مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹٤، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ۲۹-۳۳

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

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

بررسی تجربی و شبیه‌سازی سه بعدی فرآیند برقوزنی روی فولاد ابزار سخت شده AISI D2

حجت‌الله رنجبر[۱]، محمدحسین صادقی[۲*]،امیر راستی[۳]، میلاد محمدی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۳- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز
* تهران، صندوق پستی ۱۴۳- ۱۴۱۱۵، sadeghim@modares.ac.ir

چکیده

در این پژوهش شبیه‌سازی المان محدود سه‌بعدی فرایند برقوکاری فولاد سخت صورت گرفت. پارامترهای برش در شبیه‌سازی فرایند برقوزنی بر اساس نتایج تجربی بهینه که منجر به نیروهای برش کوچکتر، لرزش کمتر ابزار برقو و کیفیت سطح بهتر می‌شوند، انتخاب گردیدند. از این شبیه‌سازی برای پیش‌بینی نیروهای برش به عنوان یکی از مهمترین متغیرهای فرآیند برقوزنی استفاده شد. شبیه‌سازی فرآیند براده‌برداری با استفاده از نرم‌افزار المان محدود تجاری SFTC DEFORM-3D و با استفاده از یک کد لاگرنژین صریح صورت گرفت. به منظور یافتن شرایط بهینه برقوکاری و اعتبارسنجی مدل المان محدود نیز آزمایش‌هایی روی قطعه‌کار از جنس فولاد ابزار D2 سخت کاری شده انجام گردید. پارامترهای برش شامل نرخ پیشروی و سرعت برش تغییر داده شده و نیروی برش در آزمایش‌های شبیه‌سازی و تجربی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که نتایج عددی اعتبارسنجی بسیار خوبی با نتایج تجربی دارد و خطای حدود ۱۰ درصد مشاهده گردید. در آخر تاثیر پارامترهای ورودی درآزمایش‌های شبیه‌سازی و تجربی روی نیروی برش مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده شد که با افزایش نرخ پیشروی خطای حاصل از شبیه‌سازی کمتر می‌شود و این نشان می‌دهد که هر چقدر حجم براده‌برداری پایین‌تر باشد بایستی از مشی با چگالی بیشتر و کیفیت بالاتر استفاده کرد.

کلید واژگان: برقوکاری، شبیه‌سازی المان محدود، نیرو

Experimental investigation and 3D simulation of reaming process on AISI D2 hardened tool steel

Hojjatollah Ranjbar[1], Mohammad Hosein Sadeghi[1*], Amir Rasti[1], Milad Mohammady[2]

1-Faculty of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- Faculty of Mechanical Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran
* P.O.B. 14115 - 143 Tehran, Iran, sadeghim@modares.ac.ir

ABSTRACT

In this study, 3D finite element simulation of reaming process has been carried out on the hard steel. The cutting parameters in the simulation process were selected based on the optimum experimental results which lead to the smaller cutting forces, lower vibration of the reaming tool and better surface quality. This simulation was used to predict cutting forces as one of the most important reaming output variables. Simulation of material removal process was performed by commercial finite element software SFTC DEFORM-3D and using the explicit Lagrangian code. In addition, some empirical experiments were done on the hardened D2 tool steel workpieces to find the optimum reaming condition and validation of finite element model. Cutting parameters including feed rate and cutting speed were changed and cutting forces were measured, experimentally. The results showed that the numerical results have a good consistency with the experimental one and average difference of 10% was seen. Finally, the effect of input parameters on the cutting force at the simulation and experimental test were investigated. It was seen that the cutting forces error is reduced between two analyses by increasing the feed rate. This indicates that the meshes with higher quality and density are required in lower removal rate.

Keywords: Finite Element Simulation, Force, Reaming

۱- مقدمه

فرآیند برقوزنی به‌طورکلی برای افزایش قطر یک سوراخ ایجاد شده استفاده می‌شود. سوراخ اولیه با فرآیند سوراخ‌کاری یا ممکن است با ریخته‌گری ایجاد شده باشد. هدف از برقوزنی ایجاد دقت قطری صحیح با تلرانس‌های تنگ‌تر برای دستیابی به کیفیت سطح مورد نیاز، راست کردن سوراخ اولیه ایجاد شده و هم‌مرکز کردن سوراخ با قطر خارجی می‌باشد.

در سال‌های اخیر، پژوهشگران تحقیقات گسترده‌ای به‌منظور توسعه ابزارهای برش جدید و توانا ساختن آن ها برای ماشین‌کاری مواد خیلی سخت، مانند فولادهای ابزار انجام داده‌اند. برقوزنی در حالت خشک و با برقوی چند لبه می‌تواند جایگزین فرآیند سنگ‌زنی در خودروسازی و صنعت قالب-سازی باتوجه به کاهش زمان پرداخت ماشین‌کاری، کاهش هزینه ساخت، از بین بردن نگرانی‌های زیست محیطی با برقوزنی خشک و بهبود کیفیت سطح قطعات باشد.

اگر چه برقوزنی سخت در صