

تعیین دمای ابزار در براده برداری عمودی به روش المان محدود و مقایسه با نتایج تجربی

علی فتی^{۱*}؛ محمد رضا رازفر^۲

چکیده

ماشینکاری فولادها به طور ذاتی دمای بالایی را تولید می‌کند؛ این دما علاوه بر کاهش عمر ابزار، باعث پایین آمدن کیفیت قطعه تولیدی می‌شود. از طرفی کاربرد مواد خنک کننده به سلامتی اپراتور آسیب می‌رساند و باعث آلودگی محیط زیست می‌شود. در این مقاله ماشینکاری در شرایط خشک توسط ابزار کاربایدی بر روی فولاد (st37) انجام شد و برای به دست آوردن دمای منطقه تماس ابزار- براده از دو روش: ترموکوپل جایگذاری شده در ابزار و دوربین مادون قرمز استفاده شد. نتایج تجربی با نتایج نرم افزارهای سوپر فرم و فلوئنت مقایسه شده است. با ثابت نگاه داشتن هندسه ابزار و تغییر در پارامترهای سرعت برش، نرخ پیشروی و عمق برش و مقادیر حرارت ایجاد شده در ابزار مورد مطالعه قرار گرفت. سپس به کمک نتایج تجربی حاصل از ترموکوپل با روش طراحی آزمایش و توسط آنالیز رگرسیون، فرمول تخمین دمای سطح ابزار به دست آمد و نشان داده شد که اثر افزایش سرعت برشی، پیشروی، عمق برش و اثر دو طرفه سرعت برشی و پیشروی، به ترتیب بیشترین تأثیر را بر دمای سطح ابزار دارند. همچنین تأثیر پارامترهای سرعت برش و پیشروی همزمان با دما بر روی نیروهای ماشینکاری مورد بررسی قرار گرفت.

کلمات کلیدی: دمای برش، روش ترموکوپل، توزیع دما، براده برداری عمودی، المان محدود.

Determination of Tool Temperature in Orthogonal Metal Cutting by Finite Element Method and its Comparison with Experimental Work

A.Fata; M.R.Razfar

ABSTRACT

Machining of steel inherently generates high cutting temperature, which not only reduces tool life but also impairs the product quality. Further, the lubricant effect deteriorate the working environment and lead to general environmental pollution. In this work, the cutting tool used is uncoated carbide insert with st37 steel as workpiece material to measure the temperature of the tool-chip interface in dry turning. Two different approaches are implemented for temperature measuring: an embedded thermocouple into the cutting tool and infrared camera. Comparisons are made between experimental and FE results. The influence of cutting speed, feed rate and depth of cut on the temperature are investigated. Afterwards, an expression for the effects of cutting conditions on tool temperature are determined using a design of experiment developed by factorial regression method. With the aid of experimental results is concluded that the main factors of the increasing cutting temperature are, cutting speed, feed rate and depth of cut respectively, It is also determined that interaction between cutting speed and feed rate has maximum effect on increasing in cutting temperature.

KEYWORDS : Cutting temperature; thermocouple method; Temperature distribution; Orthogonal cutting; Finite element.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۶/۴/۱۱

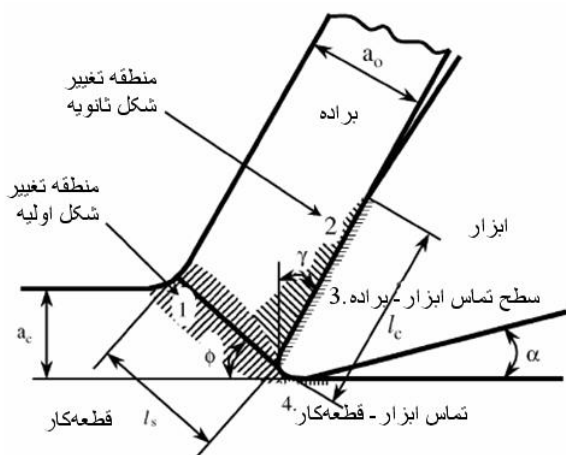
تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۷/۵/۱

*^۱ نویسنده مسئول و مربی، دانشگاه هرمزگان E-mail: fata.ali@gmail.com

^۲ استادیار، دانشگاه صنعتی امیر کبیر E-mail: Razfar@aut.ac.ir

زیادی هستند که تغییرات دما در آنها موثر است؛ مانند: عمر ابزار، مکانیزم های تشکیل براده، کیفیت سطح، نیروهای برش، سرعت برش، بهره‌وری فرآیند و غیره؛ بنابراین تعیین توزیع دما در مرزهای برش، یکی از وظایف اصلی پژوهشگران ماشینکاری در سال های اخیر بوده است [۵].

به طور کلی، تولید حرارت در چهار ناحیه، در منطقه برش اتفاق می‌افتد: منطقه تغییر شکل اولیه (صفحه برش)، منطقه تغییر شکل ثانویه، منطقه اصطکاکی در طول تماس ابزار- براده و یک منطقه کوچک اصطکاکی در سطح تماس ابزار- قطعه‌کار برای ابزارهایی که ساییده شده است (شکل ۱). منبع حرارتی در نواحی تغییر شکل اولیه و ثانویه توزیع شده است؛ زیرا حجم بالایی از تغییر شکل، حین عمل برش در این دو ناحیه اتفاق می‌افتد و در بیشتر کارهای تئوری و تحلیلی به صورت منبع حرارتی صفحه‌ای فرض می‌شود. گرمای حاصل از اصطکاک در یک صفحه واقع در منطقه تماس ابزار- براده تولید می‌شود. توزیع منابع حرارتی در عمل برش در شکل (۱) نشان داده شده است. در حدود ۸۰-۶۰ درصد حرارت از طریق براده (بسته به سرعت برش) به بیرون منتقل می‌شود و در حدود ۲۰-۱۰ به قطعه کار و ۲۰-۱۰ درصد به ابزار انتقال می‌یابد [۶ و ۷].



