



بررسی پارامترهای ماشین‌کاری در تراش کاری سوپرآلیاژ مونل K500 در حالت خشک و روان کاری کمینه توسط نانوسیال

سعید امینی^{۱*}، سید محسن عسگری^۲، محمدحسین توجهی^۲

۱- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان، کاشان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید، دانشگاه کاشان، کاشان

*کاشان، صندوق پستی ۸۷۳۱۷۵۱۱۶۷، amini.s@kashanu.ac.ir

چکیده

یکی از روش‌های نوین روان کاری مورد استفاده در فرایندهای براده‌برداری جهت بهبود پارامترهای ماشین‌کاری، روش روان کاری کمینه می‌باشد. در این مطالعه، براده‌برداری سوپرآلیاژ مونل K500 توسط ابزارهای سرامیکی از نوع وایپر تحت ماشین‌کاری خشک و روان کاری کمینه با نانوسیال، بررسی شده است. ابتدا تجهیزات لازم جهت انجام آزمایش‌ها در شرایط خشک و تقریباً خشک (روانکاری کمینه) با نانوسیال آماده‌سازی شده و سپس در هر یک از این شرایط، آزمایش‌ها برای سرعت‌های برشی و نرخ‌های پیشروی مختلف ابزار تکرار شده است. ابزار مورد استفاده، اینسرت سرامیکی وایپر با کد CNGA 12 04 08 T01020WG-650 ساخت شرکت سندویک می‌باشد. در طول هر یک از آزمایش‌ها، برخی از پارامترهای ماشین‌کاری نظیر نیروهای ماشین‌کاری و زبری سطح مورد سنجش قرار گرفته‌اند. نتایج بدست آمده حاکی از آن هستند که تحت ماشین‌کاری با روان کاری کمینه نانوسیال در سرعت‌های برشی پایین نه تنها از مقدار زبری سطح کاسته می‌شود بلکه نیروی برشی هم کاهش می‌یابد.

کلید واژگان: روانکاری کمینه، نانوسیال، مونل K500، کیفیت سطح، نیروی برشی

Investigating the machining parameters in turning of Monel K500 super alloy at dry and minimum quantity lubrication (MQL) by nano-fluids conditions

Saeed Amini*, Sayed Mohsen Asgari, Mohamad Hosein Tavajohi

Department of Mechanical Engineering, University of kashan, Kashan, Iran

*P.O.B. 8731751167, Kashan, amini.s@kashanu.ac.ir

ABSTRACT

One of the new ways to improve the machining parameters in turning processes methods is the minimum quantity lubrication (MQL) method. In this study, the machining process of Monel K500 super alloy has been investigated using wiper type ceramic tool under dry and minimal lubrication with nano-fluid conditions. First, the necessary equipment was provided to perform the tests in dry and relatively dry (minimal lubrication) conditions. Then, the tests were completed in each of these conditions to determine the shear and feed rates. The utilized tool in experiments is the Wiper Ceramic Insert with the code CNGA 12 04 08 T01020WG-650 that is manufactured by Sandvik. The parameters of machining forces and surface roughness were measured during the tests. The results showed that the machining in the conditions of minimal quantity lubrication using nano-fluid not only reduced the amount of surface roughness, but also reduce shear force at low shear rates.

Keywords: Cutting Force, Minimum Lubrication, Monel K500, Nano-fluid, Surface Quality

۱- مقدمه

صنایع از جمله صنایع فلزی هم از این تکنولوژی بی‌نصیب نبوده‌اند. در بررسی‌ها ثابت شده که وجود ذرات برخی مواد سرامیکی در ابعاد نانو موسوم به نانوذرات در سیال مورد استفاده در روش روان کاری کمینه، باعث بهبود پارامترهای برشی می‌شوند. از این رو سعی شده در این مطالعه، تاثیرات نانوسیال در فرایند تراش کاری، با استفاده از روش روان کاری کمینه مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد.

