ماهنامه علمى پژوهشى



mme.modares.ac.ir



مدلسازی رفتار دینامیکی آلومینیوم آلیاژی 5083 در فرآیند ماشین کاری

2 بهنام داودی 1* ، محمد رضا اسلامی

1 - دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
 2 - کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و حرفهای، تبریز
 * تهران، صندوق پستی1676-1675، stangelivet.ac.ir

چکیدہ	اطلاعات مقاله
کاربرد گسترده فرآیند ماشینکاری در تولید قطعات صنعتی، بهینهسازی این فرآیند را مورد توجه محققان قرار داده است. در این بین استفاده از شبیهسازی المان محدود بیشتر مورد توجه واقع شده است. اما میزان دقت و قابلیت اعتماد نتایج پیش بینی شده عمدتا به انتخاب معادله بنیادی که تنش سیلان ماده را تحت شرایط برش (کرنش، نرخ کرنش و دما) بیان مینماید، وابسته است. یکی از دقیق ترین و کاربردیترین معادلات	مقاله پژوهشی کامل دریافت: 17 آبان 1394 پذیرش: 28 آبان 1394 ارائه در سایت: 03 اسفند 1394
ارائه شده به منظور بررسی رفتار دینامیکی مواد مختلف، معادلهی بنیادی جانسون– کوک است. به منظور مدلسازی رفتار مواد با استفاده از معادلات بنیادی، نیاز به تعیین ضرایب معادلات برای هر ماده میباشد. به منظور محاسبه ضرایب معادله جانسون– کوک در بیان رفتار دینامیکی آلومینیوم آلیاژی 5083 از ترکیب اطلاعات تنش سیلان تست.های فشردن در نرخ کرنش پایین و تست.های ماشین کاری متعامد با نرخ کرنش بالا، استفاده شده است. پس از تعیین ضرایب معادله، به منظور تعیین صحت آن، فرآیند ماشین کاری با استفاده از اجزاء محدود شبیهسازی و نتایج حاصل از آن با نتایج تجربی مقایسه شده است. بررسی ها نشان دهنده صحت ضرایب بدست آمده و معادله برقرار	<i>کلید واژگان:</i> ماشین کاری شبیهسازی اجزاء محدود رفتار دینامیکی معادله جانسون– کوک
سده برای الومینیوم الیاری قوق میباسد. بنابر این با استفاده از این معادله می وان رفتار الیاز استخابی را در سایر فرایندهای ماسین کاری و شکا ده مدا ما: نتابج آن استفاده ک.د	

Modeling of dynamic behavior of aluminum alloy 5083 in machining process

Behnam Davoodi^{1*}, Mohammad Reza Eslami²

1- School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Technical and Vocational University of Tabriz, Iran

* P.O.B. 16765-163 Tehran, Iran, bdavoodi@iust.ac.ir

ARTICLE INFORMATION	ABSTRACT
Original Research Paper Received 08 November 2015 Accepted 19 November 2015 Available Online 22 February 2016	Widespread applications of machining in various industrial sectors as well as acute needs for optimization are among attractive research topics for both academic and industrial institutions. Finite element analysis based techniques are available to simulate machining processes. Success and reliability
Keywords: Machining Finite Element Method Duragnic Behavior	of numerical models are very much dependent to work material flow stress models in strain, strain rate and temperature functions. One of the most accurate and useful material model is the Johnson-Cook model. The basic equation for modeling the behavior of each material is needed to determine the equation coefficients. In this study, the model parameters are determined by fitting the data from both model static accurate the study are state and machine to the strain accurate. The study of the state and the strain state are strained by fitting the data from both
Johnson & Cook Equation	experimental results were then compared with those obtained through simulation works by Abaqus code. Experimental results confirmed the capability of material equation to determine the dynamic behavior of 5083 alloy.

1- مقدمه

است. از آنجا که انجام آزمایشهای تجربی زمان و هزینههای زیادی بر پژوهشگران تحمیل می کند، مدلسازی فرآیندها به روش اجزاء محدود کاربرد فراوانی پیدا کرده است. اما صحت و دقت مدلسازی با استفاده از روشهای اجزاء محدود عمدتا به اطلاعات و دادههای ورودی مربوط به خواص مکانیکی قطعهکار (مانند مدول الاستیسیته و تنش سیلان¹)، خواص فیزیکی- حرارتی قطعه و ابزار (مانند چگالی و هدایت حرارتی)، شرایط تماسی ابزار و براده (مانند مکانیزم اصطکاک و ثابتهای مربوط به آن) و شرایط تماسی ابزار با سطح ماشین کاری شده قطعه بستگی دارد [3.2]. یکی از دادههای ورودی

ماشین کاری یا برش فلزات به فرآیندهایی اطلاق می شود که در آنها لایه یا تکه ناز کی از ماده، که براده یا تراشه نام دارد، توسط ابزاری با لبهی گوه مانند تیز از قطعه بزرگ تر جدا می شود. در مهندسی، عبارت ماشین کاری، تمامی فرآیندهای تولید براده را در بر می گیرد [1]. به دلیل کثرت پارامترهای دخیل در فرآیند ماشین کاری، هنوز امکان برآورد و پیش بینی کامل خروجی و تغییرات شرایط حاکم بر آن در طی فرآیند به صورت کامل فراهم نشده است. واضح است که پیش بینی و امکان بررسی شرایط حاکم بر فرآیند از دیدگاه اقتصادی از اهمیت بسزایی برای دستاندر کاران صنعت ماشین کاری برخوردار

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

B. Davoodi, M. R. Eslami, Modeling of dynamic behavior of aluminum alloy 5083 in machining process, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 3, pp. 1-7, 2016 (in Persian)

