



طراحی دستگاه و سیستم فیکسچر بندی جهت ایجاد روشی جدید برای بررسی حرارت تولید شده در ماشین کاری با سرعت بالا

شهرام فرامرزی^{۱*}، رضا نصوحی^۲، مرتضی هومان فرد^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، ایران

۲- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکاترونیک، دانشکده مکانیک، دانشگاه تبریز، ایران

* فارس، ۸۸۶۱۸۴۹۲۵۹، shfaramarzi@smc.iaun.ac.ir

چکیده

در این مطالعه به روش تجربی، حرارت منتشر شده در قطعه کار از جنس آلیاژ 90Cu-10Sn در ماشین کاری با سرعت بالا مورد بررسی قرار گرفت. انجام این کار با استفاده از سیستم الکترونیکی و فیکسچر بندی که خاص این مطالعه طراحی شده بود صورت پذیرفت. این روش از لحاظ این که حرارت انتقالی به قطعه کار را تعیین می‌کند بسیار حائز اهمیت می‌باشد. دمای محل براده برداری در ماشین کاری با سرعت بالا به دلیل خاصیت ادیاباتیکی، مقدار زیادی از آن به وسیله براده از محل ماشین کاری خارج شده و مقدار باقی مانده حرارت محل ماشین کاری به قطعه کار و ابزار انتقال می‌یابد. در این مطالعه با افزایش سرعت برشی به بررسی مقدار حرارت انتقالی به قطعه کار فسربریزی پرداخته شد. نتایج نشان داد که در روش ماشین کاری با سرعت بالا حرارت انتقالی به قطعه کار با گذاشتن از سرعت بحرانی برش کاهش می‌یابد. طبق این نتایج در آلیاژهای فسفربرنز مخصوصا در مواردی که ضخامت قطعه کار کم می‌باشد و حرارت می‌تواند باعث بروز اعوجاج‌های ناخواسته در قطعه کار شود می‌توان از این روش به عنوان یک روش بهینه و اقتصادی که عاری از اثرات سوء حرارتی باشد استفاده کرد.
کلید واژگان: ماشین کاری با سرعت بالا، سیستم الکترونیکی، سیستم فیکسچر بندی، سرعت برشی، حرارت انتقالی به قطعه کار

Design and manufacturing of a new apparatus and fixture for studying the generated heat in high speed machining

Shahram Faramarzi^{1*}, Reza Nosouhi², Morteza Hoomanfar³

1- mechanical engineering, Department of Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

2- Department of Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

3- Mechatronics Engineering, Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Iran

* P.O.B. 8861849569 Farsan, Iran, shfaramarzi@smc.iaun.ac.ir

ABSTRACT

In the present paper, the generated heat in high speed machining of 90Cu-10Sn alloy is studied via a specific practical approach. The presented approach includes an electronic system and fixture setup, elaborately designed for this purpose. The significance of this approach is remarkable because of its efficiency in measuring the distributed heat inside the workpiece. In high speed machining, due to adiabatic properties, a huge amount of the generated heat is evacuated from machining zone by the chips, while the rest is transferred to the tool and the workpiece. In the present study, the transferred heat to the phosphor-bronze workpiece was investigated by increasing the cutting speed. The results showed that in high speed machining, the transferred heat to the workpiece is reduced, once the critical cutting speed has been suppressed. According to the observations, in phosphor-bronze workpieces - particularly when the thickness is low and the generated heat can cause undesired distortions - this approach can be used as an optimized and economical method which diminishes the adverse thermal effects.

Keywords: Cutting Speed, Electronic System, Fixture System, High Speed Machining, Transferred Heat.

سرعت بالا در صنایع هوا و فضا کاربرد موفقیت‌آمیزی دارد و تقاضا برای ماشین کاری با سرعت بالا در این صنایع افزایش یافته است. آن‌ها نتیجه گرفتند ملاحظات اقتصادی از فاکتورهای مهم این افزایش تقاضا می‌باشد.

