مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹٤، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ۱۹-۲۳

مجموعه مقالات کنفرانس ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ و ۱٤ آبان ۱۳۹٤

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

آزمایشات تجربی و شبیه‌سازی سه بعدی فرآیند ماشین‌کاری اینکونل ۷۱۸ به منظور بررسی بارهای حرارتی و عمق لایه تغییر ساختار یافته

فرشید جعفریان[۱*]، حمید سلیمانی[۲]،حسین امیرابادی[۳]،حامد سلیمانی[۲]، روح ا... سلیمانی[۲]

۱- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران
۲- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک ساخت و تولید، دانشگاه آزاد اسلامی واحد الیگودرز، الیگودرز
۳- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند
*تهران، صندوق پستی ۴۴۶۰۰۰۷۰ ، farshid.jafarian@ymail.com

چکیده

گسترش پارامترهاو بارهای حرارتی در حین فرآیند ماشین‌کاری منجر به کاهش کیفیت سطح قطعه شده و سایش سریع و تعویض زودهنگام ابزار را در پی دارد. لذا بهینه‌سازی بارهای حرارتی در ماشین‌کاری همواره از اهمیت بسزایی برخوردار بوده است. از طرفی ایجاد عمق لایه تغییر ساختاریافته مناسب، سبب بهبود خواص مکانیکی و متالورژیکی و افزایش عمر خستگی قطعه‌کار می‌شود. اما از آنجایی که انجام مطالعات تجربی در زمینه عملیات ماشین‌کاری امری هزینه‌بر، وقت‌گیر و دارای محدودیت می‌باشد، از روش‌های اجزای محدود به عنوان ابزاری کارآمد جهت انجام مطالعات خود در این تحقیق بهره گرفتیم. در بخش اول این مطالعه، ماشین‌کاری سوپرآلیاژ اینکونل ۷۱۸ به وسیله آزمایشات تجربی با تعداد ۱۰ نمونه آزمایش با عمق برش، سرعت برش و نرخ تغذیه در سه سطح انجام شد. از نتایج آزمایشات تجربی جهت شبیه‌سازی سه‌بعدی فرآیند براده‌برداری با استفاده از نرم افزار تجاری دی‌فرم سه بعدی در حالت‌های متفاوت سرعت برشی و نرخ پیشروی وعمق برش استفاده گردید. و در ادامه شبیه‌سازی، تاثیر پارامترهای شعاع لبه‌ابزار، شعاع نوک ابزار و اثر مدل ماده روی پارامترهای حرارتی و عمق لایه تغییر ساختار یافته مورد بررسی قرار گرفت. جهت بهبود دقت فرآیند شبیه‌سازی، پارامترهای ورودی شامل شرایط اصطکاکی، ضریب انتقال حرارت به گونه‌ای تعیین شد که کمترین خطای شبیه‌سازی با نتایج تجربی حاصل گردد. در نهایت با استفاده ازنتایج آزمایشات تجربی و شبیه‌سازی اجزای محدود، تاثیر پارامترهای مختلف ماشین‌کاری بر دمای قطعه‌کار وعمق لایه تغییر شکل یافته ماشین‌کاری شده به‌دست آمد.

کلید واژگان: شبیه‌سازی اجزای محدود، بارهای حرارتی، عمق لایه تغییر ساختار یافته

Experimental investigation and 3D simulation of machining of Inconel 718 for evaluation of thermal loads and depth of the affected layer

Farshid Jafarian[1*], Hamid Soleimani[2], Hossein Amirabadi[3], Hamed Soleimani[2], Rohallah Soleimani[2]

1- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Tehran, Iran
2- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Aligudarz Branch, Aligudarz, Iran
3- Department of Mechanical Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
* P.O.B. 44600070, Tehran, Iran, Farshid.jafarian@ymail.com

ABSTRACT

Distribution of thermal loads during the machining process leads to reducing the surface quality and rapid tool wear. Therefore, optimization of thermal loads in machining has always been important. On the other hand depth of the restructured layer can improve mechanical and metallurgical properties and of the workpiece. Since experimental investigation in machining operations is expensive and time-consuming procedure, finite element method is also used as an efficient tool in this regard. Therefore, at the first part of this study, experimental machining tests was carried on Inconel 718 alloy at the different cutting depth, cutting speed and the feed rate to measure machined surface temperature. The results of experiments were used to simulate machining process using commercial software of DEFORM-3D-V10. After calibration and validation of the results of 3D simulation with corresponding experiments, the effect of tool edge radius, tool nose radius, and workpiece hardness was investigated. To improve the accuracy of the simulations, heat transfer coefficient was calibrated by experimental result of temperature and it was defined as function of cutting parameters. Finally, the effect of machining parameters was investigated on the depth of the recrystallized layer using the critical strain criterion.

