

# بررسی تجربی و شبیه سازی المان محدود درجه حرارت ابزار برش در فرآیند تراشکاری فولاد

## سخت کاری شده با استفاده از نانو سیال $\text{SiO}_2$

قربانعلی مومن<sup>۱</sup>، محسن خواجه زاده<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

۲- استادیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

\*تهران، صندوق پستی ۱۵۸۷۵۴۴۱۳، mo.khajezhadeh@aut.ac.ir

### چکیده

در این مقاله، تأثیر استفاده از نانو سیال دی‌اکسید سیلیکون ( $\text{SiO}_2$ ) بر روی درجه حرارت ابزار برش در تراشکاری فولاد سخت کاری شده ۴۳۴۰ با استفاده از روش‌های تجربی و شبیه‌سازی المان محدود، مورد مطالعه قرار گرفته است؛ بدین منظور ابتدا مدل المان محدود فرایند تراشکاری فولاد سخت کاری شده ۴۳۴۰ در دو حالت خشک توسعه یافت و صحت نتایج آن از نظر نیرو و درجه حرارت، اعتبارسنجی شد. در ادامه طراحی آزمایش با هدف مطالعه تأثیر کاربرد نانو سیال دی‌اکسید سیلیکون و غلظت آن بر درجه حرارت ابزار برش انجام شد و مجموعه‌ای از آزمون‌های تجربی و شبیه‌سازی‌های المان محدود متناسب با طراحی آزمایش انجام شده و نتایج آنها با یکدیگر مقایسه شد. انطباق مناسبی بین نتایج تجربی و شبیه‌سازی المان محدود وجود دارد. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، استفاده از نانو سیال دی‌اکسید سیلیکون در فرآیند تراشکاری فولاد سخت کاری شده، به‌طور متوسط کاهش حدوداً ۳۰ درصدی درجه حرارت ابزار برشی را به همراه خواهد داشت. علاوه بر آن مشاهده شد که افزایش غلظت ذرات نانو در سیال پایه منجر به کاهش جزئی درجه حرارت ابزار برش خواهد شد که بیش‌ترین میزان کاهش در حدود ۴۰ درصد و در غلظت وزنی ۰/۶ درصد اتفاق خواهد افتاد.

### کلیدواژگان

نانو سیال، دی اکسید سیلیکون، درجه حرارت برش

## Experimental and Finite Element Simulation of Cutting Tool Temperature During Hard Turning of Hardened Steel Using $\text{SiO}_2$ Nano-Fluid

Ghorbanali momen<sup>1</sup>, Mohsen khajezhadeh<sup>2\*</sup>

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 4413 Tehran, Iran, mo.khajezhadeh@aut.ac.ir

### Abstract

In this paper, the effect of using  $\text{SiO}_2$  nano-fluid on cutting tool temperature, during the hard turning of AISI 4340 hardened steel has been studied using both experimental and finite element methods; To achieve this goal, first a finite element model has been developed in case of dry hard turning of AISI 4340 hardened steel. The results of this model was then verified by experimental measurements of cutting forces and cutting tool temperatures. In continuation, a set of experimental tests were designed and executed to study the effect of nano-fluid application and its concentration on cutting tool temperature. According to the achieved results, there is a good agreement between finite element and experimental results. These results also show that, cutting tool temperature for hard turning of AISI 4340 is 30% of the dry hard turning and the percent of reduction in cutting tool temperature grows gradually with increasing nanofluids concentration (0.6 % wt)

### Keywords

Nano-fluid, Silicon dioxide, Cutting Tool Temperature

### ۱- مقدمه

ماشینکاری مواد سخت همواره با چالش‌هایی همچون دستیابی به خصوصیات کیفی مناسب از جمله زبری سطح، تلرانس‌های ابعادی و هندسی لازم، کاهش نیروهای ماشینکاری، افزایش عمر ابزار و کاهش حرارت تولید شده در حین فرایند روبرو بوده است. برای غلبه بر این چالش‌ها تاکنون مطالعات زیادی انجام گرفته است. توسعه ابزارهای برشی، توسعه روش‌های براده برداری و توسعه سیالات برشی از جمله اقدامات صورت گرفته برای غلبه بر این چالش‌ها می‌باشد. کیفیت و بهره‌وری خوب یک قطعه تولیدی در فرآیندهای ماشینکاری تا حدود زیادی به اثربخشی روانکاری و خنک‌کاری در حین انجام فرایند بستگی دارد. دانشمندان و مهندسان تاکنون تلاش‌های زیادی را برای بهبود انتقال حرارت در سیالات برشی سنتی مثل آب، روغن و ... انجام داده‌اند.