در سال ۱۹۹۹ اندازه‌گیری دما در ماشین کاری با سرعت بالا توسط سیلوا^۵ و وال بانک^۶ انجام شد. آن‌ها بیان کردند انرژی مصرف شده در ماشین کاری تا حد زیادی به گرما تبدیل می‌شود. آن‌ها به بررسی دمای تولیدی در ماشین کاری با سرعت بالا پرداخته و برای اندازه‌گیری دما از ترموکوپل استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که اندازه‌گیری با استفاده از

۱- مقدمه

در زمینه تاریخی مفهوم ماشین سرعت بالا توسط سالمون^۱ در سال ۱۹۲۴ تا سال ۱۹۳۱ ایجاد شد. سالمون گزارش خود را روی اره گرد با قطر بزرگ برای رسیدن به سرعت برش بالا مستقر کرد. طبق این تئوری دمای ماشین کاری در سرعت برشی بالا، کم می‌شود [۲،۱].

بررسی‌هایی توسط پارک^۲ و همکارانش [۳] و وانگ^۳ و رحمان^۴ روی اهمیت ماشین کاری با سرعت بالا انجام شد. آن‌ها بیان داشتند ماشین کاری با

1. salmon
2. J. Park
3. Z. Wang
4. M. Rahman

5. Silva
6. Wallbank

Please cite this article using:

S. Faramarzi, R. Nosouhi, M. Hoomanfar, Design and manufacturing of a new apparatus and fixture for studying the generated heat in high speed machining, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 501-505, 2015 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

تعیین عمر ابزار، کیفیت سطح قطعه کار، تغییر شکل قطعه کار و پارامترهای ماشین کاری از جمله سرعت برش و نرخ پیشروی می باشد.

در ماشین کاری با سرعت بالا حرارت منتقل شده به قطعه کار از طریق نواحی سه گانه کم می باشد. دلیل این موضوع بالا بودن نرخ برداشت براده می باشد. زیرا در این حالت فرایند خاصیت بی دررو^{۱۰} دارد و سریعاً حرارت از طریق براده خارج می شود. بنابراین فرصت انتقال حرارت به قطعه کار کمتر می شود [۱۵].

در ماشین کاری با سرعت بالا هنگامی که سرعت پیشروی، سرعت برشی و عمق برش به حالت تعادل رسیدند. حرارت باند برش کاهش یافته و برش بی دررو انجام می شود [۱۶].

روش های تجربی زیادی شامل: ترموکوپل، تکنیک تابش اشعه، روش های حرارتی جهت اندازه گیری درجه حرارت در ماشین کاری با سرعت بالا استفاده می شود. روش ترموکوپل در دو نوع شامل: ترموکوپل جاسازی شده و ترموکوپل دینامیکی می باشد [۱۷].

روش ترموکوپل جاسازی شده به دلیل معایبی از جمله: انجام خسته کننده فرایند حرارت ایزوترم، عدم واکنش سریع ترموکوپل با توجه به جرم و فاصله تماس [۱۸] و همچنین با توجه به هدف مطالعه که بررسی حرارت انتقالی به قطعه کار می باشد این روش جهت اندازه گیری دما مناسب نمی باشد. در روش اندازه گیری دما با ترموکوپل های دینامیکی اندازه گیری حرارت در سطح مشترک ابزار و براده به صورت آهسته انجام می شود. بنابراین روش فوق نیز جهت انجام کار تجربی مناسب نمی باشد [۱۹].