Keywords: Depth of the Affected Layer , Finite Element Simulation, Thermal Loads.

۱- مقدمه

آلیاژهای پایه اینکونل، دربرگیرنده خواص منحصربه فردی هستند. که محدوده وسیعی از ترکیب‌ها و خواص را در بر می‌گیرند قیمت کم و در دسترس بودن این آلیاژ در کنار خواص مکانیکی عالی در دماهای بالا، آن را به یک آلیاژ ایده‌آل برای محور توربین‌های گازی و استفاده در صنایع هوافضا تبدیل کرده است. ماشین‌کاری یکی از مهمترین فرآیندهای تولید می‌باشد و همواره ضرورت تحقیق در این زمینه احساس شده است [۱]. گستردگی و اهمیت موضوع از یک سو و محدودیت‌های روش‌های تجربی از سوی دیگر سبب شده است که از روش اجزای محدود جهت شبیه‌سازی فرآیند براده‌برداری بهره گرفته شود [۲].

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

F. Jafarian, H.Soleimani, H.Amirabadi, H. Soleimani, R. Soleimani, Experimental investigation and 3D simulation of machining of Inconel 718 for evaluation of thermal loads and depth of the affected layer, *Modares Mechanical Engineering*, *Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 19-13, 2015 (in Persian فارسی)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-17]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.60.0]

پارامترهای تنظیمی ورودی[1] در فرآیند براده‌برداری شامل مدل ترکیبی ماده (تنش سیلان ماده)، شرایط اصطکاکی و دمایی در محل تماس ابزار و براده و معیار شکست ماده تاثیر بسزایی بر دقت و صحت نتایج مدل اجزای محدود ارائه شده دارند. وجود بارهای حرارتی ناشی از فرآیند ماشین‌کاری و عمق لایه تغییر ساختار یافته به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر خواص فیزیکی و عمرکاری قطعه می‌باشد. در واقع در فرآیند ماشین‌کاری بارهای حرارتی ذخیره شده در قطعه باعث تغییرات متالورژیکی و ساختاری سطح قطعه‌کار می‌شود. همچنین این تغییرات سبب ذخیره تنش‌های پسماند کششی در لایه‌های سطحی قطعه‌کار شده که سبب کاهش عمر خستگی قطعات ماشین‌کاری می‌شود. لذا ماشین‌کاری این سوپرآلیاژ از اهمیت و حساسیت به مراتب بالاتری برخوردار بوده و کاهش عملکرد این آلیاژ در اثر ذخیره‌ی تنش‌های حرارتی و تغییرات متالورژیکی نامطلوب، عواقب خطرناکی را به دنبال خواهد داشت.در مورد شرایط تماسی بین ابزار و قطعه کار، آمبرلو و فیلیس در سال ۲۰۰۷ تحقیقات گسترده ای انجام دادند آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ضریب انتقال حرارت بین ابزار و قطعه‌کار با پارامترهای تراش-کاری، نظیر سرعت تراش‌کاری، نرخ پیشروی و عمق برش ابزار، رابطه مستقیم دارند به گونه‌ای که افزایش هر کدام از موارد ذکر شده، سبب افزایش ضریب انتقال حرارت می‌شود.

از طرفی عمق لایه تغییر شکل یافته، اگر متاثر از بارهای مکانیکی باشد اثرات مطلوبی دارد. هر چقدر این عمق بیشتر باشد نشان دهنده نیروی مکانیکی بالاتر است که سبب اعمال تنش فشاری در سطح شده که در ماشین‌کاری بسیار مفید است. با توجه به سطحی بودن پارامترهای حرارتی ناشی از ماشین‌کاری، یکی از مناسب‌ترین و دقیق‌ترین روش جهت اندازه‌گیری این پارامترهای حرارتی استفاده از دوربین حرارتی می‌باشد. در تحقیق صورت گرفته، با استفاده از آزمایشات تجربی و شبیه‌سازی اجزای محدود تاثیر ترکیبی پارامترهای ورودی در ماشین‌کاری سوپرآلیاژ اینکونل ۷۱۸ بر روی دما و عمق لایه تغییر ساختار یافته بطور گسترده ای مورد بررسی قرار گرفت.