آبیکاو و همکارانش [۱] در سال ۲۰۰۶، روان کاری کمینه^۱، روان کاری معمولی و شرایط خشک را در شیارتراشی با سرعت بالا روی فولاد کم کربن مقایسه کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که روان کاری کمینه سایش ابزار را کاهش می‌دهد. همچنین دریافتند که مکانیزم انتقال بخار روغن به منطقه‌ی ماشین-

معمولاً در فرایندهای براده‌برداری، روان کارها با خنک کاری و روان کاری محل تماس ابزار و قطعه کار، باعث بهبود بسیاری از پارامترهای ماشین‌کاری و بهبود عمر ابزار می‌شوند، اما ممکن است استفاده از این روش از لحاظ اقتصادی به صرفه نباشد و یا این روان کارها از لحاظ زیست محیطی، مضر باشند. بنابراین محققان همواره به دنبال راهکارهایی جایگزین این روش بوده‌اند تا هم هزینه‌ی آن کمتر باشد و هم این که اختلالی در محیط زیست ایجاد نکند. روان کاری تقریباً خشک یا کمینه روشی جدید است که به دلیل کاهش حجم روان کار مورد استفاده، هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. در این روش می‌توان از روان کارهای سازگار با محیط زیست مانند روغن‌های گیاهی استفاده نمود. از طرفی در چندین سال گذشته، با پیشرفت فناوری نانو، اکثر

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

1. minimum quantity lubrication (MQL)

Please cite this article using:

S. Amini, S.M. Asgari, M.H. Tavajohi, Monel K500 super alloy machining parameters for turning the dry and minimum quantity lubrication (MQL) by nano-fluids, Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference, Vol. 15, No. 13, pp. 59-63, 2015 (in Persian)

شرکت سندویک که روی نگهدارنده‌ی مخصوص خودش با کد DCLNR 2525 M12 نصب شده است. جهت اندازه‌گیری نیرو از دستگاه دینامومتر ۸ کاناله مدل 92578 ساخت شرکت کیستلر برای ثبت هر سه مولفه‌ی نیروهای ماشین کاری در طول عملیات براده‌برداری استفاده شد. از یک دستگاه زبری‌سنج مدل PSI و ساخت شرکت ماهر به‌منظور سنجش زبری سطح موردنظر در فواصل معین استفاده شده است. پس از آماده‌سازی تجهیزات لازم، آماده‌سازی فرایند جهت انجام آزمایش‌ها در شرایط خشک و تقریباً خشک (روان کاری کمینه) انجام گردیده و سپس در هریک از این شرایط، آزمایش‌ها برای سرعت‌های برشی و نرخ‌های پیشروی مختلف ابزار انجام گردید. شکل ۱ آماده‌سازی فرایند برای انجام آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.

۲-۲- ماشین کاری با روان کاری کمینه

روش کار دستگاه‌های روان کاری کمینه بدین صورت است که در آن‌ها حجم بسیار کمی از روان کار در هر لحظه با هوا مخلوط می‌شود و قطرات روان کار در ابعاد میکرون با فشار هوا و سرعت زیاد از طریق نازل روی محل ماشین کاری پاشیده می‌شود. جهت تولید سیال روان کار در روان کاری کمینه، که مخلوط هوا روغن به‌صورت اسپری است، نیاز به یک وسیله ریزساز می‌باشد. توسط این دستگاه قطرات کوچک روغن به اندازه ۱۰ تا ۵۰ میکرون تولید می‌شود. قسمت‌های اصلی دستگاه مورد استفاده در این مطالعه عبارتند از: کنترل فشار هوای ورودی، کنترل فشار هوای خروجی، کنترل دبی روغن و شیر تنظیم فرکانس. با استفاده از شیر تنظیم فرکانس، می‌توان مقادیر روانکار منتقل شده توسط پمپ را تنظیم کرد. روان کار توسط یک لوله‌ی باریک و به کمک هوای هدایت شده با شیلنگ خارجی از محفظه‌ی سیال تا نازل هدایت شده و پس از ریزسازی روی محل موردنظر که لایه‌ی برنده‌ی ابزار است پاشیده می‌شود. در نتیجه در طول ماشین کاری، یک نوار باریک از روان کار روی محل تماس براده- ابزار و همچنین قطعه‌کار- ابزار وجود خواهد داشت که باعث کاهش دمای ابزار و قطعه کار می‌شود. پمپ طراحی شده برای این دستگاه می‌تواند مقدار قابل تنظیمی از روان کار (کمتر از ۸۰۰ میلی‌لیتر بر ساعت) را ارسال کند.