^{1 -} Flow Stress

Please cite this article using:

مورد نیاز، تنش سیلان و یا تنش تسلیم آنی¹ است؛ تنشی که ماده با رسیدن به آن وارد منطقه تغییر شکل پلاستیک می شود. در فرآیندهای تغییر شکل با توجه به این که شرایط ماده مرتبا در حال تغییر است، نمی توان تنش سیلان ماده را برابر با تنش تسلیم در شرایط شبه استاتیکی (مشابه آزمایش کشش تک محوری) در نظر گرفت. موفقیت و قابل اعتماد بودن نتایج شبیه سازی اجزاء محدود وابستكي شديد به اطلاعات تنش سيلان ماده به صورت تابعي از کرنش، نرخ کرنش و دما دارد [4]. توجه به این نکته که رفتار دینامیکی بسیاری از مواد نسبت به رفتار شبه استاتیکی آنها متفاوت است، در حل مسایل مختلف مهندسی از جمله ماشین کاری و شکل دهی فلزات حائز اهمیت و تاثیر گذار است. مواد مختلف، تحت تاثیر نرخ کرنشهای بالا و درجه حرارتهای زیاد، رفتاری متفاوت نسبت به شرایط شبه استاتیکی از خود نشان میدهند. توجه دقیق به تاثیر نرخ کرنش و درجه حرارت بر رفتار فلزات، از نکات مهم در طراحی سازهها و قطعات مهندسی و همچنین محاسبات فرآیندهای مختلف ساخت و تولید میباشد. از دیگر دلائل نادرستی استفاده از اطلاعات بدست آمده از تستهای استاندارد نظیر تست کشش و فشار برای برآورد تغییر شکلهای بزرگ، تفاوت زیاد بازه تغییرات پارامترها در این نوع تغییر شکلها نسبت به تستهای استاندارد است. تغییر شکل در دماهای بالا با تغییر فازهای متالوژیکی که ریز ساختار را تحت تاثیر قرار میدهند نیز همراه است. تغییر شکل فلزات در فرآیند ماشینکاری که همراه با کرنش زیاد، نرخ کرنش بالا و دمای بالا میباشد، ارائه مدل دقیق برای تعیین رفتار سیلان فلز در ماشین کاری را پیچیده و دشوار ساخته است. برای مدل سازی ریاضی تنش سیلان در فرآیندهایی با تغییر شکلهای بزرگ و سریع که فرآیند ماشین کاری بارزترین نمونه آن است، مدلهای متفاوتی توسط محققین ارائه شده است. این مدل ها و یا معادلات بنیادی برای مدل سازی تنش سیلان بر پایه تئوریهای فیزیکی و مشاهدات عملی ارائه شده و صحت آنها در زمان ارائه به اثبات رسیده است اما در سایر تحقیقات مشابه که نیاز به استفاده از این معادلات بوده است، اکثر آنها به علت پیچیدگی و دشواری تعيين ضرايب، كمتر مورد استفاده واقع شدهاند. از جمله اين معادلات مي توان به معادلات ارائه شده توسط زريلي- آرمسترانگ، مکگريگور، ماريوسيچ و معادله بنیادی جانسون- کوک که یکی از جامعترین و کاربردیترین آنها مى باشد (معادله 1) اشاره كرد.

$\sigma = [A + B\bar{\varepsilon}^n][1 + C \ln(\bar{\varepsilon}/\bar{\varepsilon}_0)][1 - T_h^m]$ (1) $T_h = \frac{T - T_{Room}}{T_{Molt} - T_{Room}}$ (2)

از میان معادلات ارائه شده، معادله جانسون - کوک و برخی فرمهای ویرایش شده آن بهصورت وسیع توسط پژوهشگران در شبیهسازی فرآیندهای ماشینکاری و شکلدهی مورد استفاده قرار گرفته است. صحت نتایج شبیه سازی با نتایج تجربی در فرآیندهای مختلف و مواد متفاوت با استفاده از این مدل تا جائی ادامه یافته است که امروزه تقریبا بیشرکدهای تجاری المان محدود از این معادله بهصورت پیش فرض در کتابخانه اطلاعاتی² خود استفاده میکنند و نیازی به نوشتن زیر برنامه³ جهت معرفی این مدل به بسته های نرمافزاری نمی باشد. سایر مدلهای ارائه شده کاربرد زیادی پیدا نکردهاند و یا بندرت در شرایط و مواد خاص مورد استفاده قرار می گیرند.

معادلات بنیادی ارائه شده دارای ثابتهایی میباشند و منظور از تعیین رفتار دینامیکی مواد، یافتن مقادیر ثابتها و تعیین ضرایب معادلات برای

مادهی مورد نظر در شرایط فرآیندی خاص میباشد. برای تعیین این ضرایب میتوان از دستگاه تست دو میلهای فشاری هاپکینسون⁴و یا از تستهای ماشینکاری متعامد استفاده کرد [5].

روش تست میله فشار هاپکینسون در اوایل قرن بیستم معرفی شده و برای مطالعه رفتار دینامیکی مواد در نرخ کرنش بالا و دماهای مختلف بسط و توسعه پیدا کرده است. شیراکاشی و ماکاوا [6] با اندکی تغییرات، از این تست برای استخراج رفتار دینامیکی مواد در ماشینکاری استفاده کردهاند. دستگاه تست هاپکینسون امکان ایجاد تغییر شکلهای بیشتر همراه با نرخ کرنش بالا در دمای زیاد را با استفاده از یک تفنگ بادی فشار بالا و کوره القایی نصب شده بر روی دستگاه امکانپذیر می سازد. با توجه به افزایش سرعت و استفاده از کوره القایی، نرم شدن در اثر باز پخت و پیر سختی در قطعات رخ نمی دهد و می توان رفتار دینامیکی مواد تا نرخ کرنش¹ s¹ را بدست آورد.