۲- آزمایشات تجربی

قطعه‌کار استفاده شده دراین آزمایش‌ها، سوپر آلیاژ اینکونل ۷۱۸ می‌باشد. قبل از انجام عملیات ماشین‌کاری جهت حصول سختی موردنظر، قطعات تحت عملیات حرارتی solution و aging قرار گرفتند و به سختی 45 HRC رسیدند. ابزار تنگستن کار باید از شرکت سندویک با مشخصه MG 150604PM با زاویه راس ۳۵ درجه، شعاع نوک ابزار ۴ میلی‌متر، زاویه براده ۷ درجه، زاویه آزاد ۵ درجه و زاویه تمایل ۱ درجه تهیه شدند.. ماشین تراش کنترل عددی با توان اسمی 5kw و سرعت دورانی ۱۴۵۰rpmجهت ماشین-کاری استفاده شد. در این تحقیق اثر پارامترهای تنظیمی ماشین ابزار هر کدام در چهار سطح متناسب با جدول ۲ در نظر گرفته و مورد بررسی قرار گرفتند.

جدول ۲ پارامترهای ماشین‌کاری در آزمایش تجربی

اندازه پارامتر	پارامتر مورد بررسی
۷۸، ۱۰۴، ۱۳۰، ۱۵۶	سرعت برشی (دور بر دقیقه)
۰/۰۲، ۰/۰۴، ۰/۰۶، ۰/۰۸	نرخ پیشروی (میلی‌متر بر دور)
۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۲۵	عمق برش (میلی‌متر)

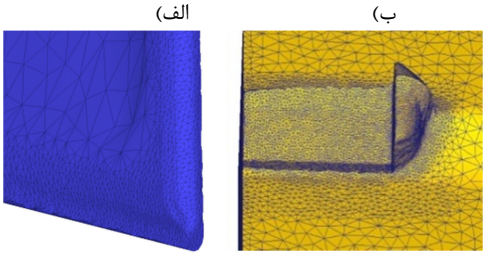
در این تحقیق از ۱۰ عدد نمونه استوانه‌ای با قطر و طول به ترتیب ۴۰ و۶۰ میلی‌متر استفاده شده است. در حین انجام عملیات ماشین‌کاری، به منظور اندازه‌گیری دمای ماشین‌کاری، از دوربین CCD استفاده شد. با استفاده از تنظیمات آزمایشگاهی امکان اندازه گیری حداکثر دما در حین ماشین‌کاری وجود نداشت. از این‌رو میانگین دمای سطح قطعه‌کار در حین فرآیند اندازه گیری شد . بعد از اندازه‌گیری دما برای تمامی نمونه ها، نتایج بدست آمده به همراه پارامترهای ماشین کاری متناظرشان در جدول ۳ مشخص شده است.

۳- شبیه‌سازی اجزای محدود

جهت شبیه‌سازی سه بعدی فرآیند ماشین‌کاری سوپر آلیاژ انیکونل ۷۱۸ از نرم‌افزار دی فرم سه بعدی[2] استفاده شد. جهت شبیه‌سازی فرآیند براده برداری، قطعه‌کار به صورت ماده پلاستیک و ابزار یک جسم صلب در نظر گرفته شده است. این نرم افزار از روش لاگرانژی ارتقاء یافته بهره گرفته است که جهت ارائه شبیه‌سازی، مش‌زنی مجدد یا تطبیقی به‌صورت خودکار توسط نرم‌افزار صورت می‌پذیرد. در این روش، مش اجزای محدود در نزدیکی محل تماس ابزار و قطعه‌کار با تراکم و فشردگی بالا می‌باشد و در نقاط دورتر مش-ها بزرگتر می‌شوند. این امر دقت محاسبات را در محل تماس افزایش می‌دهد. هندسه لبه ابزار دقیقا توسط روش مهندسی معکوس انجام شد. شبیه‌سازی سه بعدی به صورت واقع گرایانه مدل شده است و اثرشعاع نوک ابزار و پیشروی ابزار در مدل‌سازی لحاظ شد. در شکل (۲) نمایی از قطعه‌کار و ابزار که در محل تماس با چگالی بالای مش در شبیه‌سازی، نشان داده شده است. پارامترهای ورودی شبیه‌سازی شامل مدل ماده، شرایط اصطکاکی و ضریب انتقال حرارت و غیره تاثیر زیادی در نتایج شبیه‌سازی اجزای محدود فرآیند براده‌برداری دارد. تاکنون ثوابت مدل جانسون-کوک مختلفی برای آلیاژ

