دریافت: ۲۵ شهریور ۹۵ پذیرش: ۲۲ آذر ۹۵

مطالعه تجربی تاثیر نانو سیال SiO_2 بر روی نیروی ماشینکاری در فرایند تراش کاری فولاد AISI 4340

قربانعلی مومن[۱]، محسن خواجه زاده[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران

چکیده

در این مقاله تاثیر نانو سیال دی اکسید سیلیکون (SiO_2) با سیال پایه آب بر روی نیروی ماشین کاری در فرآیند تراش کاری فولاد ابزار عملیات حرارتی شده (AISI 4340) مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج حاصل با حالت خشک مقایسه شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد افزودن نانو ذرات دی اکسید سیلیکون به مقدار ۱٪ حجمی به آب موجب کاهش قابل ملاحضه مقدار نیروی ماشین کاری نسبت به خشک می شود. بر اساس نتایج حاصل نانوسیال دی اکسید سیلیکون (SiO_2) نیروی ماشینکاری را ۲۴٪ نسبت به حالت خشک کاهش می دهد و در هنگام استفاده از نانوسیال مذکور در محدوده آزمایش های به عمل آمده کمترین نیروی ماشین کاری در سرعت پیشروی۰٫۱ میلی متر بر دور و سرعت برشی ۴۰۰ متر بر دقیقه حاصل شد.

کلیدواژگان

نانو سیال دی اکسید سیلیکون، فولاد ابزار AISI 4340، نیروی ماشین کاری

Experimental study on the influence of SiO_2 nano-fluid on machining force in turning of AISI 4340 steel

Ghorbanali momen[1], Mohsen khajehzadeh[2*]

1- Master of science student, Department of Mechanical Engineering, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran
2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering Amirkabir University of Technology
*P.O.B. 15875 4413Tehran, Iran, mo.khajezadeh@aut.ac.ir

Abstract

This paper studies the effects of soluble cutting fluid-based sio_2 Nano-fluid on machining force in turning of hardened AISI 4340 tool steel. These influences, Moreover, are compared with the outputs of similar tests through dry. The obtained results showed 1% volume fraction of sio_2 Nanoparticles added to soluble water as cutting fluid was considerably reduced machining force in comparison dry. The investigations indicated that sio_2 Nano-fluid reduced machining force by 24% compared to the dry state Moreover, the results illustrated that the lowest machining force obtained in cutting speed 400 m/min, feed rate 0.1 mm/rev and cutting nanofluid.

Keywords

SiO_2 nano-fluid, AISI 4340 Tool Steel, Machining Force

۱- مقدمه

با توجه به این اینکه فرایند تراشکاری یکی از پرکاربرد ترین و ضروری ترین عملیات در صنعت ساخت و تولید است . روشهای دستیابی به کیفیت مطلوب در فرایند ساخت قطعات و کاهش هزینه های ماشین کاری یکی از زمینه های اساسی تحقیقات کاربردی در این راستا است .

زبری سطح و مقدار نیروی ماشین کاری دو عامل مهم و حیاتی در عملیات تراشکاری هستند که در بسیاری از مواقع برای ارزیابی راندمان تراشکاری مورد سنجش قرار می گیرند[۱] . این مشخصه ها از عوامل زیادی مانند جنس و مشخصهای هندسی ابزار و مقدار پارامترهای ورودی ماشین کاری مانند سرعت برشی ، سرعت پیشروی ، عمق بار ، نوع و فشار مایع روانکاری و تاثیر می پذیرد. چون عوامل مذکور به واسطه ایجاد حرارت اصطحاک در منطقه برش ، از مقدار مطلوب و بهینه فاصله می گیرند، به همین منظور کاهش دما و اصطکاک در فصل مشترک ابزار براده و قطعه کار با استفاده از وسایل های برشی مختلف (خنک کنند ها و روان کننده ها) یکی از اهداف مهم تحقیقات اخیر است[۲-۴]. تا به حال تحقیقات گسترده ای جهت کاهش اصطکاک و حرارت ماشین کاری به منظور کاهش زبری و بهبود سلامت سطح قطعات ماشین کاری شده بر روی سیالهای برشی مختلف انجام پذیرفته و سیالهای برشی متنوعی مورد آزمایش و استفاده قرار گرفته اند . با وجود این از نانو سیالها به عنوان سیال برشی در عملیات تراشکاری استفاده نشده است.

