مطالعه تأثیر استفاده از نانوسیال برای خنک‌کاری در فرایند فرزکاری جهت بهبود پارامترهای ماشینکاری

احمد افسری[۱،*] امیرحسین زارعی[۲]

* نویسنده مسئول: Afs@iaushiraz.net

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر محلول نانوپودر در آب صابون برای خنک‌کاری قطعات تولیدی در ماشین فرز و مقایسه آن با سیالات خنک‌کاری متداول است. یکی از مهمترین عوامل در عملیات ماشینکاری که باعث کاهش عمر ابزار و تخریب کیفیت سطح می‌شود دما و انتقال حرارت است. برای رفع این مشکل از سیال خنک ساز و روانکار استفاده می‌شود. ضریب هدایت حرارتی سیالات معمولی در عملیات ماشینکاری زیاد نیست و برای افزایش ضریب هدایت حرارتی و همچنین بهبود خنک‌کاری از موادی با اندازه نانو در سیال خنک‌کننده استفاده شده است. این امر باعث افزایش سرعت و کاهش زمان ماشینکاری شد و کیفیت سطح قطعه را بهبود بخشید. در این تحقیق از نانوسیال آب صابون که از اضافه کردن نانو ذرات مس با خلوص ۹۹ درصد با نام تجاری OHFC به‌دست آمده است، برای عملیات ماشینکاری استفاده شده است. در این آزمایش سه عامل سرعت دورانی، سرعت پیشروی و عمق براده برداری در سه حالت خشک، آب صابون معمولی و نانوسیال، به‌عنوان متغیرهای آزمایش در نظر گرفته شده است و در نهایت دمای کاری و کیفیت سطح مورد بررسی قرار گرفته است. مقایسه نتایج به‌دست آمده از آزمایشها در حالتهای مختلف نشانگر افزایش نرخ انتقال حرارت و بهبود کیفیت سطح در اثر استفاده از نانوسیال است. این پدیده‌ها عمر ابزار و بازده را افزایش می‌دهد.

واژه های کلیدی: نانو سیال مس، سیال خنک‌کننده، کیفیت سطح، فرایند فرزکاری، عمر ابزار.

۱- استادیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز.

۲- کارشناس ارشد مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز.

۱- مقدمه

علم ماشینکاری مطالعه چگونگی برش فلزات توسط ابزار برشی است و هدف از این تحقیق تعیین مناسبترین متغیرهای برش، شکل هندسی و جنس ابزار باتوجه به جنس قطعه کار و سیال خنک‌کاری است. مقالات وکتابهای بسیاری در زمینه فناوریهای نوین ساخت موجود است اما بحث نانوسیال و بررسی کیفیت سطوح قطعه کار و متغیرهای ماشینکاری را به‌صورت یکجا در منابع کمی مورد بحث قرار گرفته است. خواص استثنایی نانوسیالها، هدایت گرمای بیشتر نسبت به سوسپانسیون‌های معمولی و رابطه غیرخطی بین هدایت گرمایی و دما است. این خواص استثنایی، به همراه پایداری، روش تهیه نسبتاً آسان و ویسکوزیته قابل قبول باعث شده تا این سیالات به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین و قوی‌ترین انتخاب‌ها در زمینه سیالات خنک‌کننده مطرح شوند. بیشترین تحقیقات مربوط به هدایت گرمایی نانوسیالات، در زمینه سیالات حاوی نانوذرات اکسید فلزی انجام شده است. تفاوت اساسی نانوسیالها با سوسپانسیون‌های معمولی از اندازه بسیار ریزذرات پراکنده ناشی می‌شود.[۱] بسیاری از نیروهای مؤثردر بعد ماکرو، با کوچک شدن ذرات و سطح بسیار بالای آنها، تأثیرخود را از دست می‌دهند و جای خود را به نیروهای بین ملکولی می‌دهند. در مقیاس نانو نیروهای بین ملکولی تأثیر بیشتری نسبت به نیروهای هیدرودینامیکی دارند. با توجه به اینکه خواص موجی شکل (مکانیک کوانتوم) الکترون‌های داخل ماده و اثر متقابل آنها روی یکدیگر از جابه‌جایی مواد در مقیاس نانو تأثیر می‌پذیرد، امکان کنترل و تغییر در خواص ذاتی مواد از جمله خواص گرمایی، الکتریکی، نوری، مغناطیسی و بار هسته‌ای و غیره بدون تغییر در خواص شیمیایی وجود دارد[۲]. تأثیرات نانوسیالها که از ترکیب نانو ذرات با آب حاصل شده‌اند بر روی کیفیت سطح و میزان سایش، زمان و دما در فرزکاری فلزات اهمیت به‌سزایی دارد [۳]. عمر ابزار، انتقال حرارت و نوع سیال خنک‌کننده برش از موضوعات مهم در ماشینکاری هستند. منظور از عمر ابزار عمر مؤثر است که بر حسب معیارهای از کار افتادگی تعیین می‌شود به عبارت دیگر، ابزاری که نتواند وظیفه‌اش را به‌درستی انجام بدهد عمرش تمام شده است. عامل اصلی اتمام عمر ابزار شامل سایش در سطح آزاد و براده ابزار است. سایش با افزایش حرارت ایجاد شده در نواحی برش شدت پیدا می‌کند. بنابراین هر عاملی که بتواند حرارت ایجاد شده راکاهش دهد باعث افزایش عمر ابزار می‌شود. سیالات برش از عواملی هستند که باعث کاهش اصطکاک و درجه حرارت در نواحی برش می‌شوند. بنابراین این سیالات باعث افزایش عمر ابزار شده و قطعه کار را خنک نگه می‌دارند[۴].