استفاده از دوربین مادون قرمز^{۱۱} مزایای زیادی نسبت به روش های حرارتی دارد. از این مزایا می توان واکنش سریع، عدم ایجاد عارضه در دما و مواد، امکان اندازه گیری روی مکان های با توان دسترسی مشکل، عدم تماس فیزیکی، را بیان کرد. ولی جهت اندازه گیری دمای انتقالی به قطعه کار با روش اندازه گیری از روی سطح (محل ماشین کاری) مناسب نمی باشد. زیرا دمای انتقالی به قطعه کار را پس از عبور ابزار نشان می دهد. همچنین احتمال قرار گرفتن براده در مسیر اشعه وجود دارد. این امور سبب عدم نمایش دمای واقعی می شود [۲۰].

۲- شرح مسأله

در این مطالعه هدف اندازه گیری دمای انتقالی به قطعه کار می باشد. با توجه به مشکلات سنسورها و روش های که در مقدمه بیان شد سنسورهای مقاومتی دما^{۱۲} بهترین نوع سنسور جهت انجام این مطالعه می باشند.

سنسورهای مقاومتی دما مزایای زیادی از جمله دقت بالا، توانایی اندازه گیری دما با توجه به شرایط مورد نیاز برای حل مسأله و تغییرات دما براساس تغییرات مقاومت الکتریکی سنسور را دارا می باشند.

اندازه گیری دمای انتقالی به قطعه کار در هنگام ماشین کاری سرعت بالا توسط سیستم الکترونیکی داده برداری مخصوص که ویژه این پروژه طراحی و ساخته شد انجام می شود.

جهت مونتاژ سنسورهای دما و همچنین نگهداری و موقعیت دهی قطعه کار نسبت به سنسورها سیستم فیکسچربندی مناسب شرایط این پروژه طراحی و ساخته شده است.

ترموکوپل شامل مشکلاتی می باشد. در مرحله اول کالیبراسیون دقیق ابزار و قطعه کار ضروری است و انجام این کار مشکل می باشد. سپس نتایج دمایی که ترموکوپل به ما گزارش می دهد به صورت پایین تر از دمای ماشین کاری یا متوسط دمای ماشین کاری می باشد.

بای و یانگ^۱ [۶] به بررسی دمای ایجاد شده در ماشین کاری با سرعت بالا پرداختند. آن ها دمای ایجاد شده در ماشین کاری را برحسب سرعت برشی و نرخ پیشروی بررسی کردند. اندازه گیری دما توسط دوربین مادون قرمز انجام شد. در این روش احتمال قرار گرفتن براده در مسیر اشعه وجود دارد.

استفاده از رنگ های حساس به حرارت توسط بیکی^۲ و ویدمر^۳ [۷] بررسی شد. این رنگ ها از دقت پایینی جهت اندازه گیری دما در ماشین کاری برخوردار می باشند. در مطالعات اخیر این رنگ ها جایی ندارند.

کوماندوری و هو^۴ [۸] در سال ۲۰۰۱ به بررسی روش های اندازه گیری دما پرداختند. آن ها توانستند مقاله کامل از روش های اندازه گیری دما در ماشین کاری با سرعت بالا ارائه دهند. آن ها مطرح کردند روش های تجربی زیادی شامل: ترموکوپل، تکنیک تابش اشعه، روش های حرارتی جهت اندازه گیری درجه حرارت برش استفاده می شود.

ساتر^۵ [۹] در سال ۲۰۰۳ برای اندازه گیری دمای انتقالی به قطعه کار از دوربین های سی سی دی^۶ استفاده کرد. استفاده از این نوع دوربین ها تحویلی در روش های اندازه گیری دما در ماشین کاری ایجاد کرد.

در سال ۲۰۱۲ داوودی و حسین زاده [۱۰] به بررسی دمای انتقالی به قطعه کار پرداختند. آنها با استفاده از دوربین مادون قرمز به انجام این کار اقدام کردند. آن ها با انجام آزمایش های متعدد اثبات کردند، دمای سطح قطعه کار بعد از عملیات ماشین کاری با افزایش سرعت برش تا حد بحرانی افزایش می یابد. سپس با عبور از حد بحرانی، دما کاهش می یابد.