شکل (۱): طرحی از فرآیند برش عمودی [۶]

۳- مدل‌سازی انتقال حرارت ابزار

مدلسازی حرارتی فرآیند برش از دو مرحله تشکیل شده است:

(۱) فرآیند تشکیل و تعیین دمای براده

(۲) آنالیز انتقال حرارت در ابزار

مدل سازی فرآیند تشکیل براده توسط نرم افزار ام.اس.سی. سوپر فرم و آنالیز انتقال حرارت در ابزار توسط نرم افزار فلونت انجام شده است؛ زیرا نرم افزار سوپر فرم نمی‌تواند توزیع دمای نقاط مختلف در زیر سطح ابزار را در جایی که

حرارت حاصل از براده‌برداری، یکی از عوامل محدود کننده در عملیات ماشینکاری است. این پدیده تأثیرات نامطلوبی بر کیفیت سطح قطعه‌کار، دقت ابعادی، سایش ابزار، سرعت تولید و قیمت تمام شده دارد. از طرفی استفاده از سیال برش باعث مشکلاتی برای سلامتی کارگر و آلودگی محیط زیست می‌شود؛ لذا پژوهشگران درصدد کاهش و یا عدم استفاده از سیال برش در عملیات ماشینکاری بر آمده اند. در سال ۱۹۰۷ تیلور^۱ اولین مقاله را در مورد نقش حرارت در برش فلزات ارائه داد [۱]. در این نظریه عنوان شد که اگر دمای برش بالا رود، سایش ابزار زیاد شده، ممکن است باعث آسیب دیدن قطعه کار و موجب تشکیل لبه انباشته بر روی ابزار گردد که در نتیجه کیفیت سطح قطعه کار خراب می‌شود و همچنین تنش های حرارتی در قطعه کار ایجاد می‌شود [۱]. در سال ۱۹۸۳، استیونس^۲ و همکارانش با استفاده از نتایج به دست آمده از آزمایش های پیش با نرخ کرنش بالا، تنش سیلان و حرارت را تحت شرایط آدیباتیک (بی دررو) و براساس متغیرهای نرخ کرنش به دست آوردند [۲]. موراکا^۳ در سال ۱۹۹۰ با کاربرد المان محدود، اثر پارامترهای مختلف برش و زاویه براده را بر روی توزیع دمایی سطح براده بررسی کرد. نرخ تولید حرارت به کمک برخی روش های تجربی که مقدار کرنش را در نواحی تغییر شکل اولیه و ثانویه بررسی می‌کنند، محاسبه شده است [۳]. تأثیر اصطکاک در عمل برش متعامد به کمک المان محدود، توسط شای^۴ و همکارانش در سال ۲۰۰۳ بررسی شده است که در این مدل فرآیند برش متعامد تحت شرایط کرنش صفحه‌ای مدل گردید [۴].

۲- حرارت در برشکاری

عملیات براده‌برداری یک فرآیند ترمو- مکانیکی است. در طول این فرآیند، حرارت در نتیجه تغییر شکل پلاستیک و اصطکاک در طول سطح تماس ابزار- براده و ابزار- قطعه‌کار حاصل می‌شود. طرحی از یک نمونه برشکاری عمودی در شکل (۱) نشان داده شده است. به طور کلی فرض شده است که تقریباً تمام انرژی مورد نیاز برش، در مرزهای برش تبدیل به حرارت می‌شود [۱]. میزان افزایش دما ممکن است به بالای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد در منطقه برش برسد که این دما تحت تأثیر رفتار ماده و مکانیزم تشکیل براده است. بیشترین دما در سطح تماس ابزار- براده اتفاق می‌افتد. سایش و شکست ابزار به طور قابل ملاحظه‌ای در دماهای بالا، افزایش می‌یابد. افزایش دما در ماشینکاری متأثر از پارامترهای برش است. پارامترهای

ترموکوپل نصب شده است نشان دهد.

۳-۱- مدلسازی فرآیند تشکیل براده توسط نرم افزار

ام.اس.سی سوپر فرم^۵

فرضیات مدلسازی

در این مقاله از فرضیات زیر برای مدلسازی فرآیند استفاده شده است:

۱- فرآیند ماشینکاری عمودی در حالت پایدار است.

۲- ابزار یک جسم صلب فرض شده است.

۳- شکل براده به صورت پیوسته است.

۴- قطعه کار به صورت الاستیک- ویسکوپلاستیک فرض شده است [۷].

از این فرضیات در مدل سازی فرآیند استفاده شده است. فرضیات فوق به طور ضمنی یا صریح در به دست آوردن مدل، اعمال شده اند و مشخصاً اعمال این ساده سازی ها خطاهایی در پی خواهد داشت که این خطاها در مقایسه بین نتایج تجربی با شبیه سازی نمود پیدا می کنند [۷].

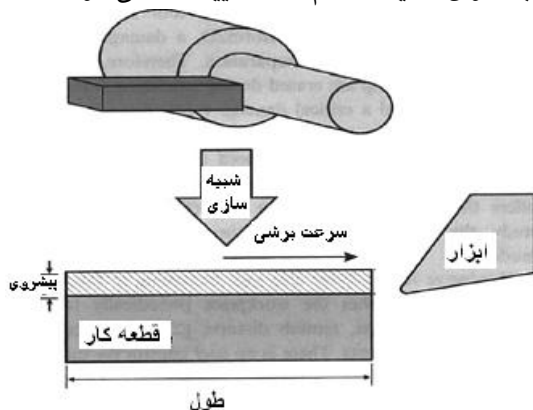
کمیت های متغیر عبارتند از: سرعت برش، پیشروی، عمق برش و شعاع لبه برنده اصلی ابزار. در این مدل ابزار مورد استفاده صلب فرض شده است و جنس قطعه کار فولاد معادل با فولاد ساختمانی است که از پایگاه داده های خود نرم افزار استفاده می شود. رفتار این ماده به صورت الاستیک- پلاستیک و با در نظر گرفتن تغییرات خواص ماده بر اثر درجه حرارت مدل سازی شده است. در مدل سازی اصطکاک از قانون اصطکاک کلمب استفاده شده است و دو ناحیه اصطکاکی چسبنده و لغزنده بر روی سطح براده ابزار در نظر گرفته شده است. مقدار ضریب اصطکاک در منطقه لغزنده ۰/۵ فرض شده است (بهترین تطابق نیروهای شبیه سازی شده در نرم افزار و نیروهای حاصله از کار های تجربی در ضریب اصطکاک ۰/۵ مشاهده می شود. در همه مدل های ساخته شده تمام پارامترهای المان محدود روی مقادیر ثابت تنظیم می شوند؛ به عنوان مثال، در همه شبیه سازی ها، تعداد المان ها، گره ها، نوع المان، اندازه المان و... یکسان است، ولی پارامترهای ماشینکاری به ترتیب در هر مدل نسبت به مدل دیگر تغییر می کند.

در این مقاله ۴۰ مدل برای ابزاری با لبه تیز (شعاع لبه برنده اصلی صفر) تهیه شد که شامل ۲۰ مورد سرعت برشی متغیر، ۲۰ مورد پیشروی متغیر است و تعداد ۱۲۰ مدل برای ابزار با شعاع لبه برنده ۰/۰۲۵، ۰/۰۵ و ۰/۱ تهیه شد (بقیه پارامترها ثابت در نظر گرفته شد). در برخی از این شبیه سازی ها عمق برش نیز تغییر داده شد. اکثر این مدل ها همسان با معادل تجربی آن ساخته شده اند.