ژوان و همکارانش ضریب اصطکاک را برای نانوسیال حاوی یک تا دو درصد ذرات مس به دست آوردند و نشان دادند که این ضریب تقریباً مشابه سیال پایه آب است. [۵] آنها ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی اجباری را در جریان آشفته اندازه گرفتند و نشان دادند که مقدار کمی از نانوذرات مس در آب دیونیزه شده، ضریب انتقال گرما را به صورت قابل توجهی افزایش می‌دهد. به‌عنوان مثال افزودن ۲ درصد حجمی از نانو ذرات مس در آب، حدود ۳۹ درصد انتقال گرما را افزایش می‌دهد. با توجه به اینکه جامدات فلزی واکسید آنها رسانایی بیشتری نسبت به سیالات دارند، ایده پراکنده‌سازی ذرات جامد در سیال برای بالا بردن رسانایی سیال ارائه شد [۶]. در تحقیق توکلی و همکاران این ایده به‌وسیله پراکنده‌سازی ذرات جامد میکرو و میلی‌متری در سیال عملی شد.[۶] در تحقیقی،[۷] سیستم خنک‌کاری ماشین تراش با به‌کارگیری نانوسیال بررسی شده و نتایج آن با امولسیون سیالات متداول بر روی دو قطعه فولادی (CK۴۵) و آلومینیومی مورد مقایسه قرار گرفته است[۷]. پس از مقایسه فاکتورهای بهینه شده برای نتایج به‌دست آمده، بهبود کیفیت سطح تراشکاری شده و کاهش میزان سایش ابزار و همچنین کاهش زمان ماشینکاری و دما توسط نانوسیال مس نسبت به سیال معمولی مشخص شده است.

۲- مواد و روش

برای آزمایش، از دو روانکار خنک کننده که یکی از آنها تتراکلرید کربن (آب صابون) و دیگری نانوسیال مس با خلوص ۹۹ درصد نانو ذرات مس با نام تجاری OHFCاستفاده شده است. در این آزمایش ماشین فرز مدل (FP۴M) به کار گرفته شد. جنس قطعه کار فولادST۳۷ انتخاب شد.

روش کار بدین صورت است که قطعات مکعبی شکل با عرض ۵۰ میلی‌متری و به طولهای ۶۰ میلی‌متری بریده شد. سپس در سه حالت بدون ماده خنک کننده، با ماده خنک کننده آب صابون معمولی و نانوسیال مس فرزکاری انجام شد. عمق ماشینکاری به ترتیب ۰/۵ و ۱ میلی‌متر و سرعتهای پیشروی به ترتیب ۸۰ و ۱۶۰ میلی‌متر بر دقیقه انتخاب شد. همچنین سرعت چرخشی ابزار ۸۰۰ و ۱۶۰۰ دور بر دقیقه انتخاب شد.