ترکیب روشهای سنتی تست مواد با نرخ کرنش پایین با تستهای ماشین کاری بهمنظور مطالعه رفتار دینامیکی و بدست آوردن معادله تنش سيلان توسط افراد مختلف به كار گرفته شده است. استيونسون [7] براى اینکه دمای برش حدودا برابر دمای اتاق و محیط باشد، آلومینیوم را با سرعتهای برشی بسیار پایین ماشین کاری کرده است. او نشان داد که تنش سیلان برشی در این بازه از سرعتهای برشی، تقریبا با تست فشردن برابر است. اویان و تاکاشیما [8] تنش سیلان را با استفاده از تستهای کشش در دماهای بالا بدست آورده و تنشهای ماشین کاری را با برون یابی این اطلاعات حدس زدند. گیو [9] از ترکیب تستهای فشردن در دمای محیط و نرخ کرنش بسیار پایین و تستهای ماشین کاری با سرعت برشی کم، رفتار تنش سيلان آلياژ آلومينيوم 6061T6 را محاسبه كرد. كليت روش براساس انطباق اطلاعات تنش سیلان بدست آمده از تستهای با نرخ کرنش بالا و پایین روی یک معادله مفروض میباشد. بارزترین مشخصه معادله بدست آمده از این روش امکان تعیین تنش سیلان در بازه وسیعی از نرخ کرنشها توسط معادله حاصله میباشد. بوکرمر [10] از تراشکاری متعامد و شبیهسازی اجزاء محدود برای تعیین ضرایب معادله جانسون-کوک برای فولاد 1045 با براده پیوسته و سوپر آلیاژ اینکونل 718 با براده منقطع استفاده کرده است. فرآیند انتخابی، خان کشی بوده است. ازل و همکارانش [11] شرایط ماشین کاری را برای تعیین تنش سیلان ماده و خواص اصطکاکی به منظور کاربرد در شبیه سازی اجزاء محدود به کار گرفتهاند. هدف اصلی این مقاله، نحوهی تعیین ضرایب مدل جانسون- کوک با استفاده از تست های ماشین کاری متعامد و مدلسازی رفتار دینامیکی آلومینیوم آلیاژی 5083 در فرآیند ماشینکاری مىباشد.

2- آزمایشهای تجربی

1-2- تجهيزات انجام تستها

برای اجرای تستهای تراش کاری متعامد و بدست آوردن رفتار تنش سیلان، قطعه کار استوانهای به قطر 60 میلی متر از جنس آلومینیوم 5083 تهیه و از دو طرف پیشانی تراشی، مته مرغکزنی و همچنین روتراشی شد تا در حین تراش کاری حالت تک محوری بودن آن کاملا رعایت شود. جدول 1 عناصر آلیاژی موجود در آلیاژ 5083 را نشان می دهد.

برای انجام آزمایشها، از ماشین تراش انیورسال استفاده شده است که حداکثر قطر کارگیر آن 300 میلیمتر و حداکثر کورس محور طولی (محور Z) آن 1000 میلیمتر میباشد. حداکثر دور محور اسپیندل 2000 دور بر

¹⁻ Instantaneous Yield Stress

²⁻ Database library

³⁻ Subroutine program

⁴⁻ Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB)

جدول 1 عناصر آلياژي آلومينيوم 5083

Table 1 Chemical composition of AA5083				
	درصد	عنصر		
	0.4	سيليسيم (Si)		
	0.4	آهن (Fe)		
	0.1	مس (Cu)		
	0.4 - 1	منگنز (Mn)		
	4 - 4.9	منيزيم (Mg)		
	0.25	روی (Zn)		
	0.15	تيتانيوم (Ti)		
	0.05 - 0.25	کرم (Cr)		
	تعادل	آلومينيوم (Al)		

دقيقه بوده و سرعت پيشروى محورها از 0.052 تا 1.392 ميلىمتر بر دور در حالت پیشروی اتوماتیک در راستای محور طولی و از 0.014 تا 0.380 میلیمتر بر دور در راستای محور عرضی دستگاه میباشد. قطعه کار توسط سه نظام مهار شده است. از ابزار شیار تراش کاربیدی استفاده شده است.

اندازه گیری نیروها با استفاده از دینامومتر کیستلر¹ مدل 9257B انجام شده است. این دینامومتر دارای ظرفیت اندازه گیری نیرو در سه راستای X، Y و Z از 5- تا 5+ كيلو نيوتن مىباشد. كابل خروجى از دينامومتر به يک آمپلی فایر نوع 5019 وصل می شود که وظیفه آن افزایش دامنه اطلاعات رسیده از صفحه دینامومتر میباشد. اطلاعات تقویت شده در آمپلی فایر به برد اخذ اطلاعات كامپيوتر وارد مى شود كه وظيفه اصلى آن جمع آورى اطلاعات و تبدیل آن به فرمت نرمافزار داینوور²است. برای انجام تستهای فشردن، از پرس هیدرولیکی با حداکثر ظرفیت 10 تن و با محدوده سرعت 0.1 تا 5 میلی متر بر دقیقه استفاده شده است.

2-2- تستهای فشردن

هدف از انجام تستهای فشردن بدست آوردن اطلاعات تنش سیلان در بازهای از پارامترهای تغییر شکل است که در آنها بتوان اثر نرخ کرنش در تنش سیلان را حذف و به بررسی تاثیرات کرنش سختی (همراه با دما نرمی یا بدون آن) بر رفتار تنش سیلان پرداخت. بدین منظور نمونههای استوانهای از جنس آلياژ آلومينيوم 5083 با نسبت ارتفاع به قطر 2 (ارتفاع 26 ميليمتر و قطر 13 میلیمتر) طبق استاندارد ASTM (E9-89a) با استفاده از تراش-کاری با سرعت پایین تهیه شدند. به منظور کاهش تاثیر اصطکاک، دو سطح بالایی و پایینی نمونهها با دقت پولیش کاری و تخت شده و سطوح بالایی و پایینی دستگاه نیز تا حد امکان صاف و صیقلی انتخاب شدهاند. تدابیر یاد شده بهمنظور کاهش اصطکاک بین سطوح نمونهها و فکهای دستگاه می باشد تا بتوان از تاثیر پدیده اصطکاک در نتایج صرف نظر کرد. لازم به ذکر است که بهمنظور کاهش اصطکاک از روان کار بین سطوح تماس فکها و نمونهها استفاده شده است. پیش از شروع تست، برای جلوگیری از ایجاد ضربه در لحظه تماس، فک متحرک بالایی دستگاه دقیقا در حالت تماس با سطح بالایی نمونه قرار داده شد.

نرخ کرنش های $^{-1}$ S⁻¹ $^{-3}$ S⁻¹ $^{-1}$ S⁻¹ $^{-3}$ S⁻¹ $^{-1}$ S⁻¹ $^{-4}$ S⁻¹ زرخ انجام تستها در نظر گرفته شد [13,12]. کلیه تستهای فشار در دمای 0.4 انجام شده است. با افزایش کرنش و رسیدن آن به مقادیر بیش از $25^{\circ}c$ در نمونههای مورد آزمایش ترک بوجود آمده است. به همین دلیل اطلاعات

تا کرنش 0.4 ثبت و مورد استفاده قرار گرفتهاند. منحنیهای تنش- کرنش حقیقی بدست آمده در شکل 1 نشان داده شده است.

با توجه به منحنیهای تنش-کرنش بدست آمده واضح است که در بازه انتخاب شده برای نرخ کرنش، تنش سیلان تغییرات قابل توجهی نشان نمیدهد و رفتار ماده در بازه انتخابی به نرخ کرنش حساس نمیباشد. کم بودن حالت بشکهای پس از تست، نشان از کم بودن نقش اصطکاک در آزمایشها دارد و صرف نظر کردن از آن امکانپذیر میباشد.

3-2- تستهای ماشین کاری متعامد

برای انجام تستهای ماشین کاری متعامد روی بلوک استوانهای از جنس آلیاژ آلومینیوم 5083، تعدادی شیار با عمق متوسط 9 میلیمتر ایجاد شد تا در هنگام تست، با انجام ماشین کاری روی لبههای برجسته باقیمانده بین شیارها با ابزار شیارتراشی، حالت برش متعامد دوبعدی ایجاد گردد. منظور از برش دو بعدی آن است که نیروی محوری حذف و فقط نیروهای شعاعی و محیطی بر ابزار وارد شود. در این حال نیروی شعاعی همان نیروی پیشروی و نیروی محیطی همان نیروی برشی خواهد بود. پیکربندی ماشین تراش، ابزار و ابزار گیر، دینامومتر و قطعه در شکل 2 آورده شده است.

لازم به ذکر است که در تمامی حالات، زاویه آزاد اصلی برابر 12 درجه و زاویه براده صفر درجه در نظر گرفته شده است. در این حالت نیرو در راستای محور Z برابر نیروی برشی (F_C) و در راستای محور X، برابر نیروی پیشروی (F_T) خواهد بود. در انتخاب شرایط ماشین کاری و بوجود آوردن حالت کرنش



شکل 1 نمودار تنش- کرنش حقیقی بدست آمده از تستهای فشردن



Fig. 2 Dynamometer, workpiece and tool setting in orthogonal machining

شکل 2 چیدمان دینامومتر، قطعه و ابزار در ماشین کاری متعامد

¹⁻ Kistler 9257B

²⁻ DynoWare

صفحهای که پایه و اساس روابط تحلیلی ارائه شده توسط اکسلی میباشد، نسبت پهنای براده جدا نشده به ضخامت براده جدا شده باید مساوی یا بیشتر از 10 باشد. پس از انجام هر تست ضخامت برادهی بدست آمده، با کولیس دیجیتال با قدرت تفکیک 0.01 میلیمتر در پنج مقطع متفاوت اندازه گیری و میانگین اعداد به عنوان ضخامت برادهی جدا شده ثبت گردید. جدول 2 نتایج و مقادیر ثبت شده را در شرایط متفاوت ماشین کاری ارائه میکند.