۲-۳- انجام آزمایش‌ها

در روش ماشین کاری با روان کاری کمینه، عوامل متعددی وجود دارند که در تاثیر مناسب این روش بر پارامترهای ماشین کاری موثرند از جمله: مقدار دبی سیال، فشار هوای خروجی، فرکانس ارسال روان کار، موقعیت نازل نسبت به ابزار و فاصله‌ی آن با سر ابزار. بدین سبب، قبل از انجام آزمایش‌های اصلی،

کاری نقش مهمی در روان کاری این منطقه و کاهش سایش ابزار دارد. دهر و همکارانش [۲] در سال ۲۰۰۶، اثر روان کاری کمینه را روی سایش ابزار و کیفیت سطح در تراش کاری فولاد AISI 4340 بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که روان کاری کمینه باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در نرخ سایش ابزار و زبری سطح و همچنین دمای منطقه‌ی ماشین کاری می‌شود. برونی و همکارانش [۳] در سال ۲۰۰۶، تراش کاری فولاد زنگ‌نزن AISI 420B 3 را تحت شرایط روان کاری معمولی، روان کاری کمینه و خشک با دو نوع اینسرت معمولی و وایپر^۱ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که روش خنک کاری تاثیر چندانی روی سایش ابزار ندارد در حالی که روان کاری معمولی بدترین زبری سطح را دارد. اینسرت وایپر کیفیت سطح بهتری نسبت به نوع معمولی داشته و استفاده از بستر پلیمری در قطعه‌کار باعث کاهش سایش ابزار و زبری سطح می‌شود. بین‌شن و همکارانش [۴] در سال ۲۰۰۷، کاربرد نانوسیال با حداقل میزان روان کاری در سنگ‌زنی را مورد بررسی قرار دادند. نانوذرات آلومینا^۲ و الماس در پایه‌ی آب در فرآیند سنگ‌زنی با روان کاری کمینه مورد استفاده قرار گرفت و نتایج با حالت آب خالص مقایسه گردید. نتایج نشان داد که وجود نانوسیال در این روش باعث کاهش نیروهای سنگ‌زنی، بهبود زبری سطح و جلوگیری از سوختن سطح شد.

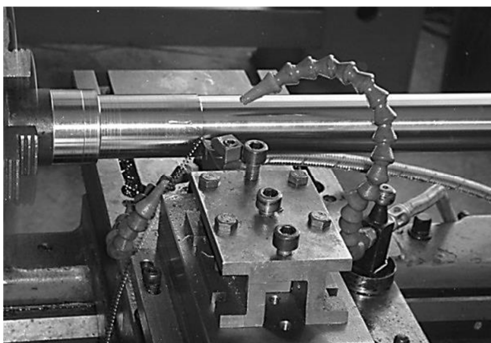
استفاده از این فرایند در تراش کاری سوپرآلیاژ [۸،۵] باعث بهبود توانایی ماشین کاری شده و در فرایند میکروسوراخ کاری با استفاده از نانوسیال باعث کاهش نیرو و گشتاور سوراخ کاری می‌شود [۶].