نانوسیال یک دسته بسیار جدید از مایعات است که تعریف کلی آن ذرات جامد پراکنده در مقیاس نانومتر در مایع پایه است که اغلب برای افزایش انتقال حرارت در صنایعی که اصطکاک و درجه حرارت بالا اثرات مضری بر جای می گذارد مورد استفاده قرار می گیرد[۶]. در سالهای اخیر تحقیقات گسترده ای در ارتباط با خواص نانو سیالات مختلف و همچنین کاربرد آنها در صنایع مختلف به عمل آمده است . ورما و همکاران[۷]، خواص نانو سیال ها حاوی نانو ذرات مولبیدن دی سولفاید را مورد مطالعه قرار دادند آنها سه روغن مختلف شامل روغن پارافین ، تری گلیسیرید (روغن کانولا) و لسیتنین[1] را به توان سیال پایه انتخاب کرده و در بلبرینگ آزمایش کردند. بنا به گزارش ایشان نانوسیال مذکور موجب کاهش شدید ضریب اصطکاک و مقدار سایش می شود. ژو و وانگ[۸]، با مطالعه روی ویژگی های حرارتی نانوسیالهای اکسید مس به این نتیجه رسیدندکه با مخلوط کردن ۰/۴٪ حجمی نانوذرات

1.Lecithin

مذکور در آب ، هدایت حرارتی آن ۰/۱۷ ٪ افزایش می یابد . هوانگ و همکاران[۹]، تحقیقی در مورد افزایش هدایت حرارتی مایع های مختلف ازطریق مخلوط کردن نانو ذرات اکسید مس انجام دادند. آنها افزایش هدایت حرارتی را با افزودن نانو ذرات به قطر متوسط ۳۳ نانو متر در سیال پایه آب و اتلین گلیکول اندازه گیری کردند. نتایج این آزمایشها نشان داد هدایت حرارتی سیال پایه به وسیله نانو ذرات مذکور به ترتیب ۵۰٪ و ۹۰٪ افزایش می یابد . هرناندز و همکاران[۱۰] در حقیقیت به بررسی ویژگی های ضد سایشی و ضد اصطکاکی نانوسیالهای اکسید مس، اکسید روی و دی اکسید زیرکونیوم پرداختند. سیال پایه نانو سیال پلی آلفا اولفین بوده و آزمایشات بر روی بلوک و حلقه های با جنس های AISI D3, AISI 1045 انجام گرفته است . در این پژوهش مشخص شد در بین سوسپانسوین های ۱٪ حجمی ، بیشترین کاهش سایش و ضریب اصطکاک مربوط به نانوسیال اکسید مس بوده و مقدار کاهش آنها به ترتیب ۴۸ ٪ و ۱۹٪ نسبت به سیال پایه است .

آویلا و آبرام[۱۱]، در تحقیقی فولاد ابزار AISI 4340 را با استفاده از سه نوع سیال برشی (روغن امولوسیون بدون مواد معندنی ، سیال برشی ۱۰۰٪ مصنوعی و روغن امولوسیون معدنی) تراشکاری کردند . نتایج آزمایشها نشان داد که بهترین حالت برای حصول زبری سطح کمتر ادر سرعت برسی بالا ، روغن امولوسیون بدون مواد معدنی است . اما برای کاهش زبری سطح در سرعت های برشی پایین باید از روغن امولوسیون معدنی استفاده کرد.

هدف این پژوهش مطالعه روی خاصیت خنک کاری و روانکاری نانوسیال دی اکسید سیلیکون(Sio_2)و بررسی تاثیر آن به عنوان سیال بر روی نیروهای ماشین کاری در فرآیند تراشکاری فولاد ابزار عملیات حرارتی AISI 4340است.

۲- مواد و روش تحقیق

در این پژوهش برای تهیه نانو سیال برشی از آب سیال پایه و از نانو پودر دی اکسید سیلیکون به عنوان ذرات معلق در آن استفاده شد. درصد حجمی نانو ذرات ۱٪ بوده و اندازه متوسط آن ها ۲۰ نانو متر انتخاب شده. برای جلوگیری از رسوب نانو ذرات و توزیع همگن و یکنواخت آن یک سامانه و سیستم تامین سیال برشی طراحی و ساخته شد . شکل یک سامانه تامین نانو سیال و جزئیات آن را نشان می دهد. جنس قطعه کار فولاد ابزار AISI 4340عملیات حرارتی شده به قطعه ۵۰ میلی متر و طول ۳۸۰ میلی متر انتخاب شده . جدول ۱ ترکیب شیمیای فولاد مذکور را نشان می دهد .