تاریخچه تحقیق در ارتباط با درجه حرارت در برش فلزات به کارهای تجربی تیلور در سال ۱۹۰۷ بازمی‌گردد؛ وی در مطالعات تجربی خود نشان داد که افزایش سرعت برش، منجر به کاهش عمر ابزار می‌شود. نخستین ارزیابی تحلیلی درجه حرارت برش توسط تریگروچانو انجام گردید [۱]. یوسای و همکارانش با استفاده از روش تفاضل محدود، پیش‌بینی توزیع درجه حرارت در حالت پایدار را در ماشینکاری پیوسته مورد مطالعه قرار دادند. آنها توانستند پیدایش گودال فرسایش در ابزارهای کاربیدی را به درجه حرارت و تنش‌های پیش‌بینی شده در سطح ابزار مرتبط کنند [۲]. مورا کاوه‌مکاران، با استفاده از روش المان محدود به بررسی اثر پارامترهای ماشین کاری مانند سرعت برشی، پیشروی، زاویه براده، سایش سطح آزاد و سیال خنک‌کار بر روی توزیع دما پرداختند. نتایج نشان داد که موقعیت بیشینه دما در سطح مشترک ابزار و براده با افزایش سرعت برشی و پیشروی به سمت انتهای سطح تماس براده و ابزار کشیده می‌شود، [۳].

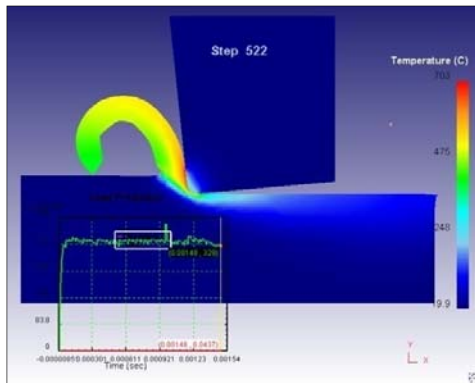
در فرایند تراشکاری فولاد سخت کاری شده، تاکنون توسط محققین دیگر مورد بررسی قرار نگرفته است و لذا به عنوان جنبه نوآوری، در این پژوهش مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## ۲- هدف تحقیق

بهبود کیفیت و بهره‌وری قطعات ماشینکاری شده، در طول سالیان متمادی، همواره برای صنعت ساخت و تولید یک چالش بزرگ بوده است. در حالت کلی کیفیت یک قطعه ماشینکاری شده عمدتاً متأثر از مقادیر انتخاب شده برای پارامترهای ماشینکاری و شرایط برشی می‌باشد. شرایط برشی نامطلوب منجر به تولید قطعه‌ای با کیفیت سطح نامطلوب، ظاهر معیوب و عدم قابلیت اطمینان مناسب خواهد شد. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، بایستی دمای ابزار برش و اصطکاک بین سطح براده ابزار و قطعه کار کاهش پیدا کند که یکی از روش‌های دستیابی به این مقصود، با انتخاب سیال برشی مناسب امکان‌پذیر خواهد بود. با مروری بر کارهای گذشته [۶، ۷، ۹، ۱۰، ۱۱]، این انتظار می‌رود که پخش کردن ذرات با ابعاد نانو درون سیال برشی سنتی بتواند دمای منطقه برش را به طور قابل توجهی کاهش دهد. همچنین به نظر می‌رسد که حرکت لغزشی و غلتشی نانوذرات موجود در سیال به طور قابل توجهی ضریب اصطکاک را در سطح تماس ابزار براده کم کرده که در نتیجه این امر، درجه حرارت در منطقه برش کاهش پیدا کرده و این امر باعث بهبود عمر ابزار و کیفیت سطح کار می‌شود.

## ۳- شبیه سازی المان محدود

در این پژوهش، یک مدل حرارتی- مکانیکی کوپل شده با استفاده از نرم‌افزار Deform 3D، برای آنالیز فرایند تراشکاری به کمک نانو سیال توسعه داده شد. این مدل المان محدود، هردوی آنالیزهای حرارتی و مکانیکی را به صورت کوپل شده و با استفاده از فرمولاسیون اولری لاگرانژی قراردادی انجام می‌دهد. هندسه مدل المان محدود توسعه داده شده در شکل (۱)، نمایش داده شده است.



شکل ۱ مدل المان محدود توسعه داده شده در تراشکاری به کمک نانو سیال.

خواص فیزیکی لایه های پوشش و همچنین تنگستن کارباید سمانته تاکنون موضوع مطالعه پژوهش‌های مختلفی قرار گرفته است. در پژوهش حاضر این خواص در رابطه با تنگستن کارباید سمانته از نتایج تحقیقات کلهری و همکاران [۱۳] و در رابطه با لایه‌های پوشش از کار یوسان و همکاران [۱۴] استخراج شده و به ترتیب در جداول (۱) و (۲)، گردآوری شده است.

ردولسکو و کاپور درجه حرارت سطح تماس براده و ابزار را با حل مسأله هدایت حرارتی مورد بررسی قرار دادند؛ بر اساس نتایج این تحقیق، درجه حرارت سطح تماس براده و ابزار در هردوی فرآیندهای برشی منقطع و پیوسته با افزایش سرعت برش افزایش می‌یابد [۴]. فانگ و زنگ با استفاده از نرم‌افزار دی فرم دوبعدی، فرآیند برش مایل را شبیه سازی المان محدود کرده و توزیع تنش و درجه حرارت در ابزار و قطعه کار را در حین فرآیند مطالعه کردند [۵].

بر اساس نتایج پژوهش‌های فوق، در فرایند برش فلزات حرارت زیادی در نوک ابزار برش تولید می‌شود که این حرارت متمرکز، ابزار و قطعه کار را تحت تأثیر قرار می‌دهد. رویکردی که به طور معمول در صنعت ماشین کاری برای غلبه بر آثار نامطلوب درجه حرارت در نظر گرفته می‌شود، مشتمل بر توسعه روش‌های نوین خنک کاری و یا استفاده از سیالات برشی نوین است.

نانوسیالات دسته‌ای نوین از سیالات مهندسی هستند که از پراکندن ذراتی با ابعاد نانو در یک سیال پایه و با هدف افزایش خواص انتقال حرارت آن صورت می‌گیرد. این سیالات تاکنون در صنایع مختلف از جمله نیروگاه‌ها و سامانه‌های الکترونیکی مورد استفاده قرار گرفته و عملکرد مؤثری را در رابطه با انتقال شارهای حرارتی با نشان داده‌اند [۶].

پراکنده کردن ذرات با ابعاد میلی‌متر و میکرومتر در سیال پایه، میزان هدایت حرارتی آنرا افزایش می‌دهد ولی این امر مشکلاتی همچون ته‌نشینی سریع ذرات، انسداد میکروکانال‌ها و فرسودگی تجهیزات را به همراه دارد. استفاده از ذرات با ابعادی در حد نانومتر اما این مشکلات را ندارد؛ بنابراین، در سال ۱۹۹۵ نانو سیالات برای نخستین بار مورد استفاده قرار گرفتند [۸، ۷]. در این حالت نانوذرات بسیار ریز، مسیر جریان را مسدود نکرده و خواص حرارتی را بهبود می‌بخشند [۸].

زین و همکارانش در سال ۲۰۱۳ تأثیر نانوذرات مس بر خواص تریبولوژیکی روغن روانکاری را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها متوجه شدند که نانوذراتی با قطر متوسط ۱۳۰ نانومتر، تأثیر زیادی بر کاهش ضریب اصطکاک داشته و منجر به بهبود خواص حرارتی می‌شوند [۹].

در کاربرد دیگری در زمینه ماشین کاری، سایوتی و همکارانش در سال ۲۰۱۴ از نانو سیال دی اکسید سیلیکون به عنوان سیال روانکار برای بررسی زبری سطح و سایش ابزار در تراشکاری سخت فولاد سخت شده استفاده کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، کمترین میزان فرسایش ابزار در غلظت ۰/۵ درصد وزنی، فشار ۲ اتمسفر و زاویه ۶۰ درجه برای نازل گزارش شد؛ این محققین همچنین بهترین کیفیت سطح به دست آمده را در غلظت ۰/۵ درصد وزنی و زاویه نازل ۳۰ درجه پیشنهاد کردند [۱۰].

در کاری دیگر، سایوتی و همکاران در سال ۲۰۱۴ تأثیر نانو سیال دی اکسید سیلیکون پایه روغن معدنی را بر مورفولوژی سطح ماشینکاری شده در فرایند فرزکاری آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۱، مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت ذرات نانو در سیال پایه، درجه حرارت ابزار برش و همچنین نیروی برشی افزایش یافته و زبری سطح کاهش پیدا می‌کند [۱۱].