قطعه کار در این مدل، مستطیلی به ابعاد ۶/۳ میلی متر در ۳/۱ میلی متر است. طول قطعه کار به ۴۰ قسمت مساوی و عرض قطعه کار به ۱۰ قسمت مساوی تقسیم شده است. تعداد کل المان ها قبل از انجام عملیات تجدید مش^۱ (ریز کردن المان ها در منطقه حساس) در همه مدل ها مقدار ثابت ۴۰۰ عدد المان مربعی چهار گره است (معادل با ۴۵۱ گره). زاویه براده ابزار صفر درجه و زاویه آزاد ابزار ۴ درجه فرض می شود که این مقدار در تمام مدلسازی ها ثابت است. دمای اولیه ابزار و قطعه کار در تمام شبیه سازی ها ۲۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است.

شرایط مرزی:

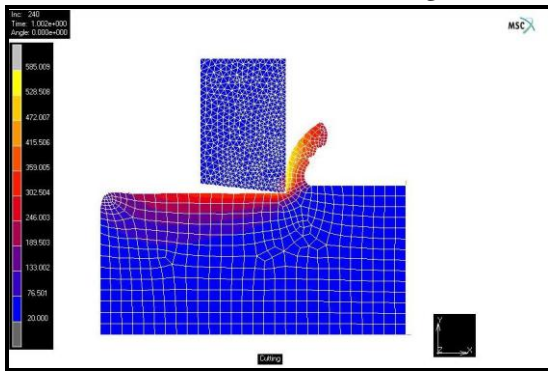
با توجه به شرایط مرزی استفاده شده در این شبیه سازی- ها، خطوط (منحنی ها) صلب به عنوان دیواره ابزار در نظر گرفته شده اند. گره هایی که بر روی دیواره های ثابت قرار گرفته باشند، در هیچ جهتی جابجایی یا چرخش ندارند. آخرین گره های سمت راست قطعه کار با یک دیواره صلب، ثابت نگه داشته می شوند. گره های پایینی هم به وسیله خط تقارن در عمق ثابت، نگه داشته می شوند. این گره ها در جهت سرعت و در جهت پیشروی در حین عمل برش هیچ گونه جابجایی ندارند. ابزار نیز به عنوان یک جسم صلب از سمت چپ به راست با سرعت ثابت در یک خط مستقیم حرکت می کند. پس از برخورد ابزار به المان ها (قطعه کار) و با رسیدن مقدار تنش اولین گره به مقدار تنش بحرانی، این گره از دیگر المان ها جدا شده، به سطح براده ابزار منتقل می شود و به این صورت براده از قطعه کار جدا می شود. در شکل (۲) مدل دو بعدی از فرآیند برش عمودی در مدلسازی المان محدود نشان داده شده است؛ بدین ترتیب پارامترهای سرعت برش، عمق، پیشروی و شعاع لبه برنده به عنوان متغیر در نرم افزار تغییر داده می شوند.



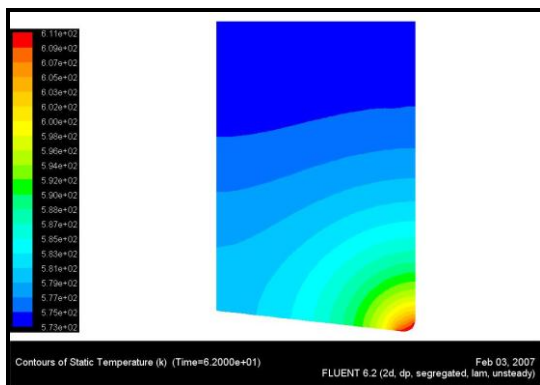
شکل (۲): مدل فرآیند برش عمودی (تراشکاری) در مدلسازی المان محدود

در این مقاله تنش سیلان جنس قطعه کار تابعی از کرنش،

شکل (۴) توزیع دما در ابزار کاربایدی را پس از آنالیز انتقال حرارت نشان می‌دهد.



شکل (۳): فرآیند تشکیل براده و توزیع دما در نرم افزار سوپر فرم با ابزار کاربایدی (اینسرت مثلثی شکل) و زاویه براده صفر درجه



شکل (۴): توزیع دما در آنالیز انتقال حرارت با استفاده از نرم افزار فلونت با ابزار کاربایدی (اینسرت مثلثی شکل) و زاویه براده صفر درجه

۴- آزمایش تجربی

در این مطالعه دو روش برای بررسی دمای ابزار مطرح شده است:

- روش ترموکوپل جایگذاری شده در ابزار

- روش ترمومتر مادون قرمز

در ادامه ابتدا وسایل و تنظیمات آزمایش شرح داده می‌شود و سپس هر کدام از روش‌ها به تفصیل بررسی شده است.

۴-۱- نمونه آزمایش

در هر دو روش شرایط آزمایش یکسان است. برای بالا بردن دقت کار و ایجاد شرایط تراش متعادل از یک لوله به جنس ST37 به قطر ۱۱۰ میلی‌متر و ضخامت دیواره ۵ میلی‌متر استفاده شد و در ابتدا برای افزایش دقت و یکنواختی ضخامت لوله، روتراشی و داخل تراشی بر روی آن صورت گرفت و به قطر و ضخامت مورد نظر رسانده شد. شایان ذکر است که کل بار در یک مرحله برداشته شده است. تمامی آزمایش‌ها در

نرخ کرنش و دما (با در نظر گرفتن اثر کرنش‌های بزرگ، نرخ کرنش و دمای برش مرتبط با خواص قطعه‌کار) در نظر گرفته شد. فرآیند برش از ابتدا تا حالت پایدار، به کمک حرکت گام به گام ابزار برش شبیه‌سازی شد. در این مدل، معیار جدایش براده بر اساس یک فاصله بحرانی از نوک ابزار فرض شد که این کار با به کارگیری کد نرم افزار مارک توسط زیر برنامه منطقه‌بندی (تجدید مش) تنظیم می‌شوند انجام شد. شکل براده، میدان‌های دما، توزیع تنش، کرنش و نرخ کرنش در براده، قطعه‌کار و ابزار تعیین شدند. در جدول (۱) پارامترهای تجدید مش مربوط به مدلسازی تشکیل براده نشان داده شده است. شایان ذکر است که مقدار این پارامترها در کل فرآیند ثابت است و از طریق روش آزمون و خطا، این عوامل به عنوان بهترین پارامترها انتخاب شدند.

جدول (۱): مشخصات پارامترهای تجدید مش

پارامترهای تجدید مش بندی	
روش تجدید مش بندی	روش تجدید مش بندی
فرکانس جابه جایی	فرکانس جابه جایی
طول لبه المان (میلی‌متر)	طول لبه المان (میلی‌متر)
مینی‌م طول لبه المان (میلی‌متر)	مینی‌م طول لبه المان (میلی‌متر)
زاویه گوشه (درجه)	زاویه گوشه (درجه)
کنترل تقسیم بندی منحنی	کنترل تقسیم بندی منحنی
نسبت هموار سازی	نسبت هموار سازی

مدل المان محدود به کار رفته در نرم افزار سوپر فرم و چگونگی تشکیل براده و توزیع حرارت در ابزار در شکل (۳) نشان داده شده است.

۳-۲- مدلسازی انتقال حرارت در ابزار توسط نرم افزار فلونت^۷

دمای نودهای سطح تماس ابزار و براده به همراه شار حرارتی این نودها که از نرم افزار سوپر فرم به دست آمده است، به عنوان شرایط اولیه برای آنالیز انتقال حرارت در نرم افزار فلونت مورد استفاده قرار گرفته است. مدت زمان آنالیز برای نزدیک شدن به شرایط تجربی ۶۰ ثانیه در نظر گرفته شده است که پس از گذشت مدت زمان ۳۰ ثانیه توزیع دما در ابزار ثابت می‌شود. برای مقایسه دمای شبیه‌سازی شده در نرم افزار با دمای دوربین مادون قرمز می‌توان از نتایج فرآیند تشکیل براده استفاده کرد اما در مورد ترموکوپل که در فاصله ۰/۵ میلی‌متری از سطح ابزار واقع است باید از نتایج آنالیز انتقال حرارت نرم افزار فلونت استفاده شود؛ زیرا مدت زمان فرآیند تشکیل براده برای انتقال دما به کل ابزار، بسیار کوتاه است.

دمای حدود ۱۸ درجه سانتیگراد انجام شده است.

۴-۲- ابزار تراش و ماشین تراش

اینسرت بدون پوشش که طول هر ضلع آن ۱۳ میلیمتر است، برای این آزمایش ها استفاده شد. این ابزار بدون براده شکن و دارای زاویه براده صفر و زاویه آزاد ۴ درجه است. بر طبق استاندارد ISO این ابزار بین گریدهای P10 و P20 است. ابزار درون کلگی دینامومتر محکم می شود. این کلگی در زاویه ۹۰ نسبت به قطعه کار قرار گرفته و شرایط تراش عمودی را فراهم می سازد. ماشین تراش مورد استفاده در این آزمایش ها مدل ساگانز^۱ SZ-250 ساخت شرکت ناردرینی برزیل در سال ۱۹۸۴ است.

۴-۳- دینامومتر شامل ترموکوپل

برای اندازه گیری دو جزء نیروی ماشینکاری (نیروی برش و پیشروی) به همراه دما، از یک دینامومتر حاوی سیستم اندازه گیری دما استفاده شد. این دستگاه دارای کلگی مخصوص برای اندازه گیری دما است که دارای یک ترموکوپل میله ای مدل K به قطر تقریبی ۰/۵ میلیمتر است. محدوده اندازه گیری دما توسط این سنسور از ۳۰- تا ۷۰۰+ درجه سانتیگراد و ابعاد آن در حدود (۶۰*۶۰*۲۲۰) میلیمتر با وزن تقریبی ۵۰ نیوتن است. در شکل (۵) نمای روبه روی این وسیله به همراه سنسور دما نشان داده شده است.



شکل (۵): دینامومتر حاوی سیستم اندازه گیری دما به همراه سنسور

۴-۴- سوراخکاری دقیق ابزار کاربیدی

برای جاسازی دقیق سنسور ترموکوپل در داخل ابزار کاربیدی، لازم است که در موقعیت مورد نظر، یک سوراخ به اندازه قطر خارجی سیم ترموکوپل (حدود ۰/۵ میلیمتر) به روش اسپارک در ابزار ایجاد شود که فاصله انتهای سوراخ از سطح ابزار در حدود ۰/۵ میلیمتر است. جهت سهولت در انتقال حرارت بین ابزار و ترموکوپل از خمیر هیت سینک^۲ استفاده شد. باید توجه داشت که سوراخ ایجاد شده در ابزار باید تا حد امکان کوچک باشد تا موجب آشفته گی شار حرارتی در ابزار نشده و نتایج به دست آمده به واقعیت نزدیک تر باشد. موقعیت

ترموکوپل در ابزار و سوراخ ایجاد شده در ابزار کاربیدی در شکل (۶) نشان داده شده است.



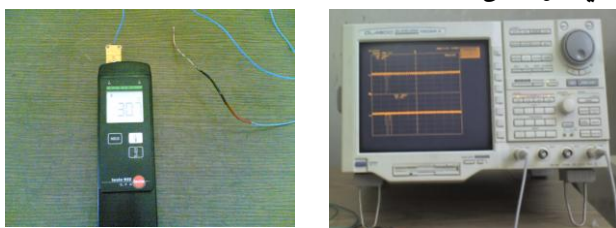
شکل (۶): موقعیت ترموکوپل و سوراخ ایجاد شده در ابزار

۴-۵- اسپیسکوپ دیجیتال حافظه دار

برای ثبت روند افزایش دما در حین عمل برش، لازم است که از یک وسیله ثبت دیجیتال استفاده شود که امکان داده برداری همزمان را داشته و دارای حافظه ثبت اطلاعات باشد. وسیله ای که برای این کاربرد مورد استفاده قرار گرفت، اسپیسکوپ دیجیتال حافظه دار ساخت کشور ژاپن، مدل یوگواوا^۱ DL-4200 است. این وسیله قابلیت ثبت اطلاعات را دارد و با استفاده از دیسکت می توان اطلاعات را جابه جا کرد و در نرم افزار مطلب^۲ اطلاعات ثبت شده با توجه به یک تابع تبدیل به درجه حرارت تبدیل می شود. در شکل (۷) نمایی از این دستگاه نشان داده شده است.

۴-۶- نمایشگر ترموکوپل مدل K

به منظور نشان دادن دمای ترموکوپل میله ای مدل K از نمایشگر تستو^۱ ۹۲۲ استفاده شد که دارای دو ورودی برای ثبت دما است. از این ترموکوپل برای مقایسه و انجام کالیبراسیون دوربین استفاده شده است. در شکل (۷) این نمایشگر نشان داده شده است.



