

بررسی تجربی و شبیه‌سازی تاثیر درجه حرارت پیش گرم قطعه در ماشینکاری C K 4 بر رفتار براده و نیروهای وارده بر ابزار

سید احسان افتخاری شهری^{۱*}، سیدمحمد رضا سده ئی^۲، علی جلالی^۳، هادی ایزدی^۳

۱- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند

۳- دانشجوی کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند

چکیده :

فاکتور اساسی برای کاهش هزینه کلی در بسیاری از صنایع که با فرآیندهای ماشینکاری روبرو هستند، انتخاب شرایط بهینه ماشینکاری است. اثر حرارت یک پدیده شناخته شده در فرآیندهای ماشینکاری می‌باشد که در این مطالعه، تاثیر این پارامتر بر رفتار براده و نیروهای وارده بر ابزار در ماشینکاری فولاد 5 C K 4 مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها تحت دماهای ۲۵، ۷۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد ماشینکاری و سپس فرایند شبیه‌سازی شد که نتایج شبیه‌سازی، تطابق خوبی با آزمایشات تجربی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد که براده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد بیشترین انحناء را از خود بروز داده و بیشترین ضخامت تغییر شکل یافته براده در مورد دمای ۲۵ درجه و کمترین مقدار آن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاده است. نیروهای وارد بر ابزار در راستاهای Y و X با کاهش دما بیشتر شده اما نرخ حرارت نوک ابزار تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد افزایش و بعد از آن به علت کمتر شدن اصطکاک به طرز چشم‌گیری در حدود ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی : ماشینکاری، شبیه‌سازی، C K 4، براده

A b s t: r a c t

The key factor in reducing the overall cost in many industries facing machining processes is choosing the optimal machining conditions. The effect of heat is a well-known phenomenon in machining processes. In this study, the effect of this parameter on the behavior of chips and the forces applied to tools in CK45 steel machining was investigated. These samples were machined and then simulated at temperatures of 25, 70 and 100 C°, and the simulation results show a good correlation with experimental experiments. Based on the results, it was found that the chips exhibited the highest spring behavior at 70 C° and the highest deformed thickness of the chips occurred at 25 C° and the lowest at 70 C°. has fallen. The forces applied to the tools in the Y and X directions increase with decreasing temperature, but the temperature of the tool tip increases to 70 C° and then decreases dramatically to about 400 C° due to reduced friction.

Keywords: machining, simulation, CK45, chips

مقدمه :

خصوصیات و تغییرات به وجود آمده در قطعه و ابزار در فرآیندهای ماشینکاری بطور گسترده در سال‌های اخیر مورد مطالعه و مدل‌سازی قرار گرفته که دلیل این پژوهش‌ها افزایش عمر خستگی و مقاومت در برابر خوردگی معنی‌دار اجزای ماشینکاری بوده است [۱،۲]. پارامترهای ماشینکاری از جمله شرایط برش و هندسه ابزار تا حد زیادی ویژگی‌های یکپارچگی سطح را دارند [۱،۳]. مواد، ابزار و تجهیزات مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های تجربی پرهزینه بوده و روش تنظیم تست‌ها اغلب زمان‌بر است. مدل‌سازی اجزاء محدود از تنش‌های باقیمانده برش نیز توسط بسیاری از محققان مورد مطالعه قرار گرفته است. با این حال، تنها تعداد کمی از مطالعات شبیه‌سازی FE در مورد تغییرات ریزساختاری از جمله تغییرات اندازه دانه در ماشینکاری متعامد فلزات موجود است [۴-۸].