تولید دما در فرایند ماشین کاری از سه منطقه در ناحیه تماس ابزار و قطعه کار ایجاد می شود. این مناطق به نام های منطقه تغییر شکل اول^۷، منطقه تغییر شکل دوم^۸ و منطقه تغییر شکل سوم^۹ شناخته می شوند. منطقه اول شامل تغییر شکل های پلاستیکی ناشی از صفحه برش می باشد. منطقه دوم شامل کارهای که جهت تغییر شکل براده ایجاد شده و منطقه سوم شامل اموری که جهت غلبه بر اصطکاک بین صفحه کنار ابزار و سطح ماشین کاری شده ایجاد می شود [۱۱، ۱۲].

برش فلزات به دمای بالای سطح مشترک براده و ابزار مرتبط می باشد. از این رو جنبه حرارتی فرایند برش دقت فرایند ماشین کاری را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد. فرایند تغییر شکل زیاد در یک منطقه بسیار کوچک متمرکز شده و ظاهر شدن حرارت در منطقه تغییر شکل، بر روی ابزار و قطعه کار تاثیر می گذارد [۱۳].

درجه حرارت بالای برش با توجه به تاثیر زیادی که بر سایش ابزار، عمر ابزار، کیفیت سطح قطعه کار، مکانیزم شکل گیری براده و تغییر شکل حرارتی ابزار برش دارد. به عنوان بزرگ ترین منبع خطا معرفی می شود [۱۴].

بنابراین اندازه گیری حرارت در فرایند ماشین کاری مهم ترین مسئله در

1. By and Yang
2. Bickei
3. Widmer
4. Komanduri and Hou
5. Sutter
6. CCD Charge-Coupled Devices
7. Primary deformation zone (PDZ)
8. Secondary deformation zone (SDZ)
9. Tertiary deformation zone (TDZ)

10. Adiabatic
11. Infrared
12. Resistance Temperature Detectors or Resistive Thermal Devices (RTD)

۳- روش حل

۱-۳- سیستم الکترونیکی

عملیات اندازه گیری دما در این پروژه توسط سیستم الکترونیکی داده برداری مخصوص که ویژه این پروژه طراحی و ساخته شد انجام شده است. این سیستم شامل ۷ عدد سنسور فیلم پلاتین یک عدد سنسور لیزری، یک مدار الکترونیک دیجیتال میکروکنترلی می باشد. سیستم اطلاعات خود به کامپیوتر ارسال و در نرم افزار متلب نتایج به صورت آنلاین مشاهده می شود. در نهایت نتایج در قالب دو فایل اکسل، یک فایل تصویری و یک فایل متنی ذخیره می شود.

سنسورهای دمای بکار رفته در این سیستم، سنسورهای فیلم پلاتین پی تی ۱۰۰ کلاس ای مدل CRZ-2005-100 ساخت شرکت شیونکو^۱ کشور ژاپن می باشد. خروجی سنسور به صورت تغییر مقاومت وابسته به دما می باشد. رابطه دما و مقاومت خروجی این سنسور مطابق رابطه (۱) است.

$$R = T(0.13985 + 100) \quad (1)$$

R مقاومت (Ω)
T دما (°C)

مقاومت خروجی سنسور در پل وتستون تبدیل به تغییر ولتاژ می گردد. تغییر ولتاژ توسط مبدل آنالوگ به دیجیتال ۱۰ بیتی به عدد تبدیل می گردد. پردازنده سیستم میکروکنترلر ۸ بیتی اتمگا ۳۲ از خانواده میکروکنترلرهای ای وی آر می باشد. سرعت پردازش میکروکنترلر در این پروژه ۱۱/۰۵۹۲ مگاهرتز می باشد. این میکروکنترلر دارای ۳۲ کیلوبایت حافظه فلش مخصوص کدهای برنامه، ۲۰۴۸ بایت حافظه رم اس دی مخصوص متغیرهای برنامه و ۵۱۲ بایت حافظه ای ای پی رام مخصوص داده های پایه و غیر فرار برنامه می باشد. شکل ۱ سیستم میکروکنترولی را نشان می دهد.