ابزار مورد استفاده در این تحقیق اینسرت روکش‌دار کاربایدی CNMG090308-M3 TP15 ساخت شرکت سکو[1]بوده است . سایر مشخصات ابزار مذکور و نگهدارنده (هلدر) آن در جدول ۲ ارائه شده است.

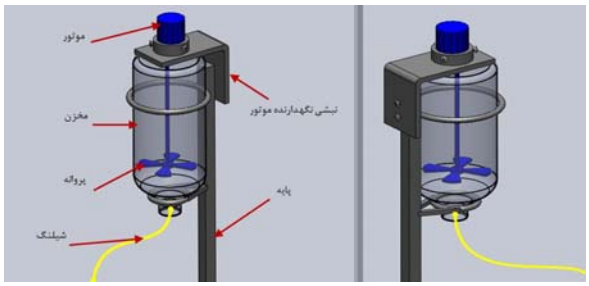
جهت انجام آزمایشها از ماشین تراش TN50D ساخت تبریزاستفاده شد . تعداد آزمایش های به عمل آمده ۱۸ عدد است که به صورت فول فاکتویل طراحی شده اند. مطالق جدول ۲ آزمایشها در سه سرعت برشی مختلف ۱۰۰ و ۲۵۰ و ۴۰۰ میلی متر بر دقیقه و سه نوع سرعت پیشروی ۰/۱ و ۰/۱۵ و ۰/۲ میلی متر بر دور و همچنین دو حالت محیطی (خشک ، نانو سیال دی اکسید سیلیکون) به عمل آمدند. در تمام آزمایشها عمق برش ثابت و و به مقدار ۰/۶ ملیلی متر در نظر گرفته شد. جدول ۲ سایر مشخصات و شرایط انجام آزمایشها را نمایش می دهد.

جدول ۱ ترکیب شیمیایی فولاد ابزار AISI 4340

کربن (C)	سیلیسیم (Si)	کرم (Cr)	منگنز (Mn)	مس (Cu)	نیکل (Ni)	مولیبدن (Mo)	فسفر (P)
۰/۳۵	۰/۲۸	۱/۶۱	۰/۶	۰/۱	۱/۶	۰/۲۵	۰/۰۱

جدول ۲ شرایط برش و جزئیات کامل آزمایش های انجام یافته

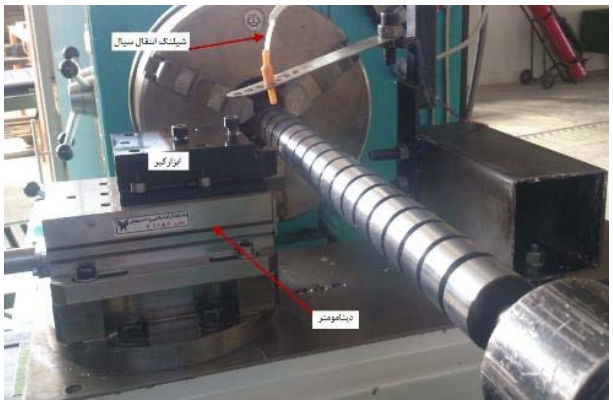
مشخصات قطعه کار	
جنس	فولاد ابزار AISI 4340
اندازه	قطر ۵۰ میلی متر× طول ۳۸۰ میلی متر
سختی	۴۸±۲ راکول سی
مشخصه های ورودی عملیات ماشین کاری	
سرعت برشی	۱۰۰،۲۵۰و۴۰۰متر بر دقیقه(۲حالت)
سرعت پیشروی	۰/۰،۲/۰،۱۵/۱ میلی متر بردور(۲حالت)
عمق برش	۰/۶ میلی متر (یک حالت)
طول برش	۳۵۰ میلی متر
سیال برشی	دی اکسید سیلیکون(۲حالت)
تعداد تکرار هر آزمایش	۴بار
ماشین تراش	
ماشین تراش	TN50D
ابزاربرشی(تیغچه)	اینسرت روکش‌دار کاربایدی CNMG 090308-M3 TP15
نگهدارنده ابزار(هلدر)	DCLNR 1616H 09
نیروسنج	دینامومترساخت شرکت کیستلر[2]مدل ۹۲۵۷