از ترکیب پارامترهای فوق، ۲۴ حالت برای ماشینکاری حاصل می‌شود. در این آزمایشها از تیغه فرز تیغچه‌ای با قطر ۴۰ میلی‌متر و چهار تیغه الماسه کاربیدی استفاده شده است. برای ایجاد شرایط یکسان، بعد از هر سری آزمایش تیغه‌ها تعویض شدند. در هنگام فرزکاری، دمای اولیه قطعه کار و دمای نهایی آن توسط دماسنج لیزری[1] با دقت ۰/۱ درجه سانتیگراد در طول زمان اندازه گیری شده است. اندازه‌گیری دمای قطعه بر حسب زمان به این دلیل است که با توجه به سرعت پیشروی ابزار، دمای قطعه در طول ماشینکاری تغییر می‌کند لذا با اندازه‌گیری دما در طول زمان، نهایتاً دمای میانگین معیار قرار می‌گیرد.

به منظور جلوگیری از شکست نور توسط آب صابون، بلافاصله بعد از رسیدن تیغه فرز به محل مورد نظر قطعه، جریان آب صابون قطع شده و دما در نزدیکترین نقطه به تیغه فرز بر روی سطح قطعه اندازه‌گیری شد. در نهایت برای حصول اطمینان بیشتر میانگین دما از سه آزمایش با شرط مشابه در نظر گرفته شده است.

سیال پایه برای دو نوع خنک کننده، آب صابون معمولی(محلول روغن Z۱ در آب) با نسبت ۱:۲۰ است که در محلول نانوسیال از نانوذرات مس با نسبت وزنی ۰/۰۵ درصد در آب صابون استفاده شده است. برای ۸ قطعه اول، از ماده خنک کننده استفاده نشده است و قطعات به صورت خشک فرز کاری شده‌اند. برای ۸ قطعه بعد از خنک کننده آب صابون معمولی استفاده شده و در ۸ قطعه آخر پودر نانو مس به سیال آب صابون اضافه شده است.

۳- آزمایشها و نتایج

دمای قطعات قبل و بعد از عملیات فرز کاری ثبت می‌شود و اختلاف این دماها نشان دهنده مقدار حرارت ایجاد شده در حین عملیات ماشینکاری است. جدول (۱) اعداد به‌دست آمده از سنجش دما در فرزکاری و با پارامترهای مختلف و در سه حالت خنک‌کنندگی را نشان می‌دهد. در این جدول قطعات به ترتیب دور، عمق براده برداری و سرعت پیشروی در سه حالت بدون خنک کننده، خنک کننده آب صابون معمولی و خنک کننده نانوسیال مس مرتب شده اند.

همانگونه که از جدول (۱) مشخص است در حالت خشک و بدون سیال خنک کننده، اختلاف دمای زیادی نسبت به دمای اولیه وجود دارد که در این شرایط احتمال سوختن لبه برنده تیغچه بسیار زیاد است.

قطعات پس از فرزکاری برای سنجش میزان کیفیت سطح در مقیاس Ra (میانگین ارتفاعات زبری سطح) با استفاده از دستگاه زبری سنج مدل TR۱۰۰ با دقت ۱ میکرو متر در سه کورس حرکتی ۰/۲۵ ، ۰/۸ و۲/۵ میلی‌متری برای کاوشگر (پراب) مورد بررسی قرار گرفتند. در جدول (۲) نتایج مربوط به زبری ارائه شده است. اختلاف در اعداد به‌دست آمده برای یک قطعه ناشی از اندازه گیری در نقاط مختلف قطعه است. برای کاهش خطا، از میانگین سه آزمایش در یک حالت استفاده شده است.

۱- مدل LUTRON (TM۹۶۹ ۱۰۰۰°c Infrared Thermometer)

جدول (۱) اختلاف دمای اندازه گیری شده برای فرز کاری با پارامترها و مواد خنک‌کاری متفاوت.