3- تعیین معادلهی بنیادی تنش سیلان

مدل بنیادی جانسون -کوک به عنوان شناخته شده ترین مدل پدیداری جریان تنش وابسته به کرنش، نرخ کرنش و دما بوده و با موفقیت برای گستره وسیعی از مواد با نرخ کرنشهای متفاوت در دماهای گوناگون مورد استفاده قرار گرفته است (معادله 1). مدل جانسون -کوک به دلیل سهولت و فراگیری پارامترها برای گستره وسیع مواد بسیار موفق بوده است. در این معادله σ تنش جریان، \overline{s} کرنش پلاستیک، \overline{s} نرخ کرنش پلاستیک، \overline{s} نرخ کرنش پلاستیک، \overline{s} نرخ کرنش بناده بیش جریان، \overline{s} کرنش پلاستیک، \overline{s} نرخ کرنش پلاستیک، \overline{s} نرخ کرنش بوده است. در این معادله π دوب ماده قطعه کار، \overline{s} نرخ کرنش پلاستیک، \overline{s} نرخ کرنش پلاستیک، \overline{s} نرخ کرنش پلاستیک، \overline{s} نرخ کرنش معادله T_{room} دمای محیط، \overline{s} نرخ کرنش منه تری میا، در اثر در اثر دوب ماده قطعه کار، \overline{s} نرخ کرنش و m توان نرم شوندگی فلز در اثر حرارت است. ثابت A برای آلومینیوم 5083 برابر 136 مگاپاسکال است \overline{s} که از آزمایش فشردن بدست آمده است. بارامترهای B و n که مربوط به تاثیر کرنش سختی بر تنش جریان هستند، از برازش معادله تولی (با حذف کروش کرنش کرنش منه تری که کروش کرنش کروش معادله کروش کرد م

جدول 2 نتایج تستهای ماشین کاری

Table 2 The experimental results of machining						
نيروى پيشروى	نیروی برشی	سرعت برشی	مقدار پيشروى	شماره		
(N)	(N)	(m/min)	(mm/rev)	تست		
24	55	50	0.044	1		
33	75	75	0.044	2		
26	60	100	0.044	3		
30	66	125	0.044	4		
27	63	150	0.044	5		
38	87	175	0.044	6		
20	45	50	0.094	7		
35	80	75	0.094	8		
42	90	100	0.094	9		
40	92	125	0.094	10		
35	80	150	0.094	11		
47	105	175	0.094	12		
65	143	50	0.141	13		
59	133	75	0.141	14		
52	117	100	0.141	15		
60	131	125	0.141	16		
82	174	150	0.141	17		
70	156	175	0.141	18		
63	131	50	0.188	19		
72	162	75	0.188	20		
67	147	100	0.188	21		
69	153	125	0.188	22		
70	157	150	0.188	23		
31	66	175	0.188	24		
65	149	50	0.282	25		
83	188	75	0.282	26		
87	189	100	0.282	27		
81	185	125	0.282	28		
62	149	150	0.282	29		
47	93	175	0.282	30		
41	97	50	0.380	31		
108	233	75	0.380	32		
75	158	100	0.380	33		
83	188	125	0.380	34		
73	145	150	0.380	35		
23	41	175	0.380	36		

مربوط به نرخ کرنش) روی منحنی تنش-کرنش بدست آمده از تستهای فشردن با روش حداقل مربعات محاسبه میشوند. ضرایب بدست آمده برای آلیاژ آلومینیوم 5083 عبارتند از n=0.202 و 121.2 =8 مگاپاسکال.

خطی بودن تأثیر عبارت دما نرمی (یعنی [m=1]) در معادله جانسون -کوک توسط تعداد زیادی از محققان پیشنهاد شده است [1-16]. آنها طی محاسبات تئوریک و همچنین مدلسازی تحلیلی خود نشان دادهاند که انتخاب m برابر با یک، نتایج مطلوب و قابل قبولی در خصوص برآورد تنش سیلان حاصل می سازد. جانسون و کوک نرخ کرنش مرجع را نرخ کرنشی معرفی کرده اند که تست کشش شبه استاتیک ماده برای تعیین تنش تسلیم آن، تحت این نرخ کرنش صورت گرفته باشد و از این جهت این پارامتر برابر S^{-1} .

برای محاسبه ضریب نرخ کرنش یا پارامتر C، از ترکیب اطلاعات تنش سیلان تستهای فشردن و ماشینکاری استفاده شده است. بدین ترتیب که در کرنشی مشخص از نتایج تستهای ماشینکاری (\mathcal{E}_{M})، تنش سیلان در ماشینکاری (σ_{M}) و فشار (σ_{C}) محاسبه میشوند. بدیهی است که تنش سیلان در کرنشهای بالا در فرآیند ماشینکاری در نمودار حاصل از فشردن موجود نمی باشد [18]. به همین دلیل برای محاسبه تنش سیلان در فشردن برای کرنشهای بالا از برونیابی استفاده میشود. سپس معادله جانسون - کوک برای هر دو نوع آزمایش نوشته شده،

$$\sigma_c = \left[A + B\bar{\varepsilon}_M^n\right] \left[1 - T_{h_c}^m\right] \tag{3}$$

$$\sigma_{M} = \left[A + B\bar{\varepsilon}_{M}^{n}\right]\left[1 + C\ln\left(\bar{\varepsilon}_{M}/\bar{\varepsilon}_{0}\right)\right]\left[1 - T_{h_{M}}^{m}\right] \tag{4}$$

$$C = \frac{\left[\sigma_{M}(\mathbf{1} - T_{h_{c}}^{m})/\sigma_{c}(\mathbf{1} - T_{h_{M}}^{m})\right] - \mathbf{1}}{\ln(\tilde{\varepsilon}_{M}/\tilde{\varepsilon}_{0})}$$
(5)

با توجه به این که متغیرهای مستقل تستهای ماشین کاری، سرعت
برشی و ضخامت براده جدا نشده میباشند، میتوان پارامتر
$$C$$
 را به صورت
نابعی از این دو متغیر نوشت. شکل 3 نمودار تغییرات پارامتر C نسبت به
ضخامت براده جدا نشده و سرعت برشی که با استفاده از نرمافزار متلب¹
نرسیم شده است را نشان می دهد.