اویسال و همکاران در سال ۲۰۱۵ تأثیر نانو سیال دی اکسید مولیبدن در سیال پایه روغن گیاهی را بر روی فرآیند فرزکاری فولاد ضد زنگ مارتنزیتی مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد نانو سیال مذکور باعث کاهش سایش ابزار و زبری سطح می‌شود [۱۲].

باتوجه به مطالعات فوق، چنین به نظر می‌رسد که مطالعه تأثیر استفاده از نانو سیال دی اکسید سیلیکون و تغییرات غلظت آن بر درجه حرارت ابزار برش

جدول ۱ خواص فیزیکی تنگستن کارباید

۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰	۲۰	درجه حرارت (°C)
۵۴۰	۵۶۰	۵۷۰	۵۸۰	مدول الاستیک (GPa)
۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲	ضریب پواسن
			۱۴۵۰۰	جرم حجمی (kg / m <sup>۳</sup> )
۵/۶	۵/۴	۵/۳	۵/۴	ضریب انبساط حرارتی (K <sup>-۱</sup> ; ×۱۰ <sup>-۶</sup> )
۳۸	۳۵	۳۲/۵	۳۰	هدایت حرارتی (W / m°C)
			۲۲۰	ظرفیت گرمایی ویژه (N / mm <sup>۲</sup> °C)

جدول ۲ خواص فیزیکی لایه‌های پوشش ابزار

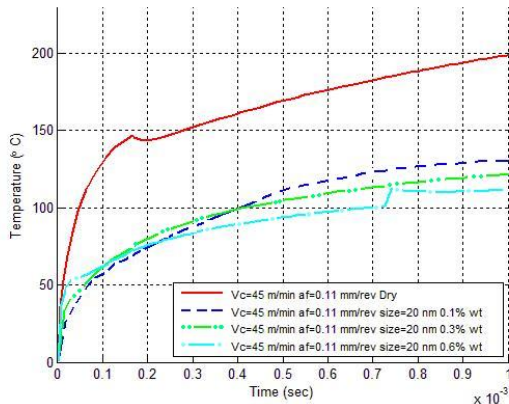
کربونیتريد تیتانیوم	اکسید آلومینیوم	جنس لایه پوشش
۸-۴	۵-۳	ضخامت پوشش (μm)
۳۰۰۰	۲۰۰۰	سختی (HV)
۸	۸/۴	ضریب انبساط حرارتی (K <sup>-۱</sup> ; ×۱۰ <sup>-۶</sup> )
۴۴۸	۴۱۵	مدول الاستیک (GPa)
۰/۲۳	۰/۲۲	ضریب پواسن
۴۱۸۰	۳۷۸۰	جرم حجمی (kg / m <sup>۳</sup> )
۲/۵	۳/۴۲	ظرفیت گرمایی ویژه (N / mm <sup>۲</sup> °C)
۲۶ (۲۵ °C)	۳۳ (۵۰ °C)	
۲۷ (۱۰۰ °C)	۲۱ (۱۰۰ °C)	هدایت حرارتی (W / m°C)
۲۸ (۳۰۰ °C)	۱۹ (۳۰۰ °C)	
۳۰/۵ (۵۰۰ °C)	۱۳ (۵۰۰ °C)	

درجه حرارت در این نقطه با استفاده از روش تجربی و مدل المان محدود با یکدیگر مقایسه شدند، شکل (۳).



شکل ۲ نمایش ترموکوپل جایگذاری شده در ابزار برش.

همانطور که در شکل (۳) نیز مشاهده می شود در ابتدای فرایند برش، اختلاف دمای حالت تجربی و شبیه سازی اندک است اما با گذشت زمان این اختلاف دما افزایش پیدا می کند و در نهایت هر دو به حالت پایدار می رسند. در حالت پایدار خطای ناشی از اختلاف بین نتیجه تجربی و شبیه سازی به کمتر از ۷ درصد می رسد که می توان مدل شبیه سازی را قابل قبول فرض کرد و برای بررسی دمای ابزار برشی در شرایط مشابه استفاده کرد.



شکل ۳ نتایج حاصل از شبیه سازی المان محدود درجه حرارت برش در نقطه ای به مختصات (۰/۵، ۴/۵). (پیشروی ۰/۱۱ میلی متر بر دور، سرعت برش ۴۵ متر بر دقیقه، غلظت ۰/۳ درصد وزنی، اندازه ذرات ۲۰ نانومتر).