قطعه	دور	عمق براده برداری	پیشروی (میلی‌متر بر دقیقه)	خنک کننده	اختلاف درجه حرارت
۱	۸۰۰	۰/۵	۸۰	خشک	۴۸/۳
۲	۱۶۰۰				۶۲/۴
۳	۸۰۰	۱			۵۳/۵
۴	۱۶۰۰				۶۴/۱
۵	۸۰۰	۰/۵	۱۶۰		۵۹/۲
۶	۱۶۰۰				۶۹/۲
۷	۸۰۰	۱			۶۲/۹
۸	۱۶۰۰				۷۲/۴
۱	۸۰۰	۰/۵	۸۰	آب صابون معمولی(آب + روغن ۱٪)	۳/۶
۲	۱۶۰۰				۴/۴
۳	۸۰۰	۱			۴/۸
۴	۱۶۰۰				۵/۱
۵	۸۰۰	۰/۵	۱۶۰		۴/۴
۶	۱۶۰۰				۴/۹
۷	۸۰۰	۱			۴/۵
۸	۱۶۰۰				۵/۲
۱	۸۰۰	۰/۵	۸۰	آب صابون + نانو پودر مس	۱/۷
۲	۱۶۰۰				۲/۸
۳	۸۰۰	۱			۲/۶
۴	۱۶۰۰				۳/۳
۵	۸۰۰	۰/۵	۱۶۰		۲/۷
۶	۱۶۰۰				۳/۱
۷	۸۰۰	۱			۳/۴
۸	۱۶۰۰				۴/۲

جدول(۲) مقادیر به‌دست آمده برای زبری Ra در طولهای ۰/۲۵ ، ۰/۸ و ۲/۵ میلی‌متر در حالتهای (الف)بدون خنک کننده (ب) خنک کننده آب صابون (ج) خنک کننده نانو پودر مس محلول در آب صابون.

۲- (الف)

شماره قطعه	طول ۰/۲۵ میلی‌متر	طول ۰/۸ میلی‌متر	طول ۲/۵ میلی‌متر
۱	۳/٤۳	۲/۹٦	۳/۲۲
۲	۳/۰۳	۲/۸٦	۲/۹۱
۳	۳/۲۵	۳/٤۱	۳/٦٤
٤	۲/۹٦	۲/۹۸	۳/٤۳
۵	۳/۸۵	۳/۷۱	۳/۹۰
٦	۳/٦٤	۳/۲۵	۳/۷۱
۷	۳/۹۷	۳/۸۵	۳/۹۵
۸	۳/۷۵	۳/٦۰	۳/۸۵

۲- (ب)

شماره قطعه	طول ۰/۲۵ میلی‌متر	طول ۰/۸ میلی‌متر	طول ۲/۵ میلی‌متر
۱	۲/۳۵	۲/۱۰	۱/۹۸
۲	۱/۹۸	۱/۸۷	۱/۹۱
۳	۲/۳۰	۲/۳۵	۲/۰۴
۴	۲/۱۲	۱/۸۹	۱/۹۷
۵	۲/۴۷	۲/۴۲	۲/۲۱
۶	۲/۲۵	۲/۳۰	۲/۳۲
۷	۲/۷۵	۲/۴۵	۲/۴۳
۸	۲/۴۲	۲/۲۰	۲/۳۰

۲- (ج)

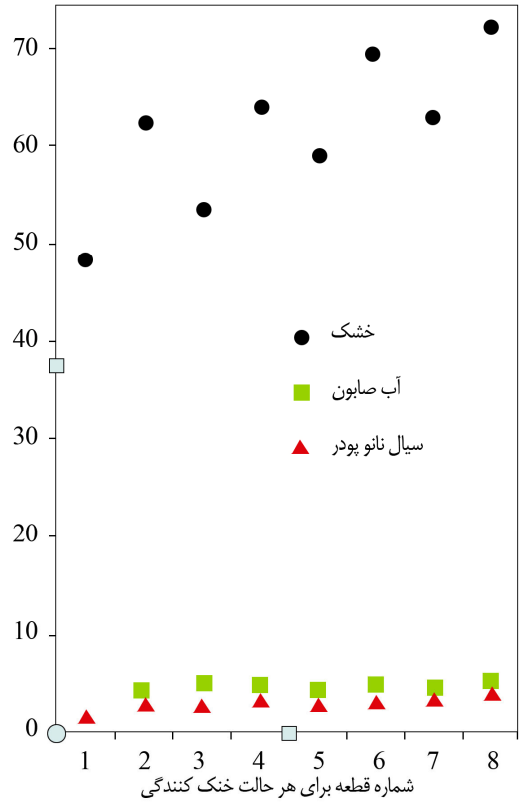
شماره قطعه	طول ۰/۲۵ میلی‌متر	طول ۰/۸ میلی‌متر	طول ۲/۵ میلی‌متر
۱	۱/۲۱	۱/۲۵	۱/۳۲
۲	۱/۰۲	۱/۱۳	۱/۰۶
۳	۱/۲۴	۱/۵۴	۱/۴۱
۴	۱/۱۹	۱/۲۴	۱/۱۵
۵	۱/۸۴	۲/۰۲	۱/۷۹
۶	۱/۵۴	۱/۷۴	۱/۶۰
۷	۲/۰۲	۲/۲۰	۱/۹۴
۸	۱/۷۱	۱/۸۴	۱/۸۴