با توجه به شکل 3، برای تعیین متغیر C به صورت تابعی از t_0 و V، از برازش اطلاعات نمودار ترسیمی استفاده شده است. معادلهی (6) بهترین نتیجه حاصل از بین معادلات درجه یک و دو، مار بر نقاط بدست آمده برای پارامتر C می باشد.

$C = -0.2824 + 0.01579V + 1.017 t_0 - 0.000189 V^2$ $- 0.004794 V t_0 - 1.813 t_0^2$ (6)

بنابراین معادلهی جانسون-کوک مربوط به تنش سیلان آلیاژ آلومینیوم



شکل 3 پارامتر C نسبت به متغیرهای مستقل سرعت برش و ضخامت براده جدا ${f C}$

نشده

DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.3.23.0]

¹⁻ Matlab

5083 با استفاده از معادلات (7) الى (9) ارائه شده است:

$$\begin{aligned} \sigma &= & \\ & [136 + 121.2\bar{\varepsilon}^{0.202}][1 + C \ln(\bar{\varepsilon}/2 \times 10^{-3})][1 - T_h] & (7) \\ T_h &= \frac{T - 25}{600} & (8) \\ C &= -0.2824 + 0.01579V + 1.017 t_0 - 0.000189 V^2 \\ & -0.004794 V t_0 - 1.813 t_0^2 & (9) \end{aligned}$$

4- شبیهسازی اجزاء محدود

در دهههای اخیر تکنیکهای عددی مختلفی برای درک تئوری تغییرشکلهای پلاستیک حجیم و همچنین حل مسائل غیرخطی توسعه یافتهاند که آنالیز اجزاء محدود، یکی از روشهای قابل اعتماد برای حل چنین مسائلی با کاهش هزینه آزمایشهای تجربی و افزایش یکنواختی شرایط آزمایش میباشد. میزان دقت شبیهسازی وابسته به میزان دقت پارامترهای ورودی موثر از جمله خواص فیزیکی، مکانیکی و تنش سیلان مواد است. در این تحقیق به منظور شبیهسازی فرآیند تراشکاری متعامد و بدست آوردن نیروهای ماشینکاری از کد تجاری آباکوس استفاده شده است. جدول 3 خصوصیات و ویژگیهای ابزار و قطعهکار را نشان میدهد.

مطابق آزمایش های تجربی صورت گرفته، برش به صورت متعامد دوبعدی میباشد. بنابراین مدل مورد استفاده در شبیه سازی، با مشخص کردن مختصات گوشه های یک مستطیل به صورت دو بعدی ایجاد شده است. با توجه به اندازه ضخامت براده جدا نشده در آزمایش های تجربی، ارتفاع مستطیل 2 میلی متر و طول آن 8 میلی متر در نظر گرفته شد (شکل4). با برای قطعه کار دوبعدی با محدود کردن حرکت سطوح پایینی و سمت چپ قطعه بر روی محورها و گردش حول محورها اعمال شده است. برای تامین سرعت حرکت ابزار بر روی قطعه کار در راستای براده برداری، آزادی حرکت برای نقطه مرجع که بر روی ابزار صلب تعریف شده است. براده شد.

از آنجا که اندازه المانهای اولیه باید از ضخامت براده جدا نشده کوچکتر باشد تا با شروع برخورد ابزار و قطعه کار، جدایش المانها و ایجاد براده رخ دهد و با توجه به ابعاد انتخابی قطعه کار، طول آن به 50 قسمت و عرض آن به 25 قسمت تقسیم شده است. با این شرایط زمان تحلیل قابل قبول بوده و نتایج بدست آمده نیز خطای کمتری را نشان میدهند.

در شبیهسازی انجام شده از وزن ابزار و ابزارگیر صرفنظر شده است. ابزار به کار رفته نو، کاملا تیز و بدون شعاع نوک در نظر گرفته شده است. ارتعاشات بوجود آمده در حین براده برداری در نظر گرفته نشده است. این فرضیات برای کاهش زمان تحلیل در نظر گرفته شده اند. شکل 5 شبیهسازی فرآیند برادهبرداری و نحوه جداسازی براده را نشان میدهد.

جدول 3 خصوصیات مکانیکی و فیزیکی مواد قطعه کار و ابزار Table 3 The mechanical and physical properties of the workpiece and tool material

قطعهكار (ألومينيوم 5083)	ابزار	ویژگی
2.66 ×10 ⁻⁹	1.5×10 ⁻⁸	چگالی (tone/mm ³)
70-72	800	مدول يانگ (GPa)
0.33	0.2	ضريب پواسون
850	203	گرمای ویژه
22.5 ×10 ⁻⁷	4.7×10 ⁻⁷	انبساط حرارتى
0.2	0.2	ضريب اصطكاك
293	293	دمای اتاق ((K) (T _{Room}
118-130	46	هدایت حرارتی(W/m K)

5- صحت سنجي نتايج

برای بررسی صحت شبیه سازی اجزاء محدود و تایید معادله انتخابی و ضرایب محاسبه شده برای آن، نیروهای برشی و پیشروی بدست آمده از شبیهسازی با نتایج تستهای تجربی تراش کاری متعامد مقایسه شدهاند. نتایج و مقدار خطا در جدول 4 نشان داده شده است. برای سهولت مقایسه، نتایج جدول 4 به صورت نمودار در اشکال 6 و 7 نشان داده شدهاند.