#### ۴- آزمون های تجربی

##### ۴-۱- آماده سازی نمونه های آزمایش

در این کار تحقیقاتی از میل گردهای توپر با قطر ۳۰ میلی متر از جنس فولاد AISI 4340 استفاده شده است که یک فولاد آلیاژی کروم-مولیبدنی می باشد. وجود کروم باعث نفوذ سختی خوب و وجود مولیبدن، استحکام بالا و یکنواختی سختی را در این فولاد تضمین می کند. با عملیات حرارتی بر روی این فولاد می توان به سختی های نسبتاً بالایی رسید. از جمله خواص مطلوب این فولاد بعد از عملیات حرارتی کوئنچ - تمپر می توان به چقرمگی عالی، انعطاف پذیری خوب و مقاومت به سایش خوب آن اشاره کرد. فولاد AISI 4340 یکی از پرکاربردترین فولادهای مورد استفاده در صنایع مختلف (نفت و گاز، اتومبیل سازی، هوافضا، دفاعی و...) است که از مهم ترین کاربردهای آن می توان به تولید شفت، بادامک، میل بادامک، میل لنگ، چرخ دنده، چرخ زنجیر، پیچ و مهره، قیدوبندها و انواع میخ اشاره نمود.

جنس قطعه کار در پژوهش حاضر در پژوهش حاضر فولاد ۴۳۴۰ می باشد که رفتار مکانیکی آن با استفاده از مدل جانسون-کوک، تعیین می شود:

$$\sigma = \left( A + B \dot{\epsilon}^n \right) \left( 1 + C \ln \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right) \left( 1 - \left( \frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right)$$

در رابطه فوق پیرانتز اول نشان دهنده ترم رفتار الاستیک-پلاستیک ماده قطعه کار بوده و  $n$  توان کرنش سختی است. پیرانتز دوم اصطلاحاً ترم ویسکوز نامیده می شود و برای اعمال اثر نرخ کرنش های بالا بر تنش جریان ماده به کار می رود. پیرانتز سوم برای اعمال اثر تغییرات تنش جریان در اثر تغییر در درجه حرارت قطعه کار در حین فرایند تغییر شکل استفاده می شود. بنابراین در رابطه فوق، پارامترهای  $A$ ،  $B$ ،  $C$ ،  $m$  و  $n$  ثابت های ماده بوده که با توجه به جنس قطعه کار تعیین می شوند جدول (۳)، درجه حرارت های  $T_m$  و  $T_r$  به ترتیب نقطه ذوب قطعه و درجه حرارت محیط هستند و  $\dot{\epsilon}_0$  نشان دهنده نرخ کرنش می باشد. همچنین خواص فیزیکی جنس قطعه کار نیز از مرجع [۱۶]، استخراج شده و در جدول (۴) گردآوری شده است.

جدول ۳ ضرایب مدل جانسون-کوک برای فولاد ۴۳۴۰ [۱۵].

A	B	n	C	m
۱۵۳۹	۴۷۷	۰/۱۸	۰/۱۲	۱

جدول ۴ خواص فیزیکی فولاد ۴۳۴۰ [۱۶].

نسبت پواسون	مدول برشی (GPa)	مدول حجمی (GPa)	مدول الاستیک (GPa)	سختی (HRC)	استحکام نهایی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)
۰/۲۹	۸۰	۱۴۰	۲۰۵	۱۳	۶۵۵	۴۱۵

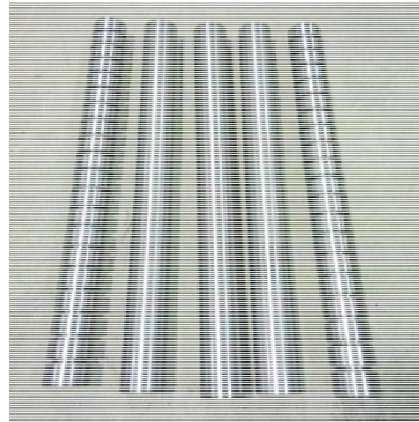
شرایط اصطکاک در سطح تماس ابزار و براده در صورت استفاده از نانوسیال اکسید تیتانیوم تغییر خواهد کرد. بنابراین ضروری است که در شرایط تراشکاری به کمک نانوسیال اکسید تیتانیوم، تولید حرارت در سطح تماس ابزار و براده با در نظر گرفتن تغییرات شرایط اصطکاک در نظر گرفته شود. بنابراین اعمال نانوسیال اکسید تیتانیوم مقدار شار حرارتی ایجاد شده در ناحیه برش ثانویه را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. در کار حاضر برای مدل سازی اصطکاک از مدل اصطکاک ترکیبی (چسبنده و لغزنده) استفاده شده است. از آنجایی که تاکنون کار تحقیقاتی و تجربی برای یافتن ضریب انتقال حرارت همرفت برای نانوسیال دی اکسید سیلیکون با غلظت های کار حاضر انجام نشده است، لذا در این کار تحقیقاتی برای به دست آوردن ضریب همرفت نانوسیال مذکور در شرایط مختلف، از روش انتقال حرارت معکوس در بسته نرم افزاری انسیس استفاده شده و ضریب ۶۱۰۰ وات بر متر مربع درجه کیوین در مدل المان محدود اعمال شده است.