در سال ۲۰۱۴ آمبرولو و همکاران [۴] اندازه دانه و تغییرات سختی در آلیاژ Ti6Al4V را بر اساس معادلات Zener-Hollomon و Hall-Petch با استفاده از نرم افزار دفرم بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش سرعت برش و سرعت پیشروی باعث کاهش اندازه دانه شد. دینگ و همکاران [۹] از یک مدل انعطاف‌پذیری مبتنی بر چگالی جابجایی برای شبیه‌سازی اندازه دانه در طول برش متعامد فلز تیتانیوم خالص تجاری با استفاده از نرم افزار آباکوس استفاده و با کالیبراسیون پارامترهای کنترل مدل جابجایی وابسته به دما، اندازه دانه را پیش‌بینی کردند. لیو و همکاران [۱۰] از یک مدل تکامل ریزساختار برای شبیه‌سازی برش‌های متعامد مس برای چندین سرعت برش با استفاده از نرم افزار AdvantEdge used استفاده کردند که نتایج نشان داد، تغییرات قابل توجه ریزساختار دانه در مناطق بزرگ در مجاورت و در ناحیه برش اولیه براده بوده است. جعفریان و همکاران [۱۱] ثابت‌های جانسون کوک اینکونل ۷۱۸ را با استفاده از برش‌های متعامد شناسایی و تاثیر هندسه ابزار بر روی تغییرات ریزساختاری با استفاده از نرم‌افزار دفرم را بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش زاویه براده و شعاع نوک قلم باعث افزایش سختی سطح و کاهش اندازه دانه سطح می‌شود. آن‌ها همچنین گزارش دادند که عمق پوشش لبه ابزار نسبت به دیگر پارامترهای هندسی هر ابزار با اهمیت‌تر است. وانگ و همکاران [۶] تکامل اندازه دانه و ریزسختی در طول ماشینکاری با سرعت بالای آلیاژ Ti6Al4V را بر اساس معادلات زنر-هالومون و هال-پیچ و با استفاده از نرم‌افزار آباکوس شبیه‌سازی کرده و دریافتند که عمق منطقه تغییر شکل ماشینکاری با سرعت برش تقریباً ثابت مانده است، در حالی که اندازه دانه و ریزسختی با سرعت برش معکوس تغییر می‌کند. پان و همکاران [۷] ارتباط پارامترهای ماشینکاری از جمله سرعت برش و میزان پیشروی را در تغییرات ریزساختاری در ماشینکاری متعامد Ti6Al4V بر اساس مدل JMAK با استفاده از نرم افزار دفرم را شبیه‌سازی کردند که نتایج نشان داد سرعت برش بالاتر باعث کاهش اندازه دانه سطح ماشینکاری شده در سرعت بالا می‌شود. کاروسو و همکاران [۱۲] با شبیه‌سازی تغییرات اندازه و سختی دانه در سطح و زیر سطح اجزای ماشینکاری شده را بر اساس معادلات زنر - هالومون و هال-پیچ با استفاده از نرم افزار دفرم دریافتند که هم سرعت برش و هم سرعت پیشروی، سطح ماشینکاری شده و یکپارچگی زیرسطحی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. یامگو و همکاران [۸] از مدل JMAK برای پیش‌بینی نیروهای برش، مورفولوژی براده و کسر حجمی دانه‌های تبلور یافته در ماشینکاری متعامد آلیاژ Ti6Al4V با استفاده از نرم افزار آباکوس استفاده کردند. تطابق خوبی بین نتایج شبیه‌سازی شده و تجربی مشاهده شد. با این حال، هیچ پیش‌بینی از اندازه دانه ارائه نشده است. جعفریان و همکاران [۱۳] یک مدل مبتنی بر اندازه دانه را با نرم افزار دفرم شبیه‌سازی کردند تا بتوانند تاثیر تغییرات خواص مواد در ماشینکاری متعامد اینکونل ۷۱۸ را در بر بگیرد. آن‌ها مشاهده کردند که تغییرات در مدل ماده باعث تغییر رفتار مواد در طول روند برش، و در نتیجه بهبود دقت پیش‌بینی اندازه دانه می‌شود. پژوهش‌های فوق نشان می‌دهد که یک تجزیه و تحلیل جامع از اندازه دانه ناشی از ماشینکاری از نظر هر دو هندسه ابزار و شرایط برش با استفاده از مدل مبتنی بر اجزاء محدود و مطالعه بهینه‌سازی طراحی صورت گرفته است. اما تاثیر درجه حرارت پیش گرم ماده بر رفتار براده و توان ماشین کمتر مورد توجه و بررسی بوده است. به همین منظور در این مطالعه، با استفاده از آزمایشات تجربی و شبیه‌سازی شده، رفتار براده و نیروای وارد بر ابزار در ماشینکاری CK45 مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد

بواسطه اهمیت بالای صنعتی و کاربردهای گسترده در ماشینکاری، فولاد CK45 به عنوان ماده اصلی این آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۱ تصویری از آزمایش تجربی را نشان می‌دهد. همچنین در جداول ۱ مشخصات شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش درج شده است.

Table 1

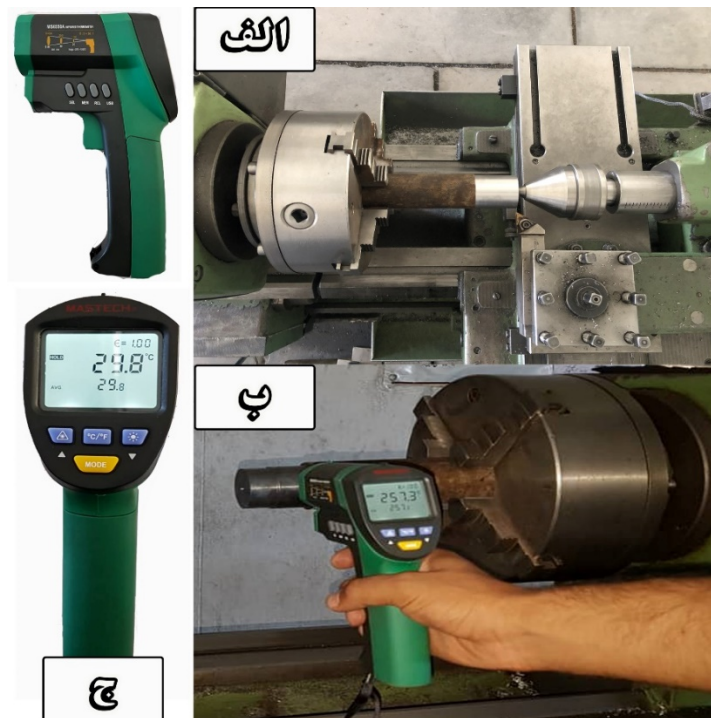
The Chemical composition of CK45 Steel alloy

Chemical composition (wt%)									
C	Si	S	Cr	Mn	Ni	P	Mo	Al	Cu
0.42	0.2	0.015	0.090	0.47	0.09	0.01	0.02	0.01	0.02

مراحل آزمایش

گرم کردن شفت

با استفاده از دستگاه اکسی استیلن و با رنج شعله ملایم، نمونه‌ها بصورت دوار مورد گرمایش قرار گرفته و دمای لحظه‌ای قطعات با ترمومتر سنجیده می‌شد. برای جبران افت حرارت از لحظه قطع تماس شعله تا آغاز فرایند ماشینکاری، نمونه‌ها بین ۱۰ تا ۱۵ درجه بیشتر از دمای آزمایش گرم شده و سپس بر روی دستگاه تراش ماشینکاری صورت گرفته است.