نمودارهای فوق نشان میدهند که نیروهای بدست آمده از شبیهسازی با



Fig. 4 Finite element model of 2-D machining process شکل 4 مدل دو بعدی اجزاء محدود فرآیند ماشین کاری



Fig. 5 Finite element model of orthogonal turning of AA5083 شکل 5 شبیهسازی اجزاء محدود تراشکاری متعامد آلیاژ آلومینیوم 5083

جدول **4** مقایسه نتایج تستهای تجربی و شبیهسازی اجزاء محدود Table **4** Comparison of the results from experimental tests and FE simulation

وى (N)	ی پیشر	نيرو	(N)	برش (نيروى	سرعت	ضخامت براده	
خطا	شبیه سازی	تجربى	خطا	شبیه سازی	تجربى	برش (m/min)	جدانشدہ (mm)	رديف
31%	18	26	35%	39	60	25	0.044	1
37%	19	30	27%	48	66	50	0.044	2
24%	32	42	17%	75	90	26	0.094	3
12.5%	35	40	13%	80	92	52	0.094	4
8%	48	52	6%	110	117	24	0.141	5
8%	55	60	12%	115	131	48	0.141	6
6%	63	67	2%	150	147	24	0.188	7
6%	65	69	8.5%	140	153	47	0.188	8
14%	75	87	6%	200	189	25	0.282	9
5%	85	81	5%	195	185	49	0.282	10
20%	90	75	11%	175	158	22	0.380	11
14%	95	83	17%	220	188	45	0.380	12
15.4	46%	,	یانگیز خطا	٩	13.	29%	انگین خطا	مي

Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-19

5



Fig. 6 Comparison between experimental and simulated cutting forces obtained from calculated equation

شکل 6 مقایسه نیروهای برشی تجربی و شبیهسازی شده با معادله بنیادی تعیین ضرایب شدہ



Fig. 7 Comparison between experimental and simulated feed forces obtained from calculated equation

شکل 7 مقایسه نیروهای پیشروی تجربی و شبیهسازی شده با معادله بنیادی تعيين ضرايب شده

ضرایب تعیین شده در مقایسه با تستهای تجربی انجام گرفته، اختلاف اندکی دارد و می توان نتیجه گرفت که شبیه سازی انجام شده قابلیت پیش بینی نیروها در شرایط متفاوت ماشین کاری را دارا میباشد. علل مختلفی برای خطاهای موجود قابل بیان است. از جمله این که علی رغم پیش بینی های لازم برای کاهش تاثیر پدیده اصطکاک در انجام تستهای فشردن، باید توجه کرد که تاثیر اصطکاک را نمی توان به صفر کاهش داد. از طرف دیگر نوع تغییر شکل در ماشین کاری از نوع برشی میباشد در حالی که در تستهای فشردن، از نوع فشاری میباشد. همچنین شبیهسازی فرآیند ماشینکاری به روش المان محدود، طبق تئوری ماشین کاری متعامد بوده و در آزمایش های تجربی نیز سعی شده است که فرآیند بطور متعامد انجام شود. اما با انتخاب دیسک تراشی برای رسیدن به این هدف، ماشین کاری متعامد به صورت کامل محقق نمی شود. یکی دیگر از عوامل ایجاد خطا دستگاه تراش مورد استفاده برای اجرای تستهای تجربی میباشد که از نوع سبک تراش بوده و در هنگام براده برداری مخصوصا در پیشرویهای زیاد، دچار ارتعاش میشود. این موضوع نیز میتواند توجیه کننده اختلاف مقادیر بدست آمده از تستهای تجربی با نتایج شبیهسازی در پیشرویهای بالا باشد.

در تمامی موارد اشاره شده، ترکیب منابع خطا منجر به ایجاد اختلاف در نتايج مىشوند كه جدا نمودن سهم هر كدام ممكن نخواهد بود. به همين دلیل در آزمایشهای انجام گرفته، میتوان نتایجی را که خطای کمتری دارند با توجه به خطاهای ذکر شده قابل قبول دانست.

6- نتیجه گیری

هدف از این پژوهش، مدلسازی و تعیین رفتار دینامیکی یا به عبارت دیگر تعيين تنش سيلان آلياژ آلومينيوم 5083 تحت شرايط حاكم بر ماشينكارى بوده است. معادله تنش سیلان یکی از مهمترین ورودیهای لازم برای شبیهسازی عددی فرآیندهای ماشینکاری و شکلدهی میباشد. به عبارت دیگر موفقیت و قابل اعتماد بودن نتایج شبیهسازی عددی وابستگی شدیدی به اطلاعات تنش سیلان ماده به صورت تابعی از کرنش، نرخ کرنش و دما دارد. از میان معادلات بنیادی و تئوریهای ارائه شده در زمینه مدلسازی ریاضی تنش سیلان، معادله بنیادی پر کاربرد جانسون- کوک برای این آلیاژ به کار گرفته شده است. برای استخراج ضرایب معادله تنش سیلان این آلیاژ از ترکیب آزمایشهایی با نرخ کرنش پایین (آزمایش فشار) و آزمایشهایی با نرخ کرنش بالا (ماشین کاری) استفاده شده است. آزمایشهای فشار در دمای اتاق و در نرخ کرنشهای مختلف انجام گرفت. آزمایشهای ماشین کاری نیز برای داشتن حالت برش متعامد بهصورت دیسکتراشی با سرعتها و پیشروی های مختلف انجام گرفت. سپس پارامترهای تغییر شکل (کرنش، نرخ کرنش، دما و تنش سیلان) در هر یک از آزمایشها محاسبه شده و با استفاده از برازش منحنی و همچنین ترکیب اطلاعات بدست آمده از تستهای صورت گرفته، ثابتهای معادله برای این آلیاژ محاسبه شدند. برای برآورد میانگین پارامترهای تغییر شکل در ناحیه اول تغییر شکل در ماشین کاری، از تئوری تحلیلی اکسلی که مبتنی بر حالت کرنش صفحهای در ماشین کاری متعامد با برادهی پیوسته بدون لبهی انباشته میباشد، استفاده شده است. برای محاسبه پارامترهای تغییر شکل در حین ماشین کاری از شبیه سازی المان محدود برای تعیین ثابت نرخ کرنش در روابط تحلیلی اکسلی بهره گرفته شده است.