جدول ۳ دمای اندازه‌گیری شده در آزمایش تجربی

شماره آزمایش	سرعت برشی (دور بر دقیقه)	نرخ پیشروی (میلی‌متر بر دور)	عمق نفوذ (میلی‌متر)	دما (سانتی‌گراد)
۱	۶۲۰	۰/۰۴	۰/۱	۲۰۳
۲	۸۲۷	۰/۰۴	۰/۱	۲۵۷
۳	۱۰۳۳	۰/۰۴	۰/۱	۳۲۷
۴	۱۲۴۰	۰/۰۴	۰/۱	۳۲۰
۵	۸۲۷	۰/۰۲	۰/۱	۴۶۴
۶	۸۲۷	۰/۰۶	۰/۱	۲۷۸
۷	۸۲۷	۰/۰۸	۰/۱	۳۲۳
۸	۸۲۷	۰/۰۴	۰/۱۵	۴۲۰
۹	۸۲۷	۰/۰۴	۰/۲	۴۴۶
۱۰	۸۲۷	۰/۰۴	۰/۲۵	۵۱۳



شکل ۲ استفاده از چگالی بالای مش درالف) ابزار و ب) قطعه‌کار در محل تماس

1.Controllable input parameters

2. Deform 3D V10

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-17]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.60.0]

اینکونل ۷۱۸ با سختی ۴۵ راکول c توسط محققین ارائه شده است. در تحقیقی که توسط جعفریان و همکاران انجام شد نتایج شبیه‌سازی نیروهای ماشین‌کاری، هندسه‌ی براده و حداکثر دمای ماشین‌کاری با نتایج تجربی مقایسه شد و مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق به منظور افزایش دقت و در نهایت بهترین مدل ماده جهت شبیه‌سازی فرآیند ماشین‌کاری اینکونل ۷۱۸ شناسایی شد [۳]. در این مدل ماده با اعمال برخی اصلاحات در نهایت ثوابت F, G به معادله‌ی جانسون-کوک لرنتزون اضافه گردید. در روابط (۱) و (۲) معادله‌ی مدل ماده مبتنی بر سختی برای سوپرآلیاژ اینکونل ۷۱۸ با سختی اولیه ۴۵HRC معرفی شده است.

$$F(HRC) = 2.008(HRC^2) - 141.97HRC + 2305.4 \quad (۱)$$
$$G(HRC) = -0.292(HRC^2) + 28.72HRC - 700.3$$

$$\sigma = (A + F + G\varepsilon + B\varepsilon^n)\left(1 + C\ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)\right)\left(1 - \left(\frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}}\right)^m\right) \quad (۲)$$

شرایط اصطکاکی نیز همانند تحقیق اوزل روی سوپرآلیاژ اینکونل ۷۱۸ در نظر گرفته شد.در ادامه، شبیه‌سازی با پارامترهای ماشین‌کاری (a_p- a_f- v_c) مطابق شرایط آزمایش تجربی ادامه یافت [۴].

۴- کالیبره کردن پارامترهای ورودی

جهت کالیبره کردن ضریب انتقال حرارت، اثر آن به روی دمای ماشین‌کاری مورد بررسی قرار گرفت و با نتایج تست‌های تجربی مطابق جدول ۴ مقایسه گردید.

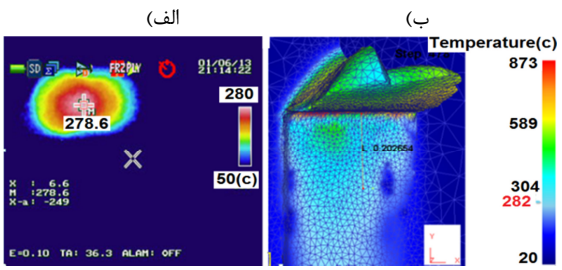
پس از انجام حدود ۹۰ شبیه‌سازی، پارامترهای ضرایب کلمب و اصطکاک به ترتیب ۰/۵ و ۰/۹ و مدل ماده با سختی ۴۵ راکول C و مش ۶۰۰۰۰ برای ابزار و مش ۱۲۰۰۰۰ برای قطعه‌کار و ضریب انتقال حرارت 10^6 بدست آمد خطای حاصل از این شبیه‌سازی در مقایسه با تست تجربی زیر ۱ درصد می‌باشد. شکل ۳ بیانگر این موضوع می‌باشد.