شکل (۷): اسپیسکوپ دیجیتال حافظه دار و نمایشگر ترموکوپل

۴-۷- دوربین مادون قرمز

تحقیقات زیادی برای استفاده از تکنیک اندازه گیری دما از طریق انتشار اشعه مادون قرمز صورت گرفته است. این تکنیک دارای مزایای بسیاری نسبت به سایر روش ها است؛ زیرا اکثر جنس های ابزار برش مثل سرامیک ها که در ماشینکاری سرعت بالا استفاده می شوند، دارای خواص تدری و مقاومت الکتریکی فوق العاده هستند و لذا استفاده از سنسورهای تماسی مثل

مقایسه کرد. تمام مواد بر اثر دمایشان انرژی حرارتی ساطع می‌نمایند. انرژی ساطع شده با استفاده از قانون استفان بولتزمن به شرح زیر است:

$$q_e = \varepsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

که در این رابطه

ε ضریب انتشار جسم

$$\sigma \text{ برابر } (5.675 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4)$$

T دمای جسم

در این دوربین پارامتر ε که مربوط به مواد گوناگون می‌باشد قابل تنظیم است. در این سری از آزمایش‌ها، $\varepsilon = 0.3$ و فاصله دوربین از محل برش در حدود ۱۲۰ میلی‌متر است که به عنوان مقدار بهینه در نظر گرفته شده است. این نتیجه با توجه به مقایسه بین نتایج حاصل از اندازه‌گیری درجه حرارت توسط دوربین در ε های مختلف و درجه حرارت حاصل از ترموکوپل میله‌ای به دست آمده است. حال با توجه به توضیحات داده شده، تجهیزات اندازه‌گیری مونتاژ می‌شوند. شایان ذکر است که با توجه به قابلیت ثبت داده‌های دوربین، از یک کامپیوتر قابل حمل استفاده شده است که نرم افزار دوربین بر روی آن نصب شده و به صورت روی خط (آنلاین) می‌توان داده‌برداری را انجام داد.

۵- بررسی نتایج آزمایشهای تجربی

۵-۱- آزمایش اول

بررسی اثر سرعت برش بر دمای ابزار کاربایدی

در این آزمایش کلیه پارامترهای ماشینکاری مقادیر ثابتی در نظر گرفته شده و تنها با تغییر دور محور و با توجه به قطر قطعه کار مقادیر مختلف سرعتهای برشی به دست آمد. مقادیر پارامترهای ماشینکاری و زوایای ابزار طبق جداول (۲) است.

جدول (۲): شرایط آزمایش برای بررسی اثر سرعت برش

پارامترهای آزمایش سرعت برشی	
اینسرت کاربایدی	مشخصات ابزار
صفر درجه	زاویه براده
۴ درجه	زاویه آزاد
فولاد ST37	مشخصات قطعه کار
$131, 118, 263, 528, 723 \text{ mm/s}$	سرعت برش (متغیر)
0.08 mm/rev	پیشروی
$1/5 \text{ mm}$	عمق برش

نتایج به دست آمده توسط ترموکوپل و دوربین در شکل-های (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده است. محور افقی، محور زمان

ترموکوپل‌های جایگزاری شده در ابزار (برای اندازه‌گیری دمای محل تماس ابزار- براده) مشکل است. این روش در واقع یک تکنیک غیر تماسی برای اندازه‌گیری دمای بدنه اجسام بر اساس انرژی گرمایی ساطع شده است [۸]. شکل (۸) این دوربین و موقعیت اندازه‌گیری (موقعیت ۱ در کنار براده) را نشان می‌دهد.



شکل (۸): دوربین مادون قرمز

۸-۴- تنظیمات آزمایش تجربی

در هر آزمایش از دو روش اندازه‌گیری به طور همزمان استفاده شد که در این صورت به نتایج مقایسه‌ای خوبی می‌توان دست یافت.

برای قرار دادن دوربین بر روی ماشین تراش، نیاز به مکانیزی بود که دوربین ثابت نگه داشته شود تا از خطاهای لرزش دست و غیره محفوظ بماند. برای این منظور، از یک پایه ساعت به عنوان پایه دوربین استفاده شد و با طراحی یک بوش، دوربین به پایه ساعت متصل شد. مزیت این کار آن است که پایه ساعت قابلیت تنظیم در تمام جهات را داراست و از طرفی این پایه مغناطیس است و در هر جای دستگاه که لازم باشد می‌توان آن را نصب کرد؛ بدین ترتیب می‌توان با روش آزمون و خطا، بهترین موقعیت دوربین را برای ثبت دمای ابزار پیدا کرد که این تنظیمات در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل (۹): تنظیمات جهت آزمایش تجربی

به منظور اطمینان از عملکرد صحیح دوربین، داده‌های آن با داده‌های مربوط به ترموکوپل سرخت میله‌ای مدل K مقایسه شد و با انجام ۵ آزمایش در سرعت های برش مختلف، دقت دوربین بررسی شد. روش تست بدین صورت است که دوربین، نور مادون قرمز را به نقطه‌ای نزدیک منطقه برش ابزار می‌تاباند و در همان نقطه یک ترموکوپل میله‌ای نیز قرار دارد و به این ترتیب می‌توان نتایج حاصل از این دو روش را با یکدیگر

۵-۲- آزمایش دوم

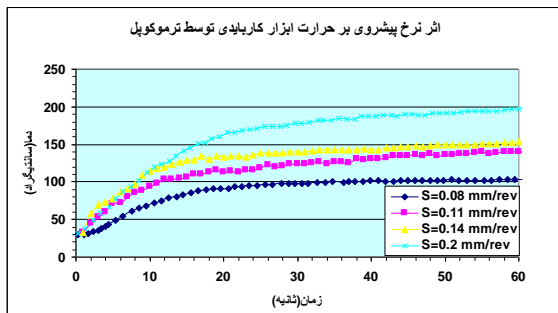
بررسی اثر نرخ پیشروی بر دمای ابزار کاربیدی

در این آزمایش‌ها با ثابت نگاه داشتن کلیه پارامترهای ماشینکاری و تغییرات نرخ پیشروی، مقادیر دمای ایجاد شده در داخل قلم توسط رایانه ثبت گردید. در این آزمایش‌ها مقادیر پارامترهای ماشینکاری و زوایای ابزار بر طبق جدول (۳) است.

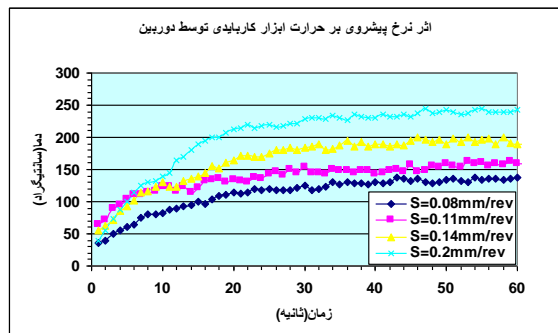
جدول (۳): شرایط تست برای بررسی اثر نرخ پیشروی

پارامترهای آزمایش پیشروی	
اینسرت کاربیدی	مشخصات ابزار
صفر درجه	زاویه براده
۴ درجه	زاویه آزاد
فولاد ST37	مشخصات قطعه کار
131 mm/s	سرعت برش
$0.1, 0.11, 0.14, 0.2 \text{ mm/rev}$	پیشروی (متغیر)
$1/5 \text{ mm}$	عمق برش

نکته مهم در این آزمایش این است که دمای نهایی یا دمای تعادل ابزار از آزمایش قبل کمتر بوده، اثر پیشروی در تولید حرارت نسبت به سرعت برشی کمتر به نظر می‌رسد. نتایج به دست آمده از این آزمایش توسط دوربین و ترموکوپل بر روی ابزار کاربیدی در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) آمده است.