شکل۱ تصویر شماتیک و واقعی سامانه تامین نانو سیال برشی در حین عملیات تراشکاری

1. SECO

2. Kistler



شکل۲ محل قرار گرفتن نازل پاشش سیال برشی نسبت به نوک ابزار برشی

۳- نتایج و بحث

در بررسی های انجام شده تاثیر نانو سیال دی اکسید سیلیکون با سیال پایه آب به عنوان سیال برشی بر روی نیروی ماشین کاری فولاد ابزار AISI 4340مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج حاصله با شرایط خشک مقایسه شده و جهت استفاده آسان و سریع نتایج به دست آمده برای نمایش آنها از نمودارهای دو بعدی استفاده شده است.

۳-۱- تاثیر نانوسیال دی اکسید سیلیکون بر روی نیروی ماشین کاری در سرعت های برشی مختلف

شکل های ۳ ، ۴، ۵ تاثیر نانو سیال دی اکسید سیلیکون را بر روی نیروی ماشین کای در مقاسیه با حالتهای خشک در سرعتهای برشی مختلف نشان می دهند. همان طور که ملاحظه می شود در همه حالتها مقدار میانگین نیروی ماشین کاری در هنگام استفاده از نانو سیال دی اکسید سیلیکون کمتر از حالتهای دیگر است . علت این امر را می توان به انتقال حرارت بالا ، خاصیت ضد اصطکاکی و خاصیت ضد سایشی نانو سیال دی اکسید سیلیکون ربط داد. بطوریکه نانو ذرات دی اکسید سیلیکون از طریق سیال پایه به صفر مشترک ابزار و براده نفوذ کرده و هنگامی که فاصله بین سطح کاهش می یابد ، فشار در فصل مشترک مذکور بالا می رود و نانو ذرات به علت فشار و دمای بالا سینتر شده و یک لایه متخلخل را تشکیل می دهند . این لایه قستمی از نیروهای وارده را تحمل کرده و از تماس مستقیم سطح و جلوگیری می کند. بنابراین ضریب اصطکاک مابین سطوح درگیر (ابزار – براده و ابزار – قطعه کار) راکاهش داده و بدین صورت موجب کاهش نیروی اصطکاک و در نتیجه مطالعه با رابطه (۱) باعث کاهش نیروی ماشین کاری می شود.

$$F_m = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_t^2} \qquad (1)$$

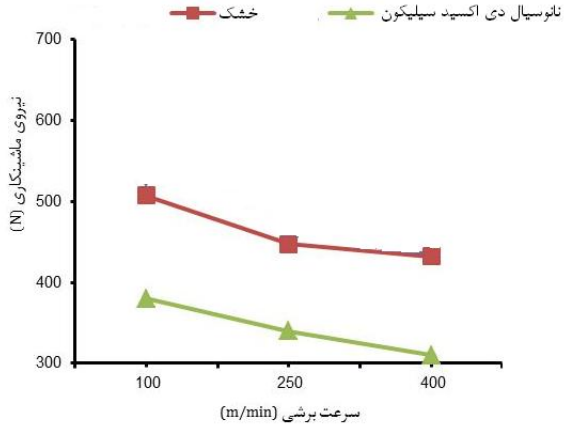
در این رابطه Fm نیروی ماشین کاری متوسط، Fc نیروی برشی ، Ff نیروی اصطکاک، و Ft نیروی شخم است.

از طرفی با توجه به هدایت حرارتی بسیاری بالای نانو سیال دی اکسید سیلیکون ، در هنگام استفاده از آن دمای منطقه برش کاهش نرخ سایش ابزار می شود و بدین طریق مانع بالا رفتن مقدار نیروی برشی (Fc)به علت کندی لبه برشی ابزار شده و از افزایش نیروی ماشین کاری جلوگیری می کند[۱۳].