۵- نتایج شبیه سازی اجزای محدود

از این تست با پارامترهای ماشین‌کاری مذکور، جهت ادامه شبیه‌سازی

جدول۴ مقایسه اثر ضریب انتقال حرارت بر روی نرخ تغییرات دما در شبیه‌سازی جهت کالیبره کردن و اعتبارسنجی شبیه‌سازی و انتخاب بهترین پارامترها

شماره آزمایش	ضریب انتقال حرارت	ضریب کلمب	ضریب اصطکاک	دمای شبیه سازی	دمای تجربی	درصد خطا
۶	۱۰۰۰	۰/۵	۰/۹	۳۹۴	۲۷۸	۴۲/۷۲
۶	۱۰۰۰۰	۰/۵	۰/۹	۳۵۴	۲۷۸	۲۷/۳۳
۶	۱۰۰۰۰۰۰	۰/۵	۰/۹	۲۸۲	۲۷۸	۱/۴۳



شکل ۳ بررسی اثر ضریب انتقال حرارت بر روی نرخ تغییرات دما در تست ۶ با روش، الف) آزمایش تجربی، ب) شبیه سازی با ضریب انتقال حرارت 10^6

استفاده شد. در ادامه اثر پارامترهای دیگر ماشین‌کاری، همانند جدول ۵، بردمای قطعه ماشین‌کاری شده، شبیه‌سازی گردید.

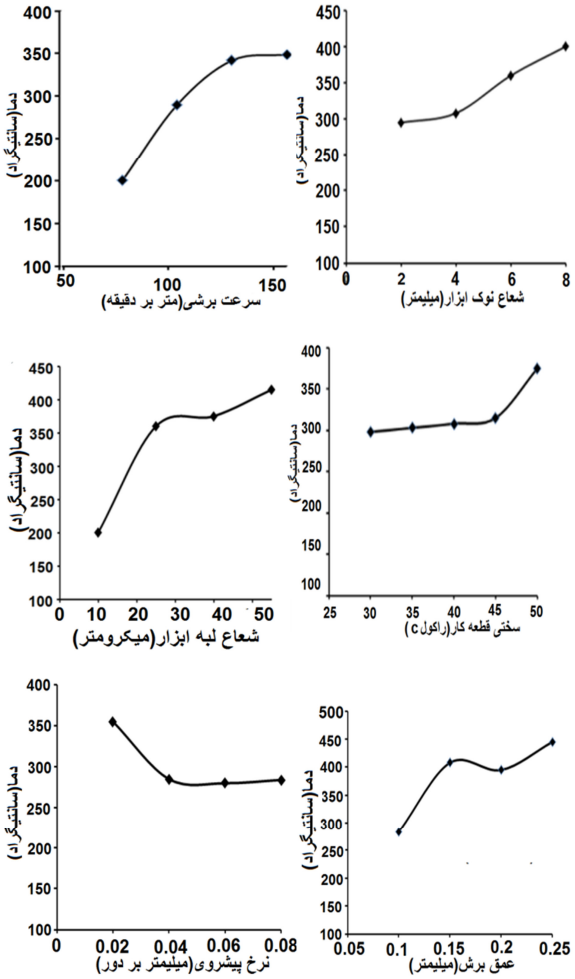
مطابق با بهترین پارامترهای شبیه‌سازی بدست آمده در بخش قبل، سرعت برش و نرخ پیشروی و عمق برش ثابت و به ترتیب برابر با ۱۰۴ و ۰/۰۶ و ۰/۱ لحاظ شده است. شکل ۴ اثر پارامترهای مذکور بر دمای شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

۶- شبیه سازی عمق لایه تغییر شکل یافته

لایه تغییر شکل یافته در عمق، در فرآیند ماشین‌کاری، در اثر کرنش بوجود آمده در قطعه‌کار که به یک حد بحرانی می‌رسد که اصطلاحا کرنش بحرانی[1] (ε_{Cr})

جدول۵ پارامترهای مختلف مورد بررسی در شبیه‌سازی

اندازه پارامتر	پارامتر مورد بررسی
۲, ۴, ۶, ۸	شعاع نوک ابزار (میلی‌متر)
۱۰ , ۲۵ , ۴۰ , ۵۵	شعاع لبه ابزار (میکرومتر)
۳۰ , ۳۷ , ۴۳ , ۵۰	سختی (راکول C)



شکل ۴ اثر پارامترهای ماشین‌کاری بر دمای قطعه

1. Critical Strain

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-17]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.60.0]

می‌شود، به‌وجود می‌آید. در این تحقیق از معادله‌ی کرنش بحرانی که توسط سویی[1] و همکارانش در شبیه‌سازی فرآیند فورج آلیاژ اینکونل ۷۱۸ بکار گرفته شد، استفاده گردید [۵]. و با رابطه‌ی (۳) نشان داده شده است.