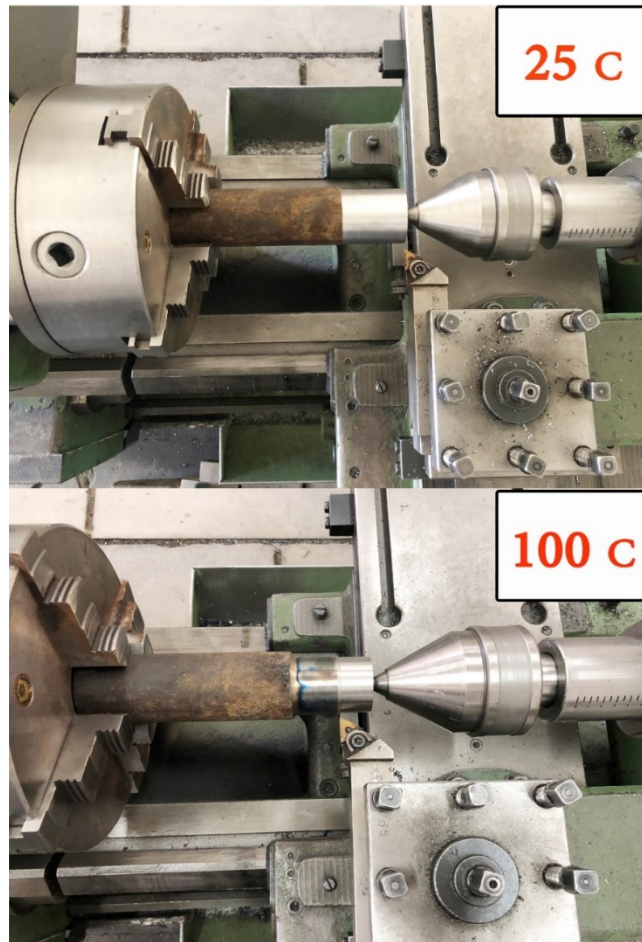
شکل ۱_ الف) بستن نمونه جهت انجام فرایند ماشینکاری ب) نحوه اندازه گیری دما ج) ترمومتر جهت اندازه گیری دمای لحظه‌ای

ماشینکاری شفت

بلافاصله بعد از گرم شدن قطعات تا دمای معین شده، فرآیند ماشینکاری تحت شرایط جدول ۳ آغاز می‌شود.

جدول ۳_ شرایط تجربی ماشینکاری

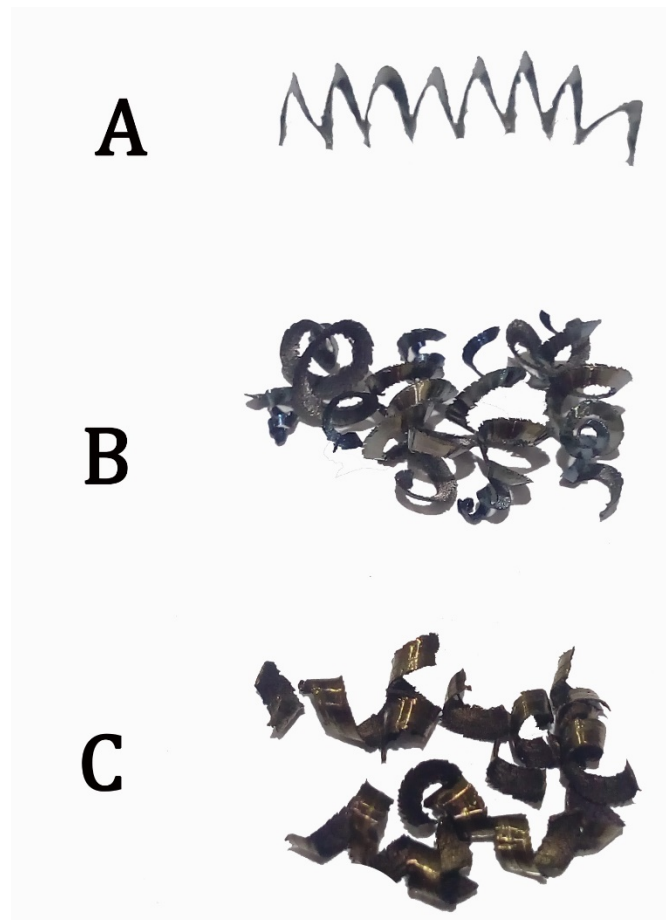
Parameter	ϕ	rpm	R Tool	Progress speed	Sample temperature (°C)	Liquid Cooler
Data	60 mm	250	1 mm	0.1	25 _ 70 _ 100	_



شکل ۱ _ ماشینکاری نمونه‌ها در کمینه و بیشینه دما

Table 2
Mechanical and thermal properties of the workpiece and tool [7].