شکل ۱ سیستم میکروکنترولی

۲-۳- قطعه کار

قطعه کار از آلیاژ 90Cu-10Sn، تهیه شده و با دقت ابعادی و هندسی ۰/۰۵ میلی متر مطابق شکل ۲ ماشین کاری شده و جهت انجام آزمایش ماشین کاری با سرعت بالا آماده شده است.



شکل ۲ قطعه کار فسفر برنزی

1. Hayashi oenko

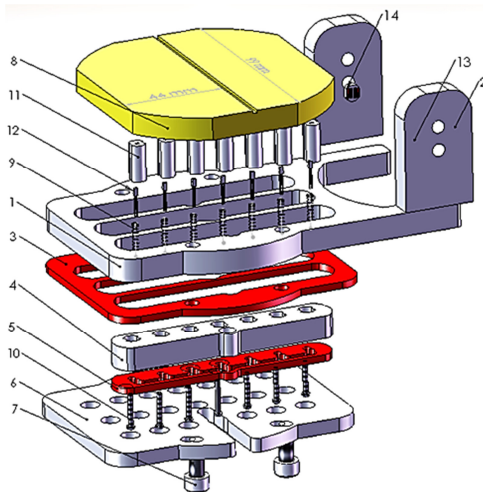
۳-۳- مجموعه فیکسچر

جهت مونتاژ سنسورها و همچنین نگهداری و موقعیت دهی قطعه کار نسبت به سنسورها سیستم فیکسچر بندی مناسب شرایط این پروژه طراحی و ساخته شده است. در شکل ۳ کلیه قطعات فیکسچر نمایش داده شده است. قطعات فیکسچر مطابق شکل ۳ عبارتند از: ۱- شاسی اصلی ۲- نگهدارنده فرستنده و گیرنده لیزر ۳- روکش شاسی اصلی ۴- سیلندر (مقر حرکت پیستون) ۵- کانال عبور سیم های سنسور دما ۶- نگهدارنده اصلی ۷- پیچ آن ۸- قطعه کار فسفر برنزی ۹- فنر ۱۰- پیچ چهار سو (مقر مونتاژ فنر) ۱۱- پیستون های مقر سنسور ۱۲- سنسورهای دما ۱۳- سنسور (فرستنده) ۱۴- سنسور لیزر (گیرنده)

۴-۳- شرایط آزمایش

در این مطالعه هدف اندازه گیری و آنالیز دما انتقالی به قطعه کار از طریق منطقه ماشین کاری می باشد. این نکته قابل ذکر می باشد که این دما با دمای منطقه برش تفاوت زیادی دارد.

جهت انجام آزمایش ماشین کاری سرعت برشی متغیر می باشد و تغییر آن به وسیله تغییر در سرعت دوران اسپیندل می باشد. جدول ۱ و ۲ پارامترهای ثابت و متغیر ماشین کاری را به ترتیب نشان می دهد.



شکل ۳ مجموعه فیکسچر

جدول ۱ پارامترها ثابت ماشین کاری

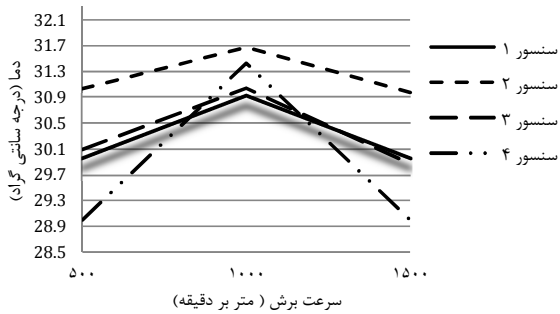
عنوان	واحد	مقدار
قطر ابزار	میلی متر	۱۴
سرعت پیشروی	میلی متر بر دور	۱/۲
طول ماشین کاری	میلی متر	۴۴