تحقیقات محققین نشان داده که استفاده از روش روان کاری کمینه باعث کاهش دمای منطقه برش [۷] و بهبود فرایندها می‌شود [۸-۱۲]. بنابر مطالعات انجام شده، هنوز تحقیق و بررسی در مورد ماشین کاری تقریباً خشک حاوی نانوسیالات مختلف روی بسیاری از مواد هنوز انجام نشده است و پیشرفت در این زمینه‌ها نیازمند تحقیقات و مطالعات بیشتری است. در این تحقیق با استفاده از اینسرت‌های سرامیکی از نوع وایپر، تاثیر روان کاری کمینه حاوی نانوسیال روی براده‌برداری یک قطعه‌ی استوانه‌ای از جنس سوپرآلیاژ مونل K500 بررسی شده است. به منظور آماده‌سازی فرآیند در این تحقیق، ابتدا فشار هوای دستگاه روان کاری کمینه تنظیم شده و سعی شده فرکانس دستگاه بهینه شود. پس از نصب مجموعه‌ی قطعه کار و ابزار بر روی دستگاه تراش، نازل دستگاه روان کاری کمینه در محل مناسب خود بر روی دستگاه قرار گرفته است. سپس براده‌برداری در شرایط خشک و تقریباً خشک انجام گردید و تاثیر روان کاری کمینه حاوی نانوسیال بر پارامترهای ماشین کاری بررسی گردید.

۲-۲- آماده‌سازی فرایند

۲-۱- شرایط آزمایشگاهی

از دستگاه تراش مدل TN50A و ساخت شرکت تبریز برای انجام براده‌برداری‌ها استفاده شد. قطعه‌کار شامل یک قطعه‌ی استوانه‌ای به قطر ۱۰۳ میلی‌متر و طول تقریبی ۴۵۰ میلی‌متر از جنس سوپرآلیاژ مونل K500 می‌باشد. دستگاه روان کاری کمینه شامل یک دستگاه روان کاری کمینه مدل رویال R50 است که مخلوطی از هوا و روغن را ایجاد کرده و قطرات روغن را در ابعاد میکرون با فشار هوا روی محل موردنظر می‌پاشد. ابزار برشی شامل اینسرت سرامیکی وایپر با کد CNGA 12 04 08 T01020WG-650 تولیدی



شکل ۱ آماده‌سازی فرایند

1. wiper
2. Al2O3

جدول ۱ شرایط آزمایش در مراحل مختلف			
مرحله	سرعت برشی (m/min)	نرخ پیشروی (mm/rev)	شرایط روان کاری
۱	۳۹/۵	۰/۱۲	خشک
۲	۳۹/۵	۰/۱۲	روان کاری کمینه
۳	۳۹/۵	۰/۱۶	خشک
۴	۳۹/۵	۰/۱۶	روان کاری کمینه
۵	۳۹/۵	۰/۲	خشک
۶	۳۹/۵	۰/۲	روان کاری کمینه
۷	۵۶/۵	۰/۱۲	خشک
۸	۵۶/۵	۰/۱۲	روان کاری کمینه
۹	۵۶/۵	۰/۱۶	خشک
۱۰	۵۶/۵	۰/۱۶	روان کاری کمینه
۱۱	۵۶/۵	۰/۲	خشک
۱۲	۵۶/۵	۰/۲	روان کاری کمینه
۱۳	۷۸/۵	۰/۱۲	خشک
۱۴	۷۸/۵	۰/۱۲	روان کاری کمینه
۱۵	۷۸/۵	۰/۱۶	خشک
۱۶	۷۸/۵	۰/۱۶	روان کاری کمینه
۱۷	۷۸/۵	۰/۲	خشک
۱۸	۷۸/۵	۰/۲	روان کاری کمینه
۱۹	۱۱۱/۵	۰/۱۲	خشک
۲۰	۱۱۱/۵	۰/۱۲	روان کاری کمینه
۲۱	۱۱۱/۵	۰/۱۶	خشک
۲۲	۱۱۱/۵	۰/۱۶	روان کاری کمینه
۲۳	۱۱۱/۵	۰/۲	خشک
۲۴	۱۱۱/۵	۰/۲	روان کاری کمینه