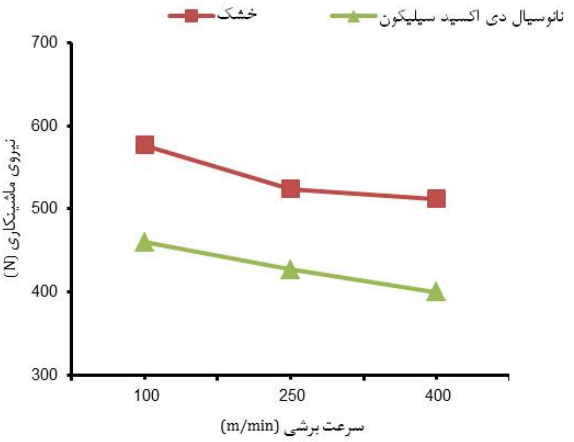
علاوه بر این همان طوری که در شکل های مذکور مشاهده می شود با افزایش سرعت برشی در شرایط مختلف محیطی نیروی ماشین کاری کاهش می یابد . علت این مسئله را این گونه می توان بیان کرد که با افزایش سرعت برشی ، زاویه صفحه برش بزرگتر شده و ضخامت براده کاهش می یابد[۱۴]. با کاهش ضخامت براده مساحت صفحه برش کمتر شده و با توجه به ثابت بودن میانگین استحکام برشی در این صفحه ، نیروی برشی (Fc) کاهش می یابد و در نتیجه مطابق رابطه (۱) نیروی ماشین کاری کمترمی شود[۱۵].

۳-۲- تاثیر نانو سیال دی اکسید سیلیکون بر روی نیروی ماشین کاری در سرعت های پیشروی مختلف

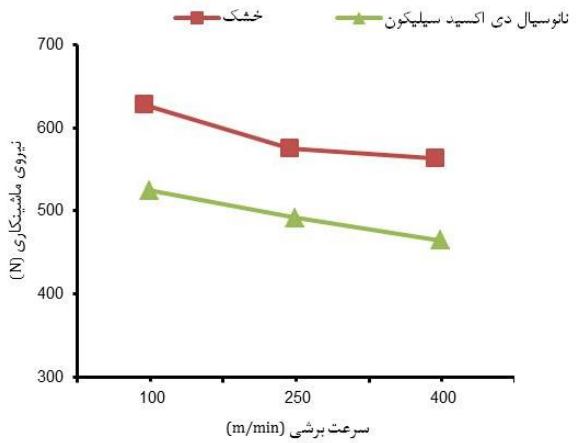
شکل ۶ ، ۷ ، ۸ مقادیر نیروی ماشین کاری را در سرعت های پیشروی مختلف و سرعت های برشی ثابت برای دو حالت ماشین کاری بدون سیال برشی (خشک) و ماشین کاری با نانو سیال برشی دی اکسید سیلیکون نشان می دهد.



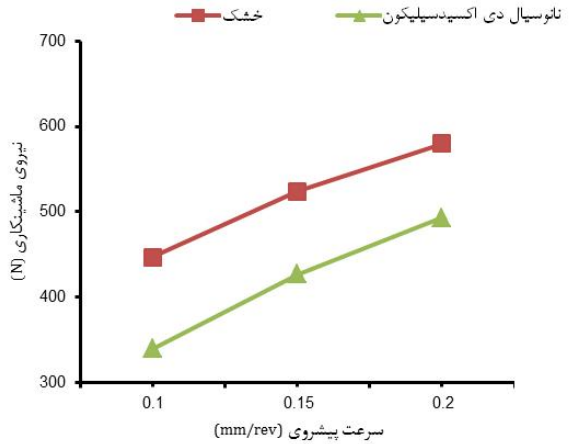
شکل۳ تأثیر نانوسیال دی اکسید سیلیکون بر روی نیروی ماشینکاری در سرعت های برشی و شرایط محیطی مختلف($\alpha_p = 0.6\ mm$ و $f = 0.1\ mm/rev$,)



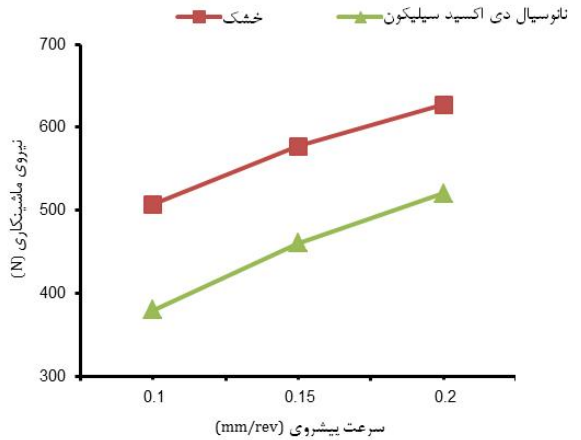
شکل۴ تأثیر نانوسیال دی اکسید سیلیکون بر روی نیروی ماشینکاری در سرعت های برشی و شرایط محیطی مختلف($\alpha_p = 0.6$ mm و $f = 0.15$ mm/rev,)