به منظور صحت گذاری مدل المان محدود ارائه شده، دمای ابزار برشی در حالت تجربی و شبیه سازی مورد مقایسه قرار داده شد. برای این منظور نقطه ای مشخص به مختصات (۰/۵، ۴/۵) بر روی سطح براده در نظر گرفته شد، ترموکوپل در نقطه مذکور جانمایی شد، شکل (۲) و تاریخچه زمانی تغییرات



شکل ۵ آماده سازی نانوسیال با همزن التراسونیک.

ابتدا تمامی نمونه‌ها به طول ۵۰ سانتی‌متر و قطر ۲۹ میلی‌متر مطابق شکل (۴) آماده شدند و برای هر آزمایشیک طول مشخصی در نظر گرفته شد که مرز آن‌ها با شیارهای باریک مجزا شد.



شکل ۴ نمونه‌های آماده سازی شده.

#### ۴-۳- انجام آزمون‌های تجربی

برای ماشینکاری قطعات کار از اینسرت روکش‌دار کاربادی ساخت شرکت سکو استفاده شده است. این اینسرت کاربادی دارای دو لایه روکش  $\text{TiCN}$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  می‌باشد. همچنین از دستگاه تراش تبریز مدل TN50D جهت انجام ماشینکاری استفاده شده است. درجه حرارت برش با استفاده از ترموکوپل تستو ۲-۷۳۵ در حالتی که پروب آن در ابزار برشی کار گذاشته شده، اندازه‌گیری شده است، شکل (۲). طراحی آزمایش با استفاده سطوح پارامترها بر اساس جدول (۵) انجام شده است.

جدول ۵ سطوح در نظر گرفته شده برای پارامترها.

۴۵	سرعت برشی (متر بر دقیقه)
۰/۱۱	سرعت پیشروی (میلی‌متر بر دور)
خشک	غلظت ذرات (درصدوزنی) ۰/۱
۲۰	اندازه ذرات (نانومتر)

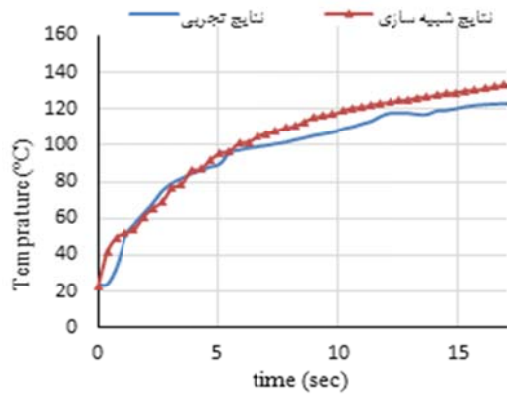
همانطور که در شکل (۶) نیز نشان داده شده، در اثر استفاده از نانو سیال، درجه حرارت ابزار برش به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. به‌طور کلی میانگین درصد کاهش دما در شرایط بررسی شده پس از اعمال نانو سیال، حدود ۳۰ درصد است. این مقدار در رابطه با سیالات روانکار متداول در حدود ۱۰ الی ۲۰ درصد است و از این لحاظ به نظر می‌رسد که استفاده از نانو سیال هم کارآمدتر است و هم با در نظر گرفتن غلظت پایین، از نظر حجم آلودگی‌های زیست محیطی مقرون به صرفه‌تر باشد، [۱۸].

بعد از آماده کردن نمونه‌ها، جهت سخت کاری به واحد عملیات حرارتی در شرکت صنایع فولاد حدید انتقال داده شدند و عملیات حرارتی کوئنچ- تمپر سختی سطح نمونه‌ها به  $\text{HRC } 48 \pm 2$  رسید.