Properties	CK45	WC-CO
Density ρ (kg/m ³)		15700
Young's modulus E(MPa)		560000
Poisson's ratio ν		0.25
Thermal conductivity k(W/m°C)		26.7
Specific heat capacity c(J/kg°C)		140.7
Thermal expansion coefficient α (1/°C)		4.7×10^{-6}



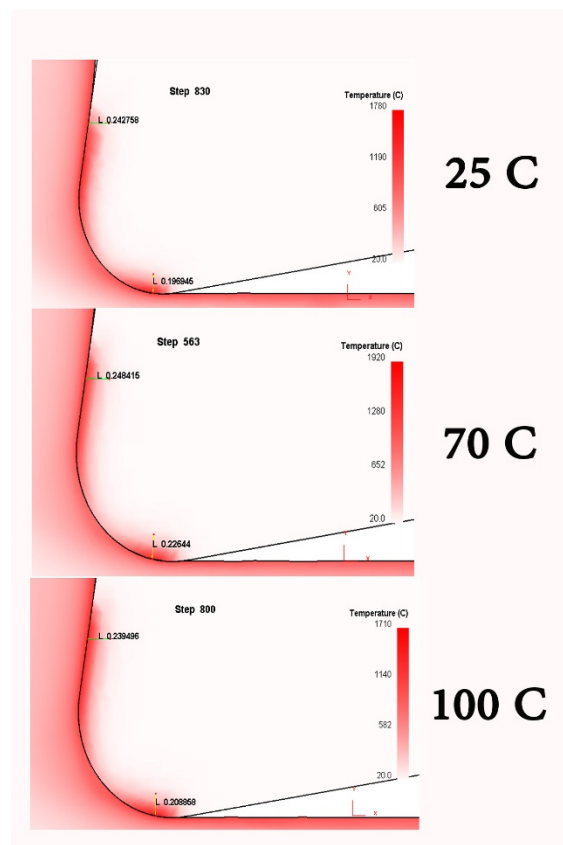
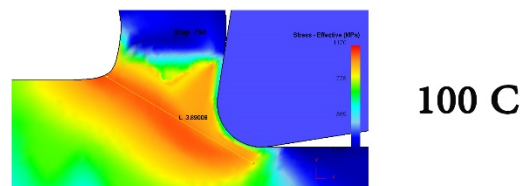
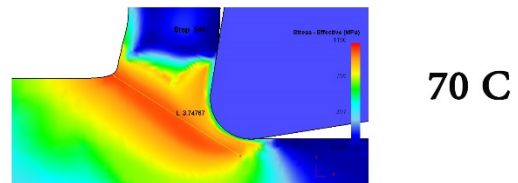
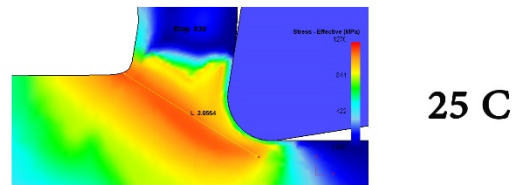
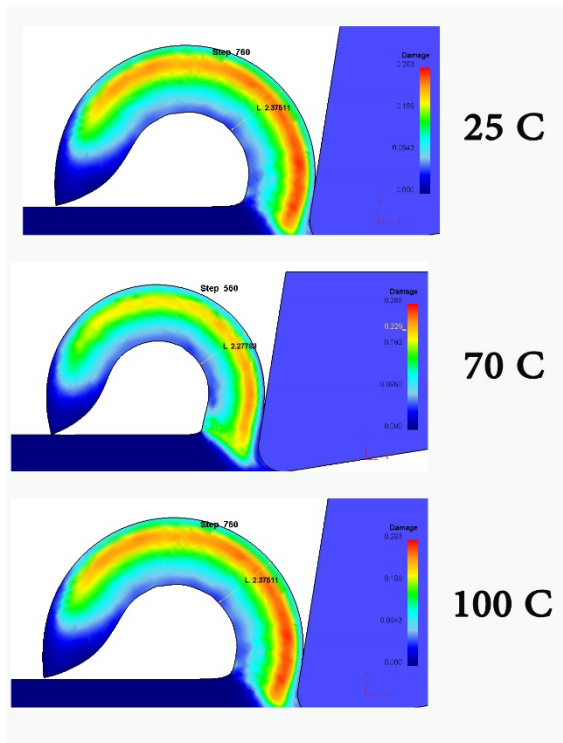
شکل ۳_ انواع براده تولید شده در (A) ۲۵ ، (B) ۷۰ و (C) ۱۰۰ درجه سانتی گراد