سنجش کیفیت در سه مرحله جداگانه برای هر قطعه و در هر کورس حرکتی برای کاهش خطای احتمالی انجام شد. دلیل اندازه‌گیری کیفیت سطح در سه کورس حرکتی، مقایسه میزان کیفیت قطعه در نقاط مختلف و کاهش خطا بوده است. هدف اصلی این تحقیق مطالعه پارامترهای صافی سطح، زمان ماشینکاری و سایش ابزار در این تحقیق بوده است. هر چه اعداد مندرج در جدول (۲) کوچکتر باشند کیفیت سطح قطعه بهتر است. هر چه زمان و افزایش دما در جدول (۱) کمتر باشد سایش ابزار کمتر و عمر ابزار بیشتر می‌شود. همچنین سرعت تولید نیز افزایش می‌یابد.

٤- بحث و نتیجه گیری

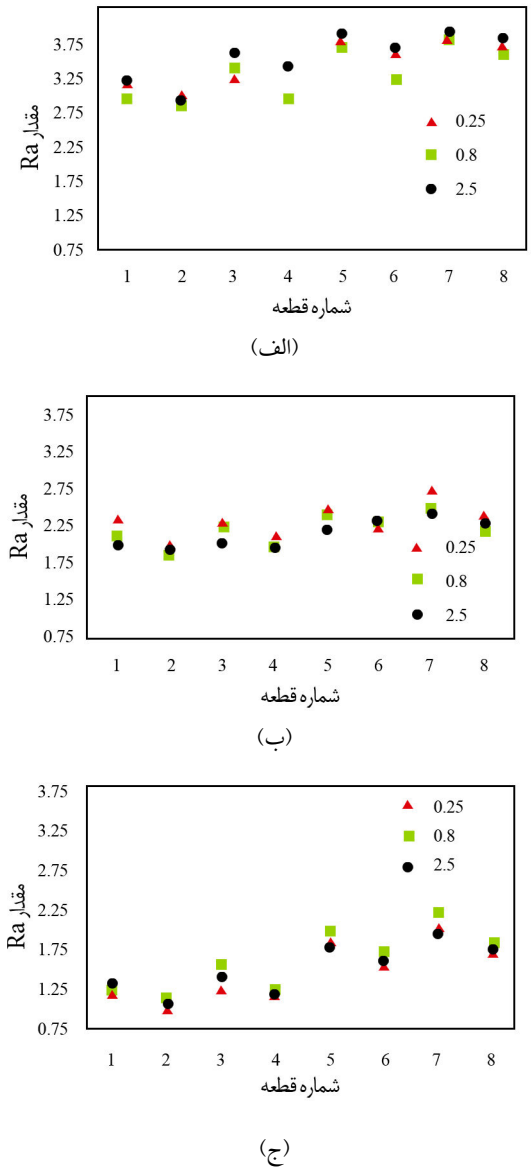
با توجه به شکل (۱) در حالت فرز کاری بدون خنک کننده، به طور میانگین اختلاف دمایی در حدود ۶۱/۵ درجه سانتی‌گراد بین دمای اولیه و دمای ثانویه وجود دارد که این

افزایش دما می‌تواند عمر مفید تیغچه را به‌شدت کاهش دهد و سرعت عملیات و کیفیت سطح ماشینکاری را تحت تأثیر قرار دهد. در حالتی که از خنک کننده آب صابون معمولی استفاده شود، میانگین اختلاف دمای اولیه و ثانویه قطعات، ۴/۶۱ درجه سانتی‌گراد است و کاهش چشمگیری در دمای کاری قطعه نسبت به حالت بدون سیال خنک کننده قابل مشاهده است. در حالت فرزکاری با خنک کننده محلول نانو پودر مس در آب صابون میانگین اختلاف دمای قطعه مجدد کاهش یافته و به حدود ۲/۹۷ درجه سانتی‌گراد رسیده است. این اختلاف ناشی از اضافه کردن پودر نانو مس به آب صابون است. سرعت پیشروی و میزان باردهی و سرعت چرخش ابزار نیز بر دما مؤثر است ولی با توجه به شکل (۱) روند تغییرات در سه حالت تقریباً مشابه است.