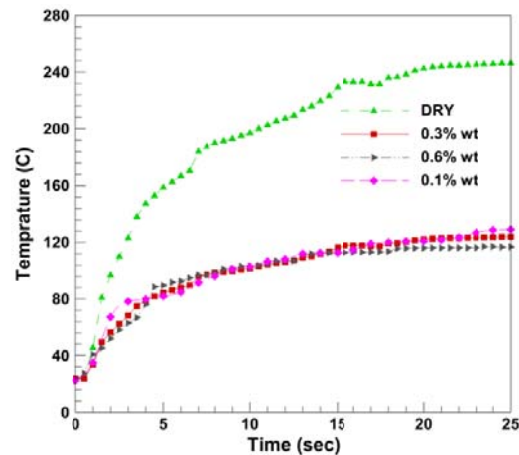
#### ۴-۲- آماده سازی نانو سیال

برای تهیه نانوسیالات ابتدا به مقدار یک‌دهم وزن نانوذره، ماده‌ای به نام سورفاکتنت به آب (سیال پایه) اضافه شد و سپس با استفاده از همزن مغناطیسی<sup>۱</sup>، سورفاکتنت در آب حل شد. دلیل استفاده از سورفاکتنت آن است که به پایداری نانوسیال کمک می‌کند. لازم به ذکر است که در پروژه حاضر از سورفاکتنت<sup>۲</sup> SDS استفاده شده است که این سورفاکتنت در کار تحقیقاتی روزاری صالح<sup>۳</sup> در سال ۲۰۱۴ بهترین عملکرد را در بین سورفاکتنت‌های مختلف از نظر بهبود هدایت حرارتی داشته است بعد از حل کردن سورفاکتنت SDS در آب، نانوذرات  $\text{SiO}_2$  به محلول اضافه شده و به مدت ۲۰ دقیقه توسط همزن مغناطیسی همزده می‌شود. این محلول (نانوسیال) برای معلق سازی بهتر ذرات در سیال پایه، به داخل ظرف مخصوص ریخته شده و به مدت ۳ ساعت توسط همزن التراسونیک شکل (۵) تحت ارتعاشات التراسونیک (۲۳۰ ولت، ۵۵ کیلوهرتز، ۳۵۰ وات) قرار می‌گیرد. پس از ۳ ساعت نانوسیال فوق به شکل یک مایع شیری رنگ درآمد اگرچه در برخی مقالات، پایداری نانوسیالات را تا چند روز و حتی چند هفته ممکن دانسته‌اند اما در این کار تحقیقاتی برای اطمینان بیشتر و جلوگیری از ته‌نشینی احتمالی ذرات، بلافاصله بعد از آماده شدن نانوسیالات، به آزمایشگاه ماشینکاری انتقال داده شده تا به‌عنوان سیال برشی در فرآیند تراشکاری سخت مورد استفاده قرار گیرند.

1. Magnetic Stirrer  
2. Sodium Dodecyl Sulfate  
3. Rosari Saleh



شکل ۷ مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی اندازه گیری درجه حرارت در ابزار برش.



شکل ۶ نتایج حاصل از اندازه گیری تجربی درجه حرارت برش در نقطه ای به مختصات (۰/۵، ۰/۵). (پیشروی ۰/۱۱ میلی متر بر دور، سرعت برش ۴۵ متر بر دقیقه، غلظت ۰/۳ درصد وزنی، اندازه ذرات ۲۰ نانومتر).

#### ۵- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر قابلیت نانوسیال دی اکسید سیلیکون به عنوان سیال خنک کار و توانمندی آن در کاهش درجه حرارت ابزار برش در ماشینکاری فولاد سخت کاری شده، مورد مطالعه تجربی و شبیه سازی المان محدود قرار گرفت.

بر اساس نتایج از پژوهش می توان موارد زیر را بیان نمود:

- ۱- اعمال نانو سیال به عنوان سیالخنک کار، سرعت انتقال حرارت از منطقه برش را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد. میانگین کاهش درجه حرارت ابزار برش در شرایط مورد بررسی در حدود ۳۰ درصد است.
- ۲- افزایش غلظت ذرات نانو در سیال پایه منجر به کاهش جزئی درجه حرارت ابزار برش خواهد شد که بیشترین میزان کاهش در حدود ۴۰ درصد و در غلظت وزنی ۰/۶ درصد اتفاق خواهد افتاد.

