simulation of machining, *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 211, pp. 737–749, 2011.

[18] S. Basturk et al., Titanium machining with new plasma boronized cutting tools, *CIRP Annals - Manufacturing Technology,* Vol. 59, pp. 101–104, 2010.

Archive of SID

www.SID.ir