شبیهسازی اجزاء محدود ماشین کاری متعامد با حالت کرنش صفحهای با استفاده از نرمافزار آباکوس انجام و از معادله تعیین ضرایب شده (7) برای مدلسازي رياضي تنش سيلان آلياژ آلومينيوم 5083 استفاده شد.

همانطور که عنوان شد، نتایج حاصل از شبیهسازی با ضرایب محاسبه شده و نتایج تستهای تجربی با یکدیگر مقایسه و مقدار خطای متوسط در برآورد نيروهاي برشي 13.29٪ و نيروهاي پيشروي 15.46٪ مي باشد. اين مقدار خطا با توجه به عوامل موثر در ایجاد خطا، قابل قبول می باشد. در نتیجه با توجه به عدم دسترسی به دستگاه تست دو میلهای هاپکینسون به منظور تعیین ضرایب معادلات بنیادی، میتوان از روش ارائه شده در این مقاله با دقت قابل قبول استفاده كرد.

7- مراجع

- [1] E. M. Trent, P. K. Wrigth, Metal Cutting, 4th Edition, pp. 1-2, Boston: Butterworth-Heinemann, 2000.
- M. C. Shaw, Metal Cutting Principles, Second Edition, pp. 35-62, Oxford: [2] Science Publications, 2005.
- T. H. C. Childs, K. Meakawa, T. Obinakawa, Y. Yamane, Metal Machining, Theory and Applications, 1st Edition, pp. 28-32, Boston: Butterworth-Heinemann, 2000.
- [4] T. H. C. Childs, Material Property Needs in Modelling Metal Machining, Proceidings of CIRP Internation Workshop on Modelling of Machining Operations, Atlanta, USA, pp. 303-316, 1999.
- [5] R. Naghdabadi, M. J. Ashrafi, S. Sohrabpour, Experimental and Numerical Study of Parameters Shaping the Incident Pulse in Split Hopkinson Pressure Bar Test, Aerospace Mechanics Journal, Vol. 4, No. 4, pp. 71-80, 2010. (in (فارسی Persian
- [6] T. Shirakashi, K. Maekawa, E. Usui, Flow stress of low carbon steel at high temperature and strain Rate (Part 1: Propriety of incremental strain method in impact compression test with rapid heating and cooling systems, Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering, Vol. 17, No. 3, pp. 161-166, 1983

- [13] P. Surya, R. Prakash, S.S. Bhattacharya, Some study on superplasticity in a fine grained AA5083 alloy, *International Symposium of Research Students* on Materials Science and Engineering (ISRS 2004), Madras, India, 2004.
- [14] W. S. Lee, C. F. Lin, Plastic deformation and fracture behaviour of Ti-6Al-4V alloy loaded with high strain rate under various temperatures, *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 241, pp. 48-59, 1998.
- [15] Ashvin J. Makadia, J. I. Nanavati, Optimisation of machining parameters for turning operations based on response surface methodology, *Measurment*, Vol. 46, No. 1, pp. 1521-1529, 2013.
 [16] D. Umbrello, Finite element simulation of conventional and high speed
- [16] D. Umbrello, Finite element simulation of conventional and high speed machining of Ti- 6AI-4V alloy, *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 96, No. 1, pp.79-87, 2008.
 [17] G. R. Johnson, W. H. Cook, Fracture Characteristics of Three Metals
- [17] G. R. Johnson, W. H. Cook, Fracture Characteristics of Three Metals Subjected to Various Strains Strain Rates, Temperatures and Pressures, *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 21, No. 1, pp. 31-48, 1985.
- [18] M. J. Nategh, A Machining Force Model Developed for Ultrasonic Vibration-Assisted Turning, through Statistical Analysis of Influential Parameters, *Aerospace Mechanics Journal*, Vol. 4, No. 4, pp. 83-91, 2009. (in Persian فارسی)

- [7] R. Stevenson, Study on the Correlation of Work-piece Mechanical Properties from Compression and Cutting Tests, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 67-79, 1997.
- [8] M. Oyane, F. Takashima, K. Osakada, H. Tanaka, The behaviour of some steels under dynamic compression, *Proceedings of the 10th Japan Congress* on *Testing Materials*, Kyoto: Society of Materials Science, pp. 72-76, 1967.
- [9] Y. B. Guo, An Integral Method to Determine the Mechanical Behavior of Materials in Metal Cutting, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 142, No. 1, pp. 72-81, 2003.
 [10] F. Klocke, D. Lung, S. Buchkremer, Inverse identification of the constitutive
- [10] F. Klocke, D. Lung, S. Buchkremer, Inverse identification of the constitutive equation of Inconel 718 and AISI 1045 from FE machining simulations, 14th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations, pp. 212-217, 2013.
- [11] T. Özel, E. Zeren, Determination of Work Matial Flow Stress and Friction for FEA of Machining Using Orthogonal Cutting Test, *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 153-154, pp. 1019-1025, 2004.
- Processing Technology, Vol. 153-154, pp. 1019-1025, 2004.
 [12] H. Sheikh, S. Serajzadeh, Estimation of flow stress behavior of AA5083 using artificial neural networks with regard to dynamic strain ageing effect, *journal of materials processing technology*, Vol. 196, No. 8, pp. 115–119, 2008.