جدول ۲ پارامترهای متغیر ماشین کاری

عنوان	سرعت برش	سرعت دوران	عمق بار	واحد
سرعت برش	۵۰۰	۱۱۳۶۸	۰/۳	میلی متر
	۱۰۰۰	۲۲۷۳۹	۰/۳	میلی متر
	۱۵۰۰	۳۴۱۰۵	۰/۳	میلی متر

جدول ۴ دما ثبت شده در مرحله دوم ماشین کاری

واحد	متر بر دقیقه	درجه سانتی گراد			
پارامتر	سرعت برش	دما ۱	دما ۲	دما ۳	دما ۴
۵۰۰	سنسور ۱	۲۹/۹۶	۳۱/۰۳	۳۰/۰۹	۲۹
۱۰۰۰	سنسور ۱	۳۰/۹۲	۳۱/۶۸	۳۱/۰۴	۳۱/۴۳
۱۵۰۰	سنسور ۱	۲۹/۹۶	۳۰/۹۸	۲۹/۸۷	۲۹



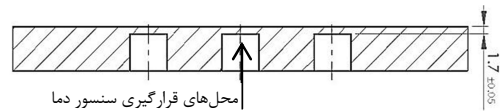
شکل ۷ نتایج مرحله دوم

اندازه‌گیری دمای انتقالی به قطعه‌کار انجام شده توسط سیستم الکترونیکی در مرحله اول نشان داد که با افزایش سرعت برشی و رسیدن آن به سرعت برشی ۱۰۰۰ متر بر دقیقه، مقدار حرارت منتقل شده به قطعه‌کار نیز افزایش می‌یابد و در این سرعت به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد و با گذشتن از آن شروع به کاهش می‌کند. در مرحله دوم نتایج نشان دادند که در هر سرعت برشی مقدار دمای سنسور اول تا چهارم تقریباً یکسان بوده به بیانی دیگر دمای انتقالی به قطعه‌کار در هر سرعت برشی از ابتدا تا انتها ماشین کاری در طول ۴۴ میلی‌متر یکسان می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

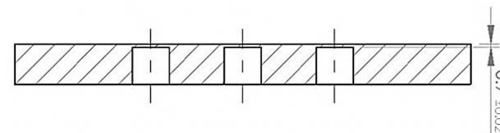
روش جدیدی جهت اندازه‌گیری حرارت در ماشین کاری با سرعت بالا در این مطالعه بررسی شده است. طراحی سیستم الکترونیکی و فیکسچرنبدی و بررسی دمای انتقالی به قطعه‌کار مهم‌ترین عوامل در این پژوهش می‌باشند. همان‌طور که در آزمایشات تجربی مشاهده شد، میزان حرارت منتقل شده به قطعه‌کار با افزایش سرعت برشی تا ۱۰۰۰ متر بر دقیقه افزایش می‌یابد و بعد از آن با افزایش بیشتر سرعت برشی این حرارت کاهش می‌یابد. بخش اعظم حرارت برش حرارت مناطق اول و دوم می‌باشد که از طریق براده از قطعه دور می‌شود، حال اگر سرعت حرکت براده کم باشد بخشی از آن به ابزار و قطعه‌کار منتقل می‌شود، اما اگر سرعت حرکت براده زیاد باشد حرارت فرصت انتقال به قطعه و ابزار را ندارد. وجود چهار عدد سنسور در طول مسیر ماشین کاری جهت یک آزمایش باعث شد که دما در کل مسیر ماشین کاری ثبت شود. در کل مسیر برای هر کدام از سرعت برش‌ها دمای تقریباً یکسانی توسط چهار عدد سنسور ثبت شد. بنابراین می‌توان بیان کرد در ماشین کاری با سرعت بالا با افزایش طول ماشین کاری تا ۴۴ میلی‌متر در هر سرعت برشی تغییری بر دمای انتقالی به قطعه‌کار ایجاد نمی‌شود. در قطعات حساس به تنش‌های حرارتی که لازم است در یک مرحله بدون توقف ابزار عملیات ماشین کاری آنها انجام شود این روش مفید می‌باشد. به طور خلاصه مزایای سیستم عبارتند از:

آزمایش‌های ماشین کاری در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول هدف‌های مورد نظر ایجاد شد و در مرحله دوم نتایج مرحله اول تایید شد. مرحله‌ی اول: فاصله سطح قطعه‌کار تا سنسور قبل از انجام آزمایش ماشین کاری ۱/۷ میلی‌متر مطابق شکل ۴ قرار داده شد و مقدار عمق برش ۱ میلی‌متر انتخاب شد.



شکل ۴ نمایش فاصله سطح ماشین کاری تا سنسور دما

مرحله دوم: فاصله سطح قطعه‌کار تا سنسور قبل از انجام آزمایش ماشین کاری ۰/۷ میلی‌متر مطابق شکل ۵ قرار داده شد و مقدار عمق برش ۰/۳ میلی‌متر انتخاب شد.



شکل ۵ نمایش فاصله سطح ماشین کاری تا سنسور دما

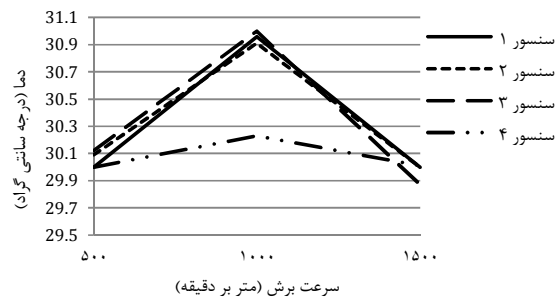
۴- تفسیر و تحلیل نتایج

در جدول ۳ درجه حرارت‌های ثبت شده در عمق بار ۱ میلی‌متر (مرحله اول) نمایش داده می‌شود.

جدول ۳ دما ثبت شده در مرحله اول ماشین کاری

واحد	متر بر دقیقه	درجه سانتی گراد			
پارامتر	سرعت برش	دما ۱	دما ۲	دما ۳	دما ۴
۵۰۰	سنسور ۱	۳۰	۳۰/۰۹	۳۰/۱۲	۳۰
۱۰۰۰	سنسور ۱	۳۰/۹۶	۳۰/۹۱	۳۱	۳۰/۲۳
۱۵۰۰	سنسور ۱	۳۰	۳۰	۲۹/۸۷	۳۰/۰۱

در نمودار شکل ۶ مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت برش، دما تا حد بحرانی افزایش می‌یابد و بعد از آن شروع به کاهش می‌کند.



شکل ۶ نتایج مرحله اول

در جدول ۴ و شکل ۷ نتایج ثبت شده در عمق بار ۰/۳ میلی‌متر (مرحله اول) نمایش داده می‌شود.

- [19] G. Herbert, The measurement of cutting temperatures, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, VOL. 1, PP. 289-329, 1926.
- [20] H. Hajihoseinzadeh, G. Paygane, B. Davoudi, Numerical and experimental study of the generated heat in high speed machining of CuZn40Al12 alloy, *12th Iranian manufacturing conference*, 2011. (In persian)

- ۱- استفاده از سنسورهای مقاومتی دما و طراحی سیستم الکترونیکی با قابلیت ثبت دما در هر ۳۰ میلی ثانیه
- ۲- اندازه‌گیری دما در چهار نقطه در طول ماشین کاری
- ۳- اندازه‌گیری دما در زیر سطح در فاصله ۰/۷ و ۰/۴ میلی متری سطح ماشین کاری
- ۴- امکان اندازه‌گیری دما در هنگام عملیات برش نه بعد از عملیات برش
- ۵- طراحی سیستم فیکسچربندی با دقت بالا جهت اتصال سنسورها به زیر سطح

۶- سپاسگزاری

با تشکر فراوان از آقای مهندس عسگری مدیریت محترم شرکت آوند گستر آذرمان و آقای مهندس بنیاد که انجام تست تجربی با مجوز و پیگیری آن‌ها انجام شد.