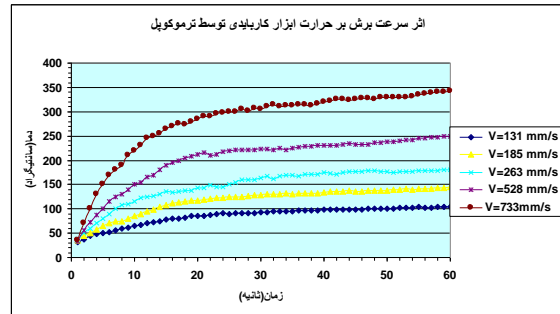


شکل (۱۲): دمای ابزار کاربیدی در پیشروی‌های مختلف (ترموکوپل)

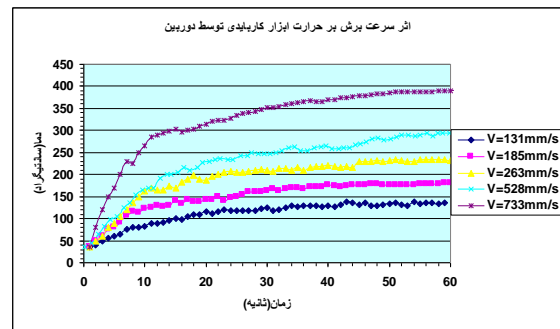


شکل (۱۳): دمای ابزار کاربیدی در پیشروی‌های مختلف (دوربین)

بوده و زمان داده‌برداری را نشان می‌دهد. زمان کل داده‌برداری ۶۰ ثانیه است که به ازای هر ثانیه یک داده برداشت شده است. محور عمودی نیز مربوط به مقدار حرارت اندازه‌گیری شده در داخل ابزار است. مشاهده می‌شود که در شروع آزمایش، مقدار دما با یک شیب نسبتاً تند افزایش و با گذشت زمان، شیب منحنی کاهش می‌یابد و به مقدار صفر و یا شیبی در حد صفر می‌رسد.



شکل (۱۰): دمای ابزار کاربیدی در سرعت‌های برش مختلف (ترموکوپل)



شکل (۱۱): دمای ابزار کاربیدی در سرعت‌های برش مختلف (دوربین)

در ادامه فرآیند ماشینکاری با تغییر هندسه ابزار برش به علت سایش ابزار و تشکیل لبه انباشته، افزایش بیشتر حرارت را خواهیم داشت ولی در آزمایش‌های انجام شده با توجه به اینکه تمامی لبه‌های برنده برای بار اول مورد استفاده قرار گرفته‌اند (هر اینسرت دارای سه لبه است) و از طرفی با توجه به کم بودن زمان آزمایش، ابزارها به این مرحله از فرسایش نمی‌رسند و حرارت‌های ایجاد شده را می‌توان فقط ناشی از پارامترهای ماشینکاری تنظیم شده دانست. نکته دیگر اینکه دمای ثبت شده توسط دوربین تقریباً در حدود ۵۰ درجه بالاتر از دمای ترموکوپل است و دلیل این تفاوت آن است که ترموکوپل دمای نقطه‌ای به فاصله ۰/۵ میلی‌متر از سطح ابزار را اندازه می‌گیرد؛ در صورتی که دوربین دمای نقطه‌ای نزدیک به منطقه برش بر روی سطح ابزار را ثبت می‌کند.

۵-۳- آزمایش سوم

بررسی اثر عمق برش بر دمای ابزار کاربیدی

در آزمایش سوم با ثابت نگاه داشتن همه پارامترهای ماشینکاری و تغییر در عمق برش، اثرات تغییر عمق برش بر حرارت ایجاد شده، مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایشها مقادیر پارامترهای ماشینکاری و زوایای ابزار بر طبق جدول (۴) است.

جدول (۴): شرایط تست برای بررسی اثر عمق برش

پارامترهای آزمایش عمق برش	
اینسرت کاربیدی	مشخصات ابزار
صفر درجه	زاویه براده
۴ درجه	زاویه آزاد
فولاد ST37	مشخصات قطعه کار
131 mm/s	سرعت برش
0.08 mm/rev	پیشروی
$1/5, 2/2.1/94, 4/1 \text{ mm}$	عمق برش (متغیر)

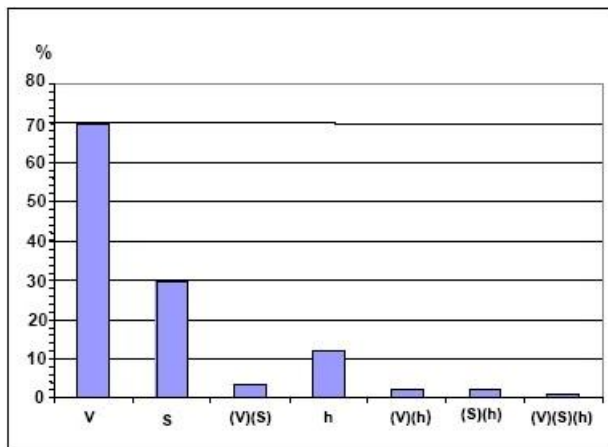
بسیار کمتر است و این بیانگر این مسأله است که اثر عمق برش در تولید حرارت نسبت به سرعت برشی و نرخ پیشروی کمتر به نظر می‌رسد.

۶- بررسی اثرات عوامل ایجاد حرارت در ابزار توسط تکنیک طراحی آزمایش^{۱۲}

فرض شده است که تنها عوامل مؤثر بر ایجاد حرارت در ابزار، پارامترهای سرعت برش، مقدار پیشروی و عمق برش باشند. در اینجا سه پارامتر ماشینکاری یا سه عامل و دو سطح برای هر عامل تعریف شده است. با توجه به تعداد عوامل (سه عامل) و تعداد سطوح در نظر گرفته شده (دو سطح)، از طرح "عامل کامل"^{۱۲} استفاده شد. شایان ذکر است که هر کدام از عوامل سطح دوم نسبت به سطح اول در حدود ۴۰ درصد بیشتر در نظر گرفته شده است. نمودار میله‌ای اثر هر عامل در شکل (۱۶) نشان داده شده است.