افزایش نرخ پیشروی، زبری سطح بیشتر می‌شود، اما در موادی مانند آلومینیوم و سوپرآلیاژها باعث تشکیل و چسبیدن لبه‌ی انباشته می‌گردد که توجیه کننده‌ی این اختلالات می‌باشد. برخی مواد متمایل به چسبیدن و لبه انباشته هستند. از این رو روی زبری سطح تاثیر می‌گذارند. علاوه بر این، سرعت برشی مهمترین عامل است که روی سایش ابزار تاثیر می‌گذارد. در نتیجه، سایش ابزار عامل مهم دیگری است که می‌تواند زبری سطح را افزایش دهد. بنابراین، در این مورد، افزایش زبری سطح با افزایش سرعت برشی با لبه‌انباشته و سایش ابزار توجیه شده است. شکل ۲ حاکی از آن است که در سرعت‌های برشی پایین و نرخ پیشروی متوسط، روان کاری کمینه باعث بهبود زبری سطح می‌شود.

شکل ۳ تاثیر روان کاری کمینه بر نیروی اصلی^۴ ماشین کاری را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، در هردو شرایط ماشین کاری خشک و تقریباً خشک با افزایش سرعت برشی تا ۵۶/۵m/min نیروی اصلی یا مماسی افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش نرخ پیشروی، این نیرو همواره افزایش می‌یابد. در تمامی سرعت‌های برشی و نرخ‌های پیشروی، روانکاری کمینه باعث بهبود نیروی اصلی شده است. در فرایندهای براده‌برداری، افزایش سرعت برشی موجب افزایش دمای ماشین کاری می‌شود که ابتدا باعث تشکیل لبه انباشته و همان‌طور که در اشکال بالا نشان داده شد موجب افزایش نیروهای ماشین کاری شده و سپس با افزایش سرعت برشی، لبه انباشته از بین رفته و نیروهای ماشین کاری کاهش می‌یابد.

یک سری آزمایش‌های اولیه برای بهینه نمودن این عوامل انجام شده است. پس از انجام آزمایش‌های اولیه، ملاحظه شد که بهتر است که فشار هوای خروجی از آن در حد ۴/۵ بار باشد. حداکثر دبی سیال دستگاه روان کاری کمینه مورد استفاده در این مطالعه ۸۰۰ میلی‌لیتر در ساعت است که جهت رسیدن به دبی مناسب در آزمایش‌های مختلف برای داشتن بهترین کیفیت سطح، مقدار دبی ۱۱۰ میلی‌لیتر بر ساعت برای آن انتخاب شده است. با توجه به تاثیر زاویه‌ی نازل دستگاه روان کاری کمینه با سطح آزاد ابزار در بهبود پارامترهای ماشین کاری تصمیم گرفته شد که نازل در بالای اینسرت، منطبق بر صفحه‌ی سطح براده‌ی فرعی اینسرت و در زاویه‌ی ۴۵ درجه نسبت به لبه‌ی فرعی اینسرت و با فاصله‌ی حدود ۱ سانتی‌متر تا نوک ابزار قرار گیرد. فرکانس ارسال روان کار، تعداد دفعات ارسال روان کار در دقیقه را نشان می‌دهد که پس از آزمایش‌های بسیار، مشاهده شد که اگر به مقدار ماکزیمم خود برسد تاثیر بهتری در روند انجام آزمایش‌ها خواهد داشت. پس بیشترین مقدار ممکن برای انتخاب شد. پس از انجام آزمایش‌ها اولیه، نوبت به اجرای آزمایش‌ها اصلی رسید. در این آزمایش‌ها، ابتدا یک قطعه‌ی استوانه‌ای به قطر ۱۰۳ میلی‌متر و طول تقریبی ۴۵۰ میلی‌متر درون چهار نظام دستگاه تراش محکم شده است و به‌منظور برطرف کردن لنگی قطعه‌کار، سر دیگر آن در مرغک دستگاه قرار گرفته است. برای انجام آزمایش‌ها براده‌برداری، از یک اینسرت سرامیکی وایپر استفاده شده که روی نگه‌دارنده‌ی مخصوص خودش نصب شده و این نگه‌دارنده روی دستگاه دینامومتر محکم شده است و دستگاه دینامومتر هم روی ساپورت دستگاه تراش نصب شده است. پس از نصب قطعه‌کار و ابزار در جای مخصوص خودشان، سرعت برشی و نرخ پیشروی در هر جفت مرحله از آزمایش‌ها طبق جدول ۱ و مطابق روش طراحی آزمایش فول فاکتوریل^۱ تغییر کرده است که در مجموع ۲۴ آزمایش انجام گردید. هر مرحله از آزمایش روی ۱ سانتی‌متر از طول قطعه کار انجام شده است و عمق برش در تمامی آزمایش‌ها برابر ۰/۴ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. در طول هر مرحله از آزمایش، دینامومتر نیروهای وارد بر ابزار برشی را ثبت کرده است و پس از پایان هر مرحله، توسط زبری‌سنج، زبری سطح قطعه‌کار سنجیده شده است. پس از پایان آزمایش‌ها، برای مقایسه‌ی اطلاعات بدست آمده از آزمایش‌ها، طراحی آزمایش براساس روش فول فاکتوریل در نرم‌افزار مینی‌تب^۲ انجام شده است.