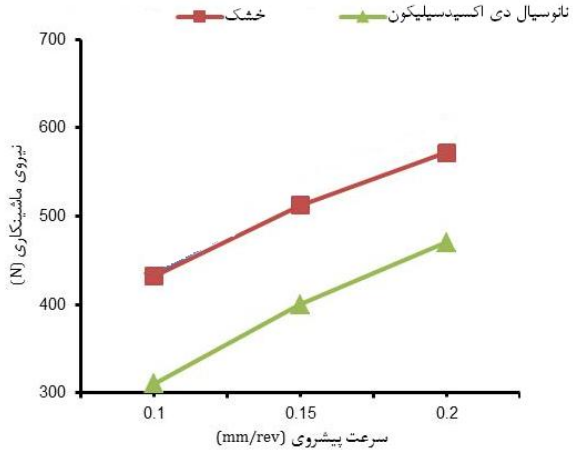
شکل۵ تأثیر نانوسیال دی اکسید سیلیکون بر روی نیروی ماشینکاری در سرعت های برشی و شرایط محیطی مختلف($\alpha_p = 0.6\ mm$ و $f = 0.2\ mm/rev$,)



شکل۶ تأثیر نانوسیال دی اکسید سیلیکون بر روی نیروی ماشینکاری در سرعت های پیشروی و شرایط محیطی مختلف($\alpha_p = 0.6\ mm$ و $Vc = 100\ m/min$,)



شکل۷ تأثیر نانوسیال دی اکسید سیلیکون بر روی نیروی ماشینکاری در سرعت های پیشروی و شرایط محیطی مختلف($\alpha_p = 0.6\ mm$ و $Vc = 250\ m/min$,)



شکل۷ تأثیر نانوسیال دی اکسید سیلیکون بر روی نیروی ماشینکاری در سرعت های پیشروی و شرایط محیطی مختلف($\alpha_p = 0.6\ mm$ و $Vc = 400\ m/min$,)

همانگونه که مشاهده می شود مقادیر نیروی متوسط ماشین کاری در هنگام استفاده از نانوسیال دی اکسید سیلیکون به علت کمتر شدن اصطکاک در فصل مشترک ابزار – قطعه کار و ابزار – براده و همچنین کاهش دمای منطقه برش در مقایسه با سایر شرایط محیطی به طور چشم گیری کاهش یافته است. همچنین همانطور که ملاحظه می شود در شرایط محیطی مختلف با افزایش سرعت پیشروی نیروی ماشینکاری با نرخ بالایی افزایش پیدا می کند به نظر می رسد که دلیل این عامل افزایش سطح تماس بین ابزار و قطعه کار باشد که باعث افزایش نیروی اصطکاک شده و بدین طریق موجب افزایش نیروی ماشین کاری می شود[۱۴].

علت این امر را اینگونه می توان توجیه کرد چون درسرعتهای پیشروی زیاد تنهای پسماند فشاری سطح قطعه کار به تنهای پسماند کششی تبدیل می شود[۱۶]. لذا در حین علمیات ماشین کاری از سختی سطح قطعه کار کاسته شده و این امر سبب می شود شرایط برشی بهتر شده (کاهش چسبندگی براده به ابزار ، بهبود جریان براده کاهش نیروی ماشین کاری و ارتعاشات سیستم) و زیری سطح کاهش یابد [۱۷].

۴- نتیجه گیری

نتایج این تحیقات نشان می دهد که استفاده از نانو سیال دی اکسید سیلیکون در محدوده پارامترهای ماشین کاری مورد استفاده در این پژوهش موجب بهبود شرایط ماشین کاری به شرح زیر می شود:

- نانو سیال دی اکسید سیلیکون در تمامی شرایط ماشین کاری موجب کاهش نیروهای ماشین کاری می شودو مقدار کاهش آن به طور میانگین ۲۴٪ می باشد.
- در بین شرایط مختلف ماشین کاری کمترین نیروی ماشین کاری در سرعت پیشروی ۰/۱ میلی متر بر دور و سرعت برشی ۴۰۰ متر بر دقیقه در هنگام استفاده از نانو سیال دی اکسید سیلیکون حاصل شد.