شکل (۱) نمودار مقایسه ای تغییرات درجه حرارت برای حالتهای مختلف خنک کنندگی در فرزکاری.

اختلاف در نحوه رفتار نمودار ناشی از تغییرات در حالتهای مختلف فرز کاری است. در بحث سنجش کیفیت سطح همانگونه که در شکل(۲- الف) مشاهده می‌شود در حالت فرزکاری بدون خنک‌کننده میانگین اعداد به‌دست آمده از زبری سطح در مقیاس Ra ، تقریباً ۳/۲۶ است و رفتار منحنی ها به صورت ناموزون است و اعداد در محدوده معینی قرار نمی‌گیرند.



شکل (۲) نمودار مقایسه ای برای زبری Ra در طولهای ۰/۲۵ ، ۰/۸ و ۲/۵ میلی‌متر (الف)بدون خنک کننده (ب)خنک کننده آب صابون (ج)خنک کننده نانوسیال مس.

در شکل (۲- ب) نمودار اعداد به‌دست آمده از سنجش زبریRa برای قطعات فرزکاری شده با خنک‌کننده آب صابون نشان داده شده است. میانگین اعداد به‌دست آمده در این جدول ۲/۲۶ بوده و نمودارها رفتار یکنواخت‌تری را نشان می‌دهند. در

شکل (۲- ج) نمودار زبری قطعات با سیال خنک کننده نانو پودر مس محلول در آب صابون نشان داده شده است که میانگین زبری به‌دست آمده ۱/۷۴ است که نشانگر کیفیت بهتر سطح نسبت به دو حالت قبل است. همچنین مشاهده می‌شود که منحنی‌ها رفتار یکنواخت‌تری را نسبت به منحنی‌های قبل دارند که این نشانگر کیفیت سطح بهتر و یکنواخت تر در تمام نقاط فرز کاری شده بر روی قطعات است.

با توجه به نتایج با افزودن پودر نانو به سیال، انتقال حرارت بیشتر و سریعتر انجام شده است. در نتیجه می‌توان سرعت ماشینکاری را افزایش داد که این امر باعث کاهش زمان ماشینکاری می‌شود.

در عملیات فرزکاری سرعت ماشینکاری تقریباً پایین است به همین دلیل اختلاف دمای خنک کاری کم است. لذا در عملیات سنگ زنی که نقش روانکار کمتر اما نقش خنک‌کننده بیشتر است اختلاف دما بیش از این خواهد بود. همچنین این موضوع درباره عملیات سوراخکاری با مته و تراشکاری نیز صدق می‌کند. معمولاً زمانی از نانوسیال استفاده می شود که لازم باشد قطعات بسیار سخت و مقاوم به حرارت ماشینکاری شوند.

بنابراین با توجه به آزمایشها انجام شده با به‌کارگیری نانو پودر با خلوص بسیار بالا انتقال حرارت از منطقه برش در قطعاتی با سختی بسیار بالا با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد این امر باعث افزایش عمر ابزار و کاهش زمان ماشینکاری می‌شود.

مراجع

[1] Calistes R., controlling gradation of surface strains and nano structuring by large-strain machining, *Journal of scripta material,* 60, 2009 , pp.17-20.

[2] Beskok A., Karniadakis G., Micro flow and nano flow fundamental and simulation, Elsevier,2003.

[3] Wang X., Xu X., Choi U.S., Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture, *Journal of Thermophys Heat Transfer,* Vol. 13, No.4, 1999, pp. 474-480.

[4] Vela Martinez L., Analysis of compliance between the cutting tool and the work piece on the stability of a turning process, *Journal of machine tools manufacture*, Vol. 48,Issue 9, 2008, pp.1054-1062.

[5] Xuan Y., Li Q., Heat transfer enhancement of nano fluids, *International Journal of Heat Fluid flow,* Vol. 21, 2000, pp. 58-64.

[6] Choi U.S., Enhancing thermal conductivity of fluids with nano particles, *Development and Application of Non-Newtonian Flows*, *ASME*, FED-Vol. 231/MD-Vol. 66,1995, pp. 99-105.

[۷] توکلی روداب م.، افسری ا.، روستا پور ا.ر.، بررسی سیستم خنک کاری ماشین تراش با بکار گیری نانو سیال و مقایسه آن با امولسیون سیالات متداول، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز، ۱۳۸۸.