۳- نتایج و بحث

پس از انجام آزمایش‌ها نتایج نیروها در سه راستا و زبری سطح در طول ماشین کاری حاصل گردید که طبق پارامترهای مطالعه شده، ۲۴ آزمایش انجام گرفته است. همه‌ی داده‌ها و نتایج آزمایش‌ها به کمک نرم‌افزار مینی‌تب تحلیل شده‌اند و نمودارها توسط این نرم‌افزار تهیه شده‌اند. بدین صورت، ما می‌توانیم یک مقایسه‌ی بهتر بین نتایج بدست آمده از ماشین کاری خشک و تقریباً خشک داشته باشیم. زبری سطح یکی از مهم‌ترین پارامترها در یک قطعه‌کار مکانیکی و همچنین یکی از محدودیت‌ها برای انتخاب پارامترهای براده‌برداری در فرایند طراحی می‌باشد. شکل ۲ زبری سطح^۳ در دو فرایند را تحت تاثیر سرعت برشی و نرخ پیشروی ابزار در دو حالت ماشین کاری خشک و با روان کاری کمینه نشان می‌دهد که با افزایش سرعت برشی و نرخ پیشروی، زبری سطح مقداری افزایش و سپس کاهش ناگهانی می‌یابد. عموماً، طبق مکانیک تراش فلزات، با افزایش سرعت برشی، زبری سطح کاهش و با

1. Full Factorial
2. Minitab
3. Ra

4. Fz

واقعیت چندین دلیل وجود دارد و این جا شرح داده می شود. ابتدا با افزایش سرعت برشی، ناحیه‌ی صفحه‌ی برش کاهش می یابد و سپس انرژی برشی مخصوص کاهش می یابد. از طرفی دیگر، افزایش سرعت برشی منجر به کاهش نیروی اصطکاک روی سطوح ابزار می شود.