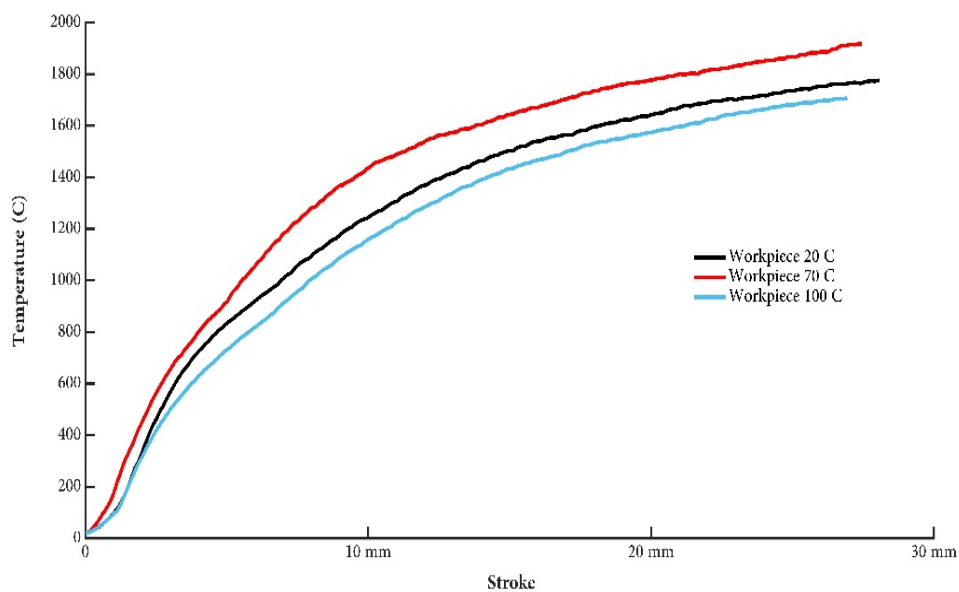
شبیه سازی و تعیین مشخصات

به منظور توصیف تاثیر حرارت بر رفتار براده، براده های جدا شده بلافاصله با دقت و بدون شکست و تغییر شکل جمع آوری شده است. همچنین برای بیان عددی و تصویری پارامترها، کل فرآیند با استفاده از نرم افزار $De f$ شبیه سازی شد.