۷- مراجع

- [1] H. Schulz, The history of high-speed machining, *Revista de Cientia & Technologia*, Vol. 13, pp. 9-18, 1999.
- [2] B. Bossmanns, J. Tu, Conceptual Design of Machine Tool Interfaces for High-Speed Machining, *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 4, No. 1, pp. 16-27, 2002.
- [3] S. J. Park, D. H. Kim, C. M. Lee, A study determining the optimal machining conditions for a 40,000 rpm ultra high speed spindle system, *Precision Engineering*, Vol. 36, No. 3, pp. 451-457, 2012.
- [4] Z. Wang, M. Rahman, High-Speed Machining, *Comprehensive Materials Processing*, Vol. 11, pp. 221-253, 2014.
- [5] M. B. Da Silva, J. Wallbank, Cutting temperature prediction and measurement methods a review, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 88, No. 3, pp. 195-202, 1999.
- [6] H. Ay, W. J. Yang, Heat transfer and life time of metal cutting tools in turning, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 41, No. 3, pp. 613-623, 1998.
- [7] E. Bicki, W. Windmer, the temperature on the cutting edage, *ibdustrial organization*, 1954.
- [8] R. Komanduri, Z. B. Hou, A review of the experimental techniques for the measurement of heat and temperatures generated in some manufacturing processes and tribology, *Tribology International*, Vol. 34, No. 10, pp. 653-682, 2001.
- [9] G. Sutter, L. Faure, A. Moliniari, N. Ranc, V. Pina, An experimental technique for the measurement of temperature fields for the orthogonal cutting in high speed machining, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 43, No. 7, pp. 671-678, 2003.
- [10] B. Davoudi, H. Hosseinzadeh, A new method for heat measurement during high speed machining, *Measurement*, Vol. 45, No. 8, pp. 2135-2140, 2012.
- [11] V. Norouzfard, M. Hamed, Experimental determination of the tool-chip thermal contact conductance in machining process, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 84, pp. 45-47, 2014.
- [12] G. List, G. Sutter, A. Bouthiche, Cutting temperature prediction in high speed machining by numerical modelling of chip formation and its dependence with crater wear, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 54-55, pp. 1-9, 2012.
- [13] N. A. Abukhshim, P. T. Mativenga, M. A. Sheikh, Heat generation and temperature prediction in metal cutting: a review and implications for high speed machining, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 46, No. 7-8, pp. 782-800, 2006.
- [14] Y. Takeuchi, M. Sakamoto, T. Sata, Improvement in the working accuracy of an NC lathe by compensating for thermal expansion, *Precision Engineering*, Vol. 4, No. 1, pp. 19-24, 1982.
- [15] G.G. Ye, Y. Chen, S. F. Xue, L. H Dai, Critical cutting speed for onset of serrated chip flow in high speed machining, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 86, pp. 18-33, 2014.
- [16] C. Wang, Y. Xie, L. Zheng, Z. Qin, D. Tang, Y. Song, Research on the Chip Formation Mechanism during the high-speed milling of hardened steel, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 79, pp. 31-48, 2014.
- [17] R. C. Dewes, E. Ng, K. S. Chua, P. G. Newton, D. K. Aspinwall, Temperature measurement when high speed machining hardened mould/die steel, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 92-93, pp. 293-301, 1999.
- [18] P. Kwon, T. Schiemann, R. Kountanya, An inverse estimation scheme to measure steady-state tool-chip interface temperatures using an infrared camera, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 41, No. 7, pp. 1015-1030, 2001.