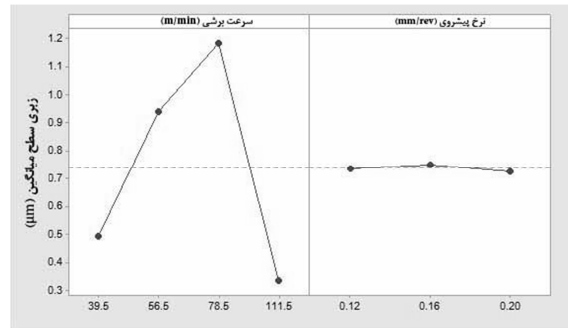
۴- نتیجه گیری

در این مطالعه، اثر ماشین کاری با روان کاری کمینه توسط نوعی نانوسیال در فرایند تراش کاری مونل K500 بررسی شده است. تاثیرات پارامترهای ماشین کاری (سرعت برشی و نرخ پیشروی) و همچنین تعامل اثر آن ها را بر روی خروجی های زبری سطح، نیروی اصلی ماشین کاری مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش های اولیه برای بهینه نمودن شرایط روان کاری کمینه انجام شده و سپس آزمایش های اصلی برای ۴ سرعت برشی و ۳ نرخ پیشروی اجرا شده است. سپس براساس روش فول فاکتوریل، ۲۴ آزمایش طراحی شده و با بررسی اطلاعات به دست آمده از این آزمایش ها، نیروهای ماشین کاری و زبری سطح در شرایط خشک و تقریباً خشک با هم مقایسه شده اند که نتایج به شرح زیر می باشند.

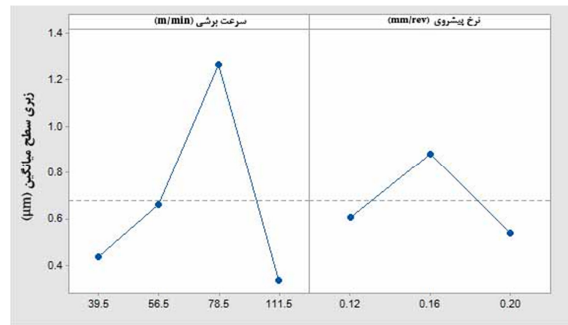
معمولاً در سرعت های پایین تر (سرعت های برشی 39.5 m/min و 56.5 m/min) روان کاری کمینه باعث بهبود کیفیت سطح و نیروهای ماشین کاری می شود. در سرعت برشی 56.5 m/min و نرخ پیشروی 0.12 mm/rev روان کاری کمینه بیشترین تاثیر را روی بهبود کیفیت سطح دارد به گونه ای که باعث کاهش ۵۲ درصدی نیروی اصلی ماشین کاری و ۲۷ درصدی زبری سطح می شود. همچنین در سرعت برشی 39.5 m/min و نرخ پیشروی 0.12 mm/rev روان کاری کمینه بیشترین تاثیر مثبت را روی نیروهای ماشین کاری دارد بدین شرح که باعث کاهش ۱۶ درصدی نیروی محوری، کاهش ۵ درصدی نیروی شعاعی و کاهش ۱۲ درصدی نیروی اصلی (مماسی) می شود.