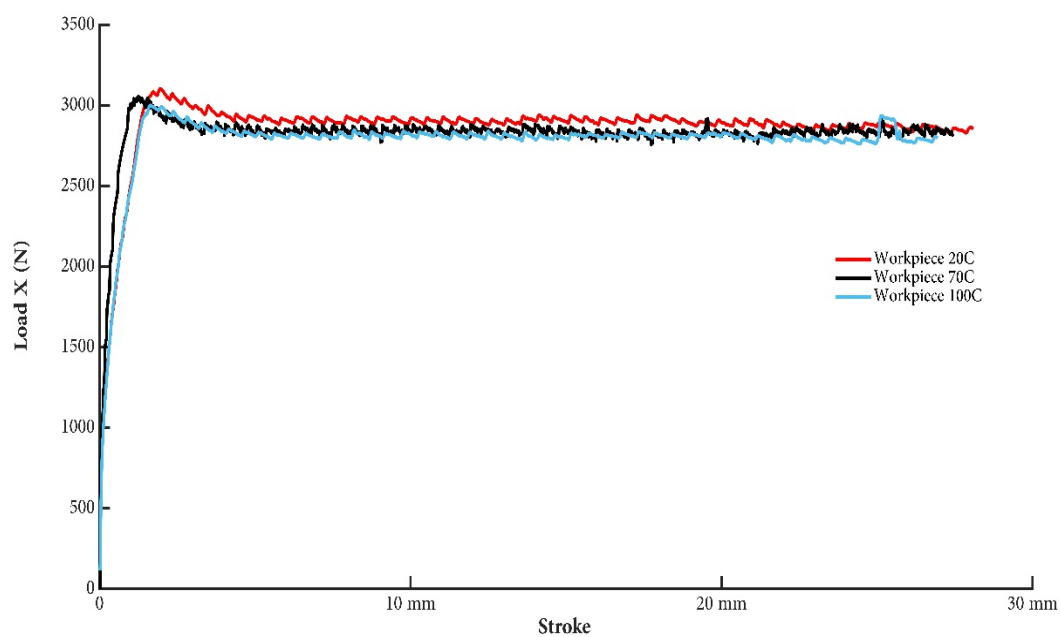
جدول ۳_ پارامترهای شبیه سازی

Parameter		amount
Shape complexity		Complex
Surface Speed (v)		250 m/min
Feed rate (f)		1.5 m/rev
Material tool		WC
Mesh	Elements	1000
	Node	500
Length of cut		35 mm
Friction coefficient		0.6
Step	Number of Step	100
	Step increment	10

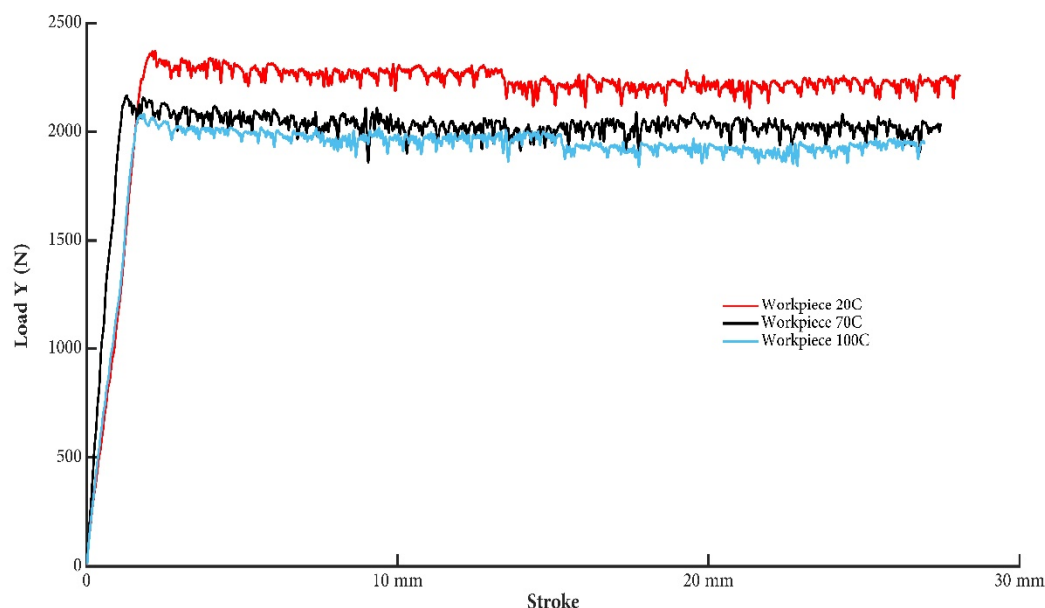




شکل ۳_ نرخ افزایش حرارت نوک ابزار بر حسب جابجایی در طول قطعه



شکل ۴_ نیروی وارد بر نوک ابزار در راستای X بر حسب جابجایی در طول قطعه



شکل ۵_ نیروی وارد بر نوک ابزار در راستای Y بر حسب جابجایی در طول قطعه

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج :

در این مطالعه، اثر درجه حرارت بر رفتار براده و نیروهای وارده بر ابزار در ماشینکاری فولاد $C K 4$ مورد بررسی قرار گرفت. این نمونه‌ها تحت دماهای ۲۵، ۷۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد ماشینکاری و سپس شبیه‌سازی شد. بر اساس اطلاعات به دست آمده نتیجه‌گیری زیر حاصل شد :