جدول (۹): سطوح و مقادیر هر عامل

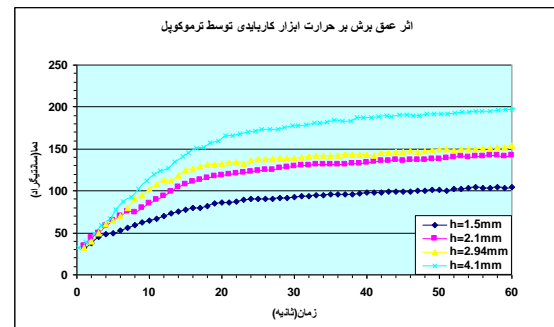
پارامترها	سطح اول (-)	سطح دوم (+)
سرعت برش	$11/1 \text{ m/min}$	$15/8 \text{ m/min}$
پیشروی	0.11 mm/rev	0.14 mm/rev
عمق	$2/1 \text{ mm}$	$2/94 \text{ mm}$



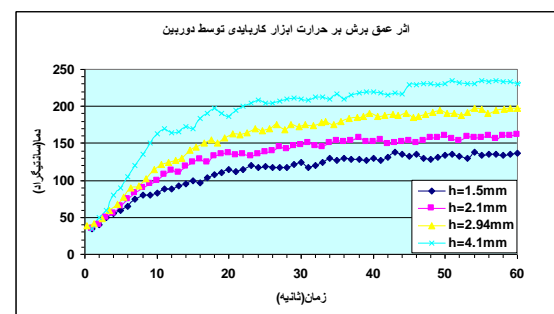
شکل (۱۶): نمودار میله‌ای مقادیر اثر هر عامل در ایجاد حرارت ابزار

با توجه به نتایج به دست آمده از شکل (۱۶) مشخص می‌شود که اثر سرعت برش بر حرارت ایجاد شده در ابزار بسیار بیشتر از نرخ پیشروی است و از طرفی فاصله زیادی بین اثر سرعت برشی با اثرات عوامل دیگر به وجود آمده است. این مسأله نشان دهنده اهمیت این عامل در ایجاد حرارت در ابزار و به خصوص در سرعت‌های برشی بالا است و مؤید نظریه تیلور

نتایج به دست آمده از این آزمایش توسط دوربین و ترموکوپل بر روی ابزار کاربیدی در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) آمده است.

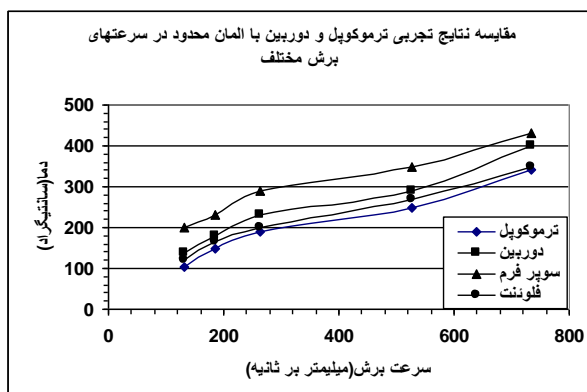


شکل (۱۴): دمای ابزار کاربیدی در عمق‌های برش مختلف (ترموکوپل)

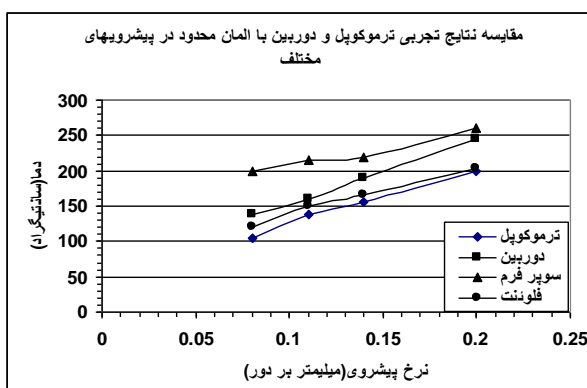


شکل (۱۵): دمای ابزار کاربیدی در عمق‌های برش مختلف (دوربین)

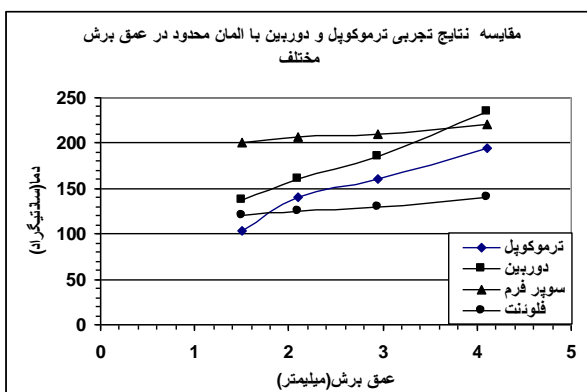
نکته مهم در این آزمایش این است که دمای نهایی یا دمای تعادل ابزار از آزمایش قبل کمتر بوده، همچنین شیب دمایی



شکل (۱۷): مقایسه نتایج تجربی و المان محدود در سرعت‌های مختلف



شکل (۱۸): مقایسه نتایج تجربی و المان محدود در پیشروی‌های مختلف



شکل (۱۹): مقایسه نتایج تجربی و المان محدود در عمق‌های برش مختلف

۸- نتیجه گیری

فرآیند براده‌برداری بسیار پیچیده و پیش‌بینی ناپذیر است. به همین دلیل پیش‌بینی توزیع دما در سطح تماس ابزار-براده کار بسیار مشکلی است. در این مقاله دمای ابزار کاربیدی، در برشکاری فولاد ST37 به دو روش ترموکوپل جایگذاری شده در ابزار و دوربین مادون قرمز مورد بررسی قرار گرفت و در انتها نتایج تجربی با نتایج نرم افزارهای سوپر فرم و فلوننت

در مورد اثر سرعت برشی بر عمر ابزار به عنوان مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده عمر ابزار است. با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش‌های فوق، معادله پیش‌بینی دمای ایجاد شده در ابزار توسط عوامل مورد آزمایش به قرار زیر است [۹]:

$$T = \bar{T} + \left(\frac{\Delta V}{2}\right)V + \left(\frac{\Delta S}{2}\right)S + \left(\frac{\Delta h}{2}\right)h + \left(\frac{\Delta VS}{2}\right)VS \quad (2)$$

از آنجایی که اثرات عوامل متقابل VSh و $Sh.Vh$ بسیار کم است بررسی سادگی معادله، اثرات آنها در معادله لحاظ نمی‌شود. در این معادله T مقدار دمای پیش‌بینی شده و \bar{T} میانگین تمام دماهای به دست آمده در آزمایش است و $\frac{\Delta}{2}$ مقادیر نیم اثر هر کدام از عوامل است؛ بدین ترتیب معادله پیش‌بینی فوق به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$T = 190/2 + (34/87)V + (14/7)S + (5/96)h + (1/62)VS \quad (3)$$

حال با این معادله می‌توان در صورت نیاز به حفظ دما در یک محدوده خاص که عمدتاً در ماشینکاری خشک مطرح است، با قرار دادن مقدار دما در یک سمت معادله و با انتخاب سطوح مشخص دو پارامتر مثلاً V و S مقدار پارامتر دیگر را که عمق براده برداری h است را به دست آورد. با توجه به طراحی آزمایش‌ها مشاهده می‌شود که تاثیر سرعت برشی بیشتر از پیشروی و پیشروی بیشتر از عمق بر روی افزایش درجه حرارت است.