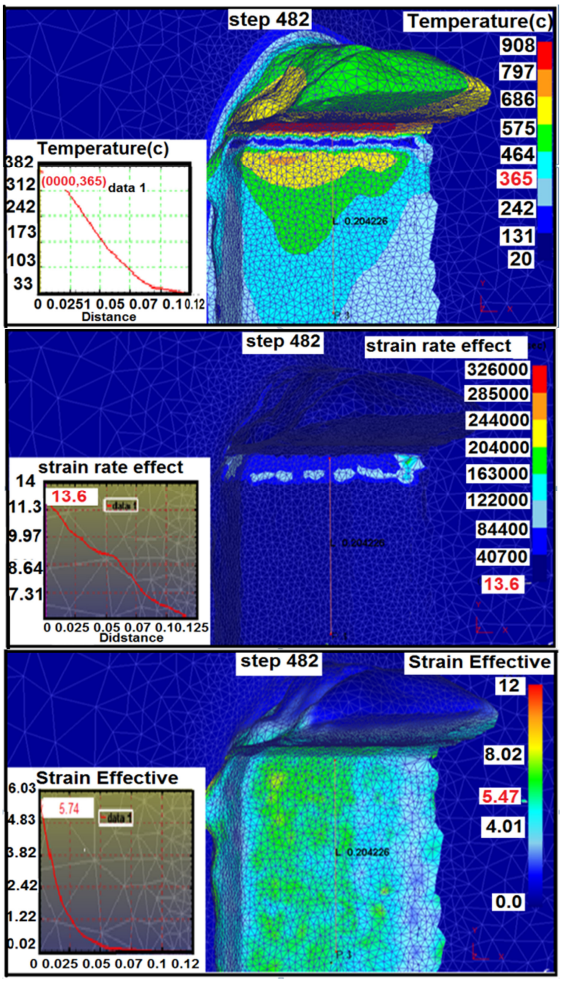
$$\varepsilon_{Cr} = \left(0.00234 \times \dot{\varepsilon}^{0.1293} \times \exp[\frac{5759.863}{T+273}]\right)/c \qquad (۳)$$

در هر مرحله از شبیه‌سازی با داشتن دما و نرخ کرنش، مقادیر پارامتر زنر-هالمن و کرنش بحرانی محاسبه می‌گردند. در شکل ۹، یکی از شبیه‌سازی-های انجام شده، مورد بررسی قرار گرفته و نحوه اندازه گیری دما، کرنش و نرخ کرنش موثر جهت رسم نمودار تغییر کرنش مکانیکی در عمق قطعه‌کار، با فاصله ۰/۲ میلی‌متر از لبه براده مشخص شده است.

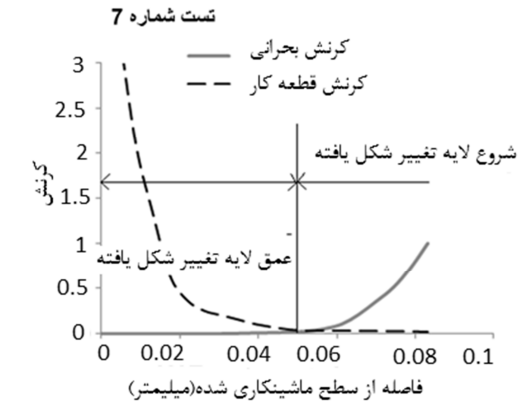
در شکل ۱۰ نمونه‌ایی از تغییرات کرنش و کرنش بحرانی در شبیه‌سازی ID_7 در سطح زیرین قطعه‌ی ماشین‌کاری شده نشان داده شده است.

۷- اثر پارامترهای ماشین‌کاری بر عمق لایه تغییرشکل یافته در شبیه‌سازی

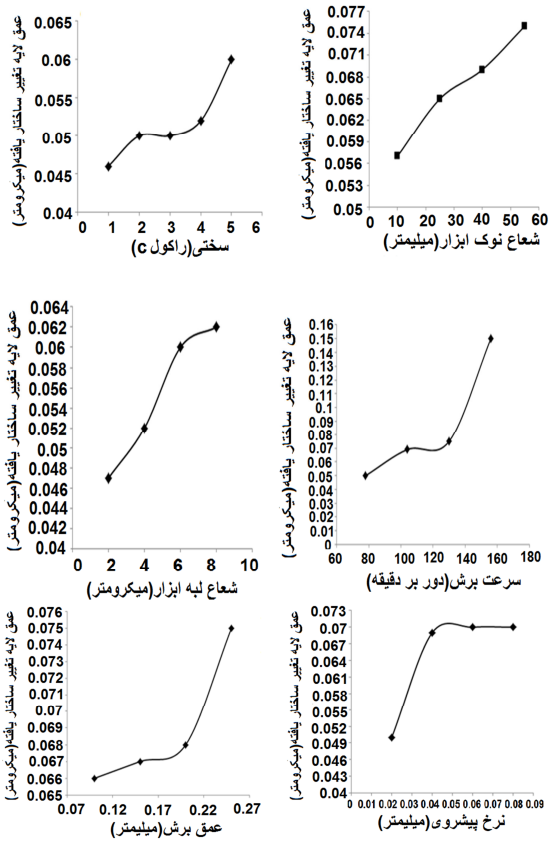
با انجام شبیه‌سازی، تاثیر پارامترهای ماشین‌کاری، همانند پارامترهای کالیبره شده در بخش قبلی، تاثیر موارد مذکور بر چند نمونه تغییر عمق لایه تغییر شکل یافته، برای نمونه در شکل ۱۱ نشان داده است.