۵- مراجع

[1] N. S. K. Reddy, P. V. Rao, Selection of an optimal parametric combinationfor achieving a better surface finish in dry milling using geneticalgorithms, The International Journal of Advanced ManufacturingTechnology, Vol. 28, No. 5-6, pp. 463-473, 2005 .

[2] P. Vamsi Krishna, R. R. Srikant, D. Nageswara Rao, Experimental investigation on the performance of nanoboric acid suspensions in

SAE 40and coconut oil during turning of AISI 1040 steel, International Journalof Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, No. 10, pp. 911-916, 2010 .

[3] F. Klocke, H. Kratz, Advanced Tool Edge Geometry for High PrecisionHard Turning, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 54, No. 1, pp. 47-50, 2005

[4] Y. K. Chou, H. Song, Tool nose radius effects on finish hard turning , Journal of Materials Processing Technology, Vol. 148, No. 2, pp. 259-268 , .2004

[5] Y. Yildiz, M. Nalbant, A review of cryogenic cooling in machining processes, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol . 48, No. 9, pp. 947-964, 2008.

[6] S. U. S. Choi, D. A. Singer, H. P. Wang, Development and application of non-Newtonian flows, First ed., pp. 99–105, San Francisco: ASME, 1995 .

[7] A. Verma, W. Jiang, H. H. Abu Safe, W. D. Brown, A. P. Malshe, TribologicalBehavior of Deagglomerated Active Inorganic Nanoparticles forAdvanced Lubrication, Tribology Transactions, Vol. 51, No. 5, pp. 673-678 , .2008

[8] L. Zhou, B. Wang, Experimental research on the thermophysical properties of nanoparticle suspensions using the quasi-steady state method, Annual Proceeding Chinese Engineering Thermophysics, pp. 889 -892, 2002

[9] Y. Hwang, J. Lee, C. Lee, Y. Jung, S. Cheong, C. Lee, B. Ku, S. Jang, Stability and thermal conductivity characteristics of nanofluids, ThermochimicaActa, Vol. 455, No. 1, pp. 70-74, 2007 .

[10] A. Hernández Battez, R. González, J. L. Viesca, J. E. Fernández, J. M. Díaz Fernández, A. Machado, R. Chou, J. Riba, CuO, ZrO2 and ZnO nanoparticles as antiwear additive in oil lubricants, Wear, Vol. 265, No. 3-4, pp. 422-428, 2008.

[11] R. Avila, A. Abrao, The effect of cutting fluids on the machining of hardened AISI 4340 steel, Journal of Materials Processing Technology,Vol. 119, No. 1, pp. 21-26, 2001 .

[12] A. Hernández Battez, R. González, D. Felgueroso, J. Fernández, M. delRocíoFernández, M. Garcia, I. Penuelas, Wear prevention behaviourofnanoparticle suspension under extreme pressure conditions, Wear, Vol,263 .No. 7, pp. 1568-1574, 2007.

[13] N. Dhar, S. Paul, A. Chattopadhyay, Role of cryogenic cooling on cutting temperature in turning steel, Journal of manufacturing science andengineering, Vol. 124, No. 1, pp. 146-154, 2002 .

[14] R. Suresh, S. Basavarajappa, V. N. Gaitonde, G. L. Samuel, Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert,International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol. 33, pp.75-86-, 2012 ,

[15] E.-G. Ng, D. Aspinwall, D. Brazil, J. Monaghan, Modelling of temperature and forces when orthogonally machining hardened steel, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 39, No. 6, pp. 885-903, 1999.

[16] T. Özel, T.-K. Hsu, E. Zeren, Effects of cutting edge geometry, workpiecehardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces inßinish turning of hardened AISI H13 steel, The International Journal ofAdvanced Manufacturing Technology, Vol. 25, No. 3-4, pp. 262-269, 2005 .

[17] Y. Guo, C. Liu, Mechanical properties of hardened AISI 52100 steel in hard machining processes, Journal of manufacturing science and engineering, Vol. 124, No. 1, pp. 1-9, 2002.