۷- بحث و اظهار نظر

در این مقاله از دو روش ترموکوپل جایگذاری شده در ابزار و دوربین مادون قرمز برای اندازه‌گیری دمای برش استفاده شد و سپس نتایج آن با آنالیز المان محدود که توسط نرم‌افزارهای سوپر فرم و فلوننت انجام شد، مقایسه گردید. در شکل (۱۷) اثر افزایش سرعت برش بر روی دمای ابزار نشان داده شده است و از طرفی نمودارهای تجربی و المان محدود با یکدیگر مقایسه شده است. در شکل (۱۸) اثر افزایش نرخ پیشروی بر دمای ابزار نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که شیب نمودار تجربی دما از سرعت برش کمتر است. در شکل (۱۹) اثر افزایش عمق برش بر دمای ابزار نشان داده شده است که با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که با افزایش عمق برش شیب نمودار کمتر شده، در عمق‌های برش بالا به سمت شیب صفر میل می‌کند. مقدار شیب این نمودار از سرعت برش و پیشروی کمتر است و این موضوع بیانگر اثر کمتر عمق برش بر دمای ابزار است.

دمای سطح ابزار ارائه شد که نشان می‌دهد اثر افزایش سرعت برش، پیشروی، عمق برش و اثر دو طرفه سرعت برش و پیشروی به ترتیب بیشترین تأثیر را بر دمای سطح ابزار دارند. ۴- با توجه به اندازه‌گیری دما توسط سنسور به صورت بی‌درنگ، می‌توان دمای ابزار و عمر ابزار را تحت کنترل در آورده، به شرایط ماشینکاری خشک (بدون روانکار) رسید.

۹- تقدیر و تشکر

در پایان از مسئولان کارگاه ماشین ابزار (۲) و آزمایشگاه کامپوزیت دانشگاه صنعتی امیرکبیر کمال تشکر را داریم.

۱۰- فهرست علائم

a_c	ضخامت براده تغییر شکل نیافته
a_0	ضخامت براده تغییر شکل یافته
h	عمق برش
l_c	طول منطقه تماس ابزار- براده
l_s	طول صفحه برش
q_e	انرژی ساطع شده از جسم
S	پیشروی
T	دما
\bar{T}	دمای متوسط
V	سرعت برش
α	زاویه آزاد
γ	زاویه براده
ϕ	زاویه برش
ε	ضریب انتشار جسم

مقایسه گردید. هدف از این کار، ایجاد ارتباط بین دمای برش (دمای ابزار) و متغیرهای اصلی ماشینکاری (سرعت برش، پیشروی و عمق) است که با توجه به یکسان بودن شرایط در طول آزمایشها نتایج خوبی در این رابطه به دست آمد که عبارتند از:

۱- در این مقاله به دلیل پیچیدگی فرآیند براده‌برداری عمودی از دو روش، برای اندازه‌گیری دمای ابزار استفاده شده است. در روش اول، دمای اندازه‌گیری شده توسط ترموکوپل با نتایج نرم افزار فلوننت در نقطه‌ای به فاصله ۰/۵ میلی‌متر از سطح ابزار تطابق خوبی دارد. در این نرم افزار، پس از گذشت مدت زمان ۳۰ ثانیه، توزیع دما در ابزار تقریباً ثابت می‌شود که این نتیجه با نمودارهای تجربی دما به خوبی مطابقت دارد. در روش دوم دمای اندازه‌گیری شده در سطح ابزار توسط دوربین مادون قرمز در مقایسه با نرم‌افزار سوپر فرم، اختلاف بیشتری را نشان می‌دهد؛ و زیرا نقطه اندازه‌گیری دما با دوربین مادون قرمز خارج از منطقه تماس براده با ابزار است در حالی که نرم افزار سوپر فرم دقیقاً دمای محل تماس براده با سطح ابزار را که درجه حرارت بیشتری دارد نشان می‌دهد.

۲- با توجه به طراحی آزمایش‌ها مشاهده می‌شود که تاثیر سرعت برشی بیشتر از پیشروی و پیشروی بیشتر از عمق بر روی افزایش درجه حرارت است. دما در سطح ابزار- براده شدیداً تحت تأثیر سرعت برش است. برای مثال دما در سرعت 35m/min و عمق 1.5mm در حدود ۲۲۰ درجه سانتیگراد است؛ در صورتی که در سرعت برش 45m/min این دما به ۳۰۰ می‌رسد. در نتیجه با افزایش سرعت برش دمای ابزار به صورت نمایی تغییر می‌کند.

۳- با استفاده از نتایج تجربی ترموکوپل، فرمول تخمین

۱۱- مراجع

- Journal materials & design, , vol. 28, p.p. 2329-2335, 2007 .
- [۱] Shaw, M. C.; Metal cutting principles, Oxford University Press, 1984.
- [۲] Filicie, L. and Umbrello, D.; "On the finite element codes capability for tool temperature calculation in machining processes", Journal of material processing Technology, p.p. 182-190, 2006.
- [۳] Silva, M. and Wallbank, J.; "Cutting temperature: prediction and measurement methods a review", J. of material processing, p.p. 195-202, 1999.
- [۴] Komanduri, R. and Hou, Z.B.; "A review of the experimental techniques for the measurement of heat and temperature generated in some manufacturing processes and tribology", Tribology International, vol. 34, p.p. 653-682, 2001.
- [۵] Korkut, I.; Boy, M. ; KARACAN, I.; Seker, U. , "Investigation of chip-back temperature during machining depending on cutting parameters",
- [۶] Dogu, Y.; Aslan, E.; Camuscu, N. ; "A numerical model to determine temperature distribution in orthogonal metal cutting" Journal of Material processing & Technology, p.p. 171-180, 2005.
- [۷] Fleischer, J. and Weule, H.; "Estimation of Two-dimension Tool Wear Based On Finite Element Method". University of karlsruhe(TH)
- [۸] Sullivan , D.O. and , Cotterell, M.; "Temperature measurement in single point turning", Journal of Material processing & Technology, p.p. 301-308, 2001.
- [۹] Barrentine, L. ; Design of experiment., Oxford University Press, 1999.

- \ Taylor
- ˘ Stephenson
- ˘ Moraka
- ˆ Shay
- ° Msc-Superform
- ˘ Adaptive Remeshing
- ˘ Fluent
- ^ Heat Sink
- ^ Matlab
- ˘ Yokogawa
- ˘˘ Testo
- ˘˘ On-line
- ˘˘ Design Of Experiment
- ˘ˆ Full Factorial