شکل۹ نحوه اندازه‌گیری دما و نرخ کرنش و نرخ کرنش موثرجهت رسم نمودار تغییر کرنش مکانیکی در عمق قطعه‌کاردر شبیه‌سازی با فاصله ۰/۲ میلی‌متر از لبه براده



شکل ۱۰ نمودار تغییرات کرنش و کرنش بحرانی



شکل ۱۱ نمودار اثر تغییر سختی قطعه‌کار (مدل ماده)، نرخ پیشروی ابزار، تغییر شعاع لبه ابزار و شعاع نوک ابزارو سرعت برش در تغییرات عمق لایه تغییر شکل یافته در شبیه‌سازی فرآیند ماشین‌کاری

۸- جمع‌بندی

از آن‌جا که فرآیند ماشین‌کاری منجر به ذخیره‌ی تنش‌های حرارتی در سطح قطعات می‌گردد و با توجه به کاربرد خاص سوپرآلیاژ اینکونل ۷۱۸، ماشین-کاری این سوپرآلیاژ از اهمیت و حساسیت به مراتب بالایی برخوردار بوده و کاهش عمر این آلیاژ در اثر ذخیره‌ی تنش‌های حرارتی و متالورژیکی نامطلوب، عواقب خطرناکی را به دنبال خواهد داشت. از طرفی عمق لایه تغییر شکل یافته ناشی از بارهای مکانیکی پس از ماشین‌کاری باید به اندازه‌ی

1. Suiet al

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-17]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.60.0]

کافی بزرگ باشد. هر چقدر این عمق بیشتر باشد نشان دهنده نیروی مکانیکی بالاتر است که سبب اعمال تنش فشاری در سطح شده که در ماشین‌کاری بسیار مفید است از آن‌جا که پارامترهای ماشین‌کاری بطور مستقیم بر میزان پارامترهای حرارتی و عمق لایه تغییر شکل یافته اثر گذار هستند، نیازمند مطالعه‌ی جامع و کاملی در این راستا می‌باشد.

لازم به ذکر است که تاکنون مطالعه‌ی جامعی جهت بررسی پارامترهای حرارتی و عمق لایه تغییر شکل یافته در ماشین‌کاری اینکونل ۷۱۸ صورت نپذیرفته است. لذا در این تحقیق با استفاده از آزمایشات تجربی و شبیه سازی اجزای محدود به اندازه‌گیری پارامترهای حرارتی و عمق لایه تغییر شکل یافته در فرآیند تراش‌کاری سوپر آلیاژ اینکونل ۷۱۸ پرداخته شد. با توجه به سطحی بودن پارامترهای حرارتی ناشی از ماشین‌کاری، یکی از مناسب‌ترین و دقیق‌ترین روش جهت اندازه‌گیری پارامترهای حرارتی، استفاده از دوربین حرارتی می‌باشد که تقریبا در اکثر مطالعات صورت پذیرفته در این زمینه از روش مذکور استفاده شده است. که در نهایت با صرف زمان نسبتا طولانی، کسب اطلاعات فنی مناسب و با رعایت استانداردهای موجود این امر با دقت مطلوب محقق گردید. در ادامه با استفاده از شبیه‌سازی اجزای محدود به بررسی اثر پارامترهای ماشین‌کاری بر خروجی‌های مذکور بصورت گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفت و منجر به استخراج نتایج بهتر و منسجم‌تری نسبت به آزمایشات تجربی گردید.

۹- خلاصه‌ی نتایج

نتایج آزمایشات اندازه گیری درجه حرارت قطعه کار ماشین‌کاری شده، نشان داد که دوربین حرارتی جهت اندازه‌گیری دما یکی از مناسب‌ترین روش ها می‌باشد. دلیل این امر، بخاطر قدرت و دقت پردازش این دستگاه جهت اندازه‌گیری دما و نیز قابلیت نصب آن در نقاط مختلف دستگاه تراش می‌باشد.