۵- مراجع

- [1] T. Obikawa, Y. Kamata, J. Shinozuka, High-speed grooving with applying MQL, *Journal Machine Tools & Manufacture*, Vol. 46, pp. 1854-1861, 2006.
- [2] N. R. Dhar, M. Kamruzzaman, A. Mahiuddin, Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel, *Journal Materials Processing Technology*, Vol. 172, pp. 299-304, 2006.
- [3] C. Bruni, A. Forcellese, F. Gabrielli, M. Simoncini, Effect of the lubrication/cooling technique, insert technology and machine bed material on the workpart surface finish and tool wear in finish turning of AISI 420B, *Journal Machine Tools & Manufacture*, Vol. 46, pp. 1547-1554, 2006.
- [4] Bin Shen, Albert Shih, Simon Tung, application of nanofluids in minimum quantity lubrication grinding, *Proceedings of ASME/STLE International Joint Tribology Conference*, San Diego, California USA, 2007.
- [5] Y. Kamata, T. Obikawa, High speed MQL finish-turning of Inconel 718 with different coated tools, *Journal Materials Processing Technology*, Vol. 192, pp. 281-286, 2007.
- [6] Jung Soo Nam, Pil-Ho Lee, Sang Won Lee, Experimental characterization of micro-drilling process using nanofluid minimum quantity lubrication, *Journal of Machine Tools & Manufacture*, 51 (2011) 649-652.
- [7] Ali, S.M, Dhar, N.R, Dey, S.K, Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on cutting performance in turning medium carbon steel by uncoated carbide insert at different speed-feed combinations, *Advances in Production Engineering & Management*, pp 185-196, 2011.
- [8] Yazid, M.Z.A., Che Haron, C.H., Ghani, J.A., Ibrahim, G.A., Said, A.Y.M. Surface integrity of Inconel 718 when finish turning with PVD coated carbide tool under MQL. *Procedia Engineering*, Vol 19, pp. 396-401, 2011
- [9] Dinesh Setti, Sudarasan Ghosh, and P. Venkateswara Rao, Application of Nano Cutting Fluid under Minimum Quantity Lubrication (MQL) Technique to Improve Grinding of Ti - 6Al - 4V Alloy, *Journal of World Academy of Science: Engineering and Technology*, Vol.6, pp 1:5, 2012.

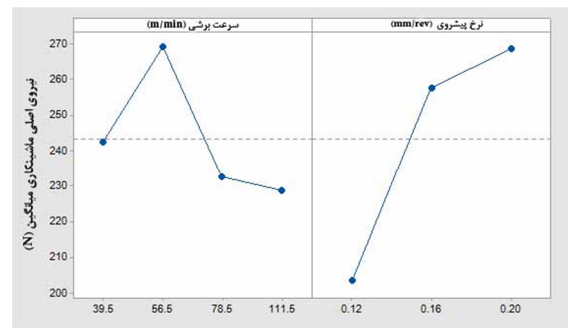


(الف)

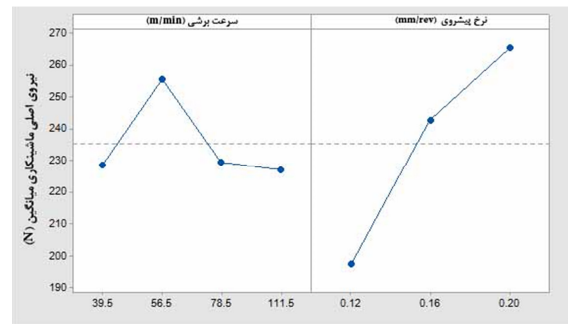


(ب)

شکل ۲ زبری سطح بر حسب سرعت برشی و نرخ پیشروی در شرایط (الف) ماشین کاری خشک (ب) ماشین کاری با روان کاری کمینه



(الف)



(ب)

شکل ۳ نیروی اصلی یا مماسی بر حسب سرعت برشی و نرخ پیشروی در شرایط (الف) ماشین کاری خشک (ب) ماشین کاری با روان کاری کمینه

در طول فرایند براده برداری، روان کاری کمینه مانع از افزایش قابل توجه دمای ماشین کاری می شود. بنابراین شکل گیری براده را آسان تر نموده و باعث کاهش نیروهای ماشین کاری نسبت به ماشین کاری خشک می شود. پشت این

- and Flood Cooling Conditions, *Johannesburg*, 2013.
- [12] Amini.S, Paktinat.H, Ceramic Tools with Ordinary and Wiper Inserts in Near Dry Machining with High Speed on Super Alloy Monel K500, *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 29, pp. 579–584, 2014
- [10] Mao, C., Zhang, J, Huang, Y.; Zou, H., Huang, X., Zhou, Z. Investigation on the effect of nanofluid parameters on MQL grinding. *Materials and Manufacturing Processes*, 28 (4), pp. 436–442, 2013.
- [11] Jordan Eckowitz, Optimization of the Machining of Ti-6Al-4V under MQL and Flood Cooling Conditions, *Johannesburg*, 2013.