- ۱- بر حسب انتظار نیروهای وارد بر ابزار در راستای Y و X با کاهش دما بیشتر شده اما نرخ حرارت نوک ابزار تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد افزایش و بعد از آن به علت کمتر شدن اصطکاک به طرز چشم‌گیری در حدود ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد.
- ۲- بیشترین عمق نفوذ ناحیه متأثر از حرارت در نوک ابزار در دمای ۷۰ و کمترین مقدار آن در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاده است.
- ۳- بیشترین ضخامت تغییر شکل یافته براده در مورد دمای ۲۵ درجه و کمترین مقدار آن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاده است.
- ۴- براده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد بیشترین رفتار فنری شدن را از خود بروز داده اما در دماهای ۲۵ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد بصورت براده تکه تکه جدا شده است.
- ۵- طول خط تنش در ناحیه برش براده با افزایش دما بیشتر شده است.
- ۶- با جمع‌بندی نتایج بالا و به دلایل افزایش عمر ابزار، رفتار ایده‌آل براده و کمتر شدن توان مصرفی ماشین، می‌توان دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد را به عنوان دمای بهینه ماشینکاری فولاد $C K 4$ معرفی کرد.

Reference

- [1] M. Sadeghifar, R. Sedaghati, W. Jomaa, V. Songmene, A comprehensive review of finite element modeling of orthogonal machining process: chip formation and surface integrity predictions, Int. J. Adv. Manuf. Technol. 96 (2018) 3747–3791.
- [2] A. Javidi, U. Rieger, W. Eichlseder, The effect of machining on the surface integrity and fatigue life, Int. J. Fatigue 30 (2008) 2050–2055.

- [3] H. Touazine, K. Chadha, M. Jahazi, P. Bocher, Characterization of subsurface microstructural alterations induced by hard turning of Inconel 718, *J. Mater. Eng. Perform.* 28 (2019) 7016–7024.
- [4] G. Rotella, D. Umbrello, Finite element modeling of microstructural changes in dry and cryogenic cutting of Ti6Al4V alloy, *CIRP Ann. Manuf. Technol.* 63 (2014) 69–72.
- [5] Y.M. Arisoy, T. Özel, Prediction of machining induced microstructure in Ti-6Al-4V alloy using 3-D FE-based simulations: effects of tool micro-geometry, coating and cutting conditions, *J. Mater. Process. Technol.* 220 (2015) 1–26.
- [6] Q. Wang, Z. Liu, B. Wang, Q. Song, Y. Wan, Evolutions of grain size and micro-hardness during chip formation and machined surface generation for Ti-6Al-4V in high-speed machining, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 82 (2016) 1725–1736.
- [7] Z. Pan, S.Y. Liang, H. Garmestani, D.S. Shih, Prediction of machining-induced phase transformation and grain growth of Ti-6Al-4V alloy, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 87 (2016) 859–866.
- [8] D. Yameogo, B. Haddag, H. Makich, M. Nouari, A physical behavior model including dynamic recrystallization and damage mechanisms for cutting process simulation of the titanium alloy Ti-6Al-4V, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 100 (2019) 333–347.
- [9] H. Ding, Y.C. Shin, Dislocation density-based grain refinement modeling of orthogonal cutting of Titanium, *J. Manuf. Sci. Eng.* 136 (2014) 041003-1- 041003-11.
- [10] R. Liu, M. Salahshoor, S.N. Melkote, T. Marusich, A unified material model including dislocation drag and its application to simulation of orthogonal cutting of OFHC copper, *J. Mater. Process. Technol.* 216 (2015) 328–338.
- [11] F. Jafarian, D. Umbrello, B. Jabbaripour, Identification of new material model for machining simulation of Inconel 718 alloy and the effect of tool edge geometry on microstructure changes, *Simul. Model. Pract. Theory* 66 (2016) 273–284.
- [12] S. Caruso, S. Imbrogno, S. Rinaldi, D. Umbrello, Finite element modeling of microstructural changes in Waspaloy dry machining, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 89 (2017) 227–240.
- [13] F. Jafarian, S. Masoudi, D. Umbrello, L. Filicec, New strategies for improvement of numerical model accuracy in machining of nickel-based alloy, *Simul. Model. Pract. Theory* 94 (2019) 134–148.