درجه حرارت قطعه‌کار ماشین‌کاری شده، در ۱۰ نمونه تحت شرایط مختلف ماشین‌کاری شامل سرعت برشی در محدوده‌ی ۱۲۴۰-۶۲۰ دور بر دقیقه، نرخ پیشروی در محدوده‌ی ۰/۰۸-۰/۰۲ میلی‌متر بر دور و عمق برش در محدوده‌ی ۰/۲۵-۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. نتایج بدست آمده نشان داد که در تمامی حالات وضعیت درجه حرارت قطعه‌کار در سطح نمونه‌ها بین ۲۰۳ تا ۵۱۰ سانتی‌گراد می‌باشد.

به منظور شبیه‌سازی هرچه دقیق تر فرآیند براده برداری، مدل جانسون-کوک M1 به‌عنوان مناسب‌ترین مدل ماده جهت شبیه‌سازی فرآیند براده برداری سوپر آلیاژ اینکونل ۷۱۸ در نظر گرفته شد.

دقت نتایج در شبیه‌سازی ماشین‌کاری مواد سخت همواره به‌عنوان یک چالش در جامعه‌ی علمی به‌شمار آمده است. در این تحقیق بعد از انتخاب بهترین مدل ماده، پارامترهای تنظیمی در شبیه‌سازی شامل میزان مش قطعه کار و ابزار، شرایط اصطکاکی و حرارتی در محل تماس ابزار و براده طی فرآیند کالیبره کردن و سپس اعتبارسنجی با نتایج تجربی به‌طور مناسبی انتخاب شدند. در این راستا خروجی‌های تجربی ماشین‌کاری متعامد در ۱۰ وضعیت مختلف سرعت برشی، نرخ پیشروی و عمق برش جهت مقایسه با نتایج شبیه‌سازی بکار گرفته شد. در نهایت خطای میانگین شبیه‌سازی برای تمامی شرایط ماشین‌کاری کمتر از ۱۰٪ گزارش شد. در واقع نتایج بدست آمده نشان داد که تمهیدات به‌کار گرفته شده در این تحقیق شامل انتخاب بهترین مدل ماده، کالیبره کردن مناسب مش قطعه‌کار و ابزار، شرایط اصطکاکی و حرارتی و گسترش مدل ماده‌ی مبتنی بر سختی به‌عنوان گامی موثر و مهم جهت بهبود دقت شبیه‌سازی ماشین‌کاری مواد سخت بکار گرفته شد.

تمامی موارد مذکور در بخش شبیه‌سازی با پیاده سازی چندین زیر برنامه‌ی پیشرفته در نرم‌افزار دی‌فرم محقق گردید. لازم به ذکر است که هم-خوانی بسیار خوبی بین نتایج شبیه‌سازی و نتایج شبکه عصبی مشاهده شد، بگونه‌ایی که میانگین خطای شبیه‌سازی برای تمامی شرایط ماشین‌کاری کمتر از ۵٪ گزارش شد. در نهایت نتایج بدست آمده نشان داد که استراتژی پیاده سازی شده در این تحقیق می‌تواند به عنوان یک روش جدید و کارآمد جهت شبیه‌سازی در فرآیند ماشین‌کاری مواد مختلف به‌کار گرفته شود.

۱۰- مراجع

[1] F.Z. Fang, G.X Zhang, An experimental study of edge radius effect on cutting single crystal silicon, *Wear*, Vol 269, pp.344-350, 2010.

[2] J. T. Carroll, J. S. Strenkowski, Finite Element Models of Ortagonal Cutting with Application to Single Point Diamond Truning, *International Journal of Mechanicd Sciences*, Vol. 12, pp. 899-920, 1988.

[3] F. Jafarian, M.I. Ciaran, D. Umbrello, P.J. Arrazola, L. Filice, H. Amirabadi, Finite element simulation of machining Inconel 718 alloy including microstructure changes, *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 88, pp, 110–121, 2014.

[4] T. Ozel, The influence of friction models on finite element simulations of machining. *International Journal of Machine Tools*, Vol. 46, pp. 518–530, 2006.

[5] F.L. Sui, Y. Zuo, X. H. Liu, L. Q. Chen, Microstructure analysis on IN 718 alloy round rod by FEM in the hot continuous rolling process. *Apply Mathematic Model*, Vol. 37, pp. 8776–8784, 2013.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-17]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.60.0]