#### ۶- مراجع

- [1] Chao, B. T. and K. J. Trigger. "An analytical evaluation of metal cutting temperature." *Trans. ASME* 73 (1951): 57-68. *and Mechanical Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp. 7-14, 2011. (In Persian)
- [2] McFeron, D. E. and B. T. Chao. "Transient interface temperatures in plain peripheral milling. ASME, 1956.
- [3] Muraka, P. D. G. Barrow, and S. Hinduja. "Influence of the process variables on the temperature distribution in orthogonal machining using the finite element method." *International Journal of Mechanical Sciences* 21 (1979): 445-456.
- [4] Radulescu, R. and S. G. Kapoor. "An analytical model for prediction of tool temperature fields during continuous and interrupted cutting." *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 116 (1994): 135-143.
- [5] Fang, Gang, and Pan Zeng. "Three-dimensional thermo-elastic-plastic coupled FEM simulations for metal oblique cutting processes." *Journal of materials processing technology* 168 (2005): 42-48.
- [6] Eastman, J. A., Choi, S. U., Sheng Li, W. Yu, and Thompson, L. J. "Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles." *Applied physics letters* 78 (2001): 718-720.
- [7] Bin Shen; "Minimum Quantity Lubrication Grinding Using Nanofluids", PhD Thesis, University Of Michigan, 2008.
- [8] Chol, S. U. "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles" *ASME-Publications* 231 (1995): 99-106.
- [9] Zin, V., Agresti, F., Barison, S., Gondolini, L. and Fabrizio, M. "The synthesis and effect of copper nanoparticles on the tribological

دلایلی که می توان برای این کاهش قابل ملاحظه در دمای برشی عنوان کرد، عبارتند از:

- (الف) وجود نانو ذرات با هدایت حرارتی بالا در سیال پایه، باعث افزایش هدایت حرارتی سیال می شود و می تواند نرخ حرارت بیشتری را از منطقه برش دفع کند.
- (ب) بطور کلی استفاده از نانو سیال می تواند ضریب اصطکاک را کاهش دهد که کاهش ضریب اصطکاک خود می تواند باعث کمتر شدن حرارت تولید شده در برش فلز شود.
- (ج) با افزایش غلظت ذرات نانو در سیال پایه، ضریب انتقال حرارت نانو سیال افزایش می یابد که این امر می تواند سبب کاهش درجه حرارت در ناحیه برش شود.

به منظور مقایسه نتایج شبیه سازی و تجربی تغییرات درجه حرارت ابزار برش که در شکل (۷) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، تطابق نسبتاً خوبی بین نتایج شبیه سازی عددی و تست های تجربی وجود دارد.

- properties of lubricant oils." *Nanotechnology*, IEEE Transactions 12 (2013): 751-759.
- [10] Sayuti, M., Sarhan, A. and Salem, F. "Novel uses of  $\text{SiO}_2$  nano-lubrication system in hard turning process of hardened steel AISI4140 for less tool wear, surface roughness and oil consumption." *Journal of Cleaner Production* 67 (2014): 265-276.
- [11] Sayuti, M, Ming, O., Sarhan, A., and Hamdi, M. "Investigation on the morphology of the machined surface in end milling of aerospace AL6061-T6 for novel uses of  $\text{SiO}_2$  nano-lubrication system." *Journal of Cleaner Production* 66 (2014): 655-663.
- [12] Uysal, A., Demiren, F., and Altan, E. "Applying Minimum Quantity Lubrication (MQL) Method on Milling of Martensitic Stainless Steel by Using Nano  $\text{MoS}_2$  Reinforced Vegetable Cutting Fluid." *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 195 (2015): 2742-2747.
- [13] Kalhori V, Lundblad M.; "Finite Element Modeling of Orthogonal Metal Cutting". PhD Thesis, Lulea University of Technology, 2001.
- [14] Ucu, İ., and Kubilay, A. "Numerical simulation of orthogonal machining process using multilayer and single-layer coated tools." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 54 (2011): 899-910
- [15] Zerilli, F.J., and Ronald W. A. "Dislocation-mechanics-based constitutive relations for material dynamics calculations." *Journal of Applied Physics* 61 (1987): 1816-1825.
- [16] <http://www.azom.com/>
- [17] Saleh, R., Nandy, P., Romualdus, E.W., Wayan, N.S., and Suhendro, P.P. "Titanium dioxide nanofluids for heat transfer applications." *Experimental Thermal and Fluid Science* 52 (2014): 19-29
- [18] Sharma, V.S., Dogra, M. and Suri, N.M. "Cooling techniques for improved productivity in turning", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 49 (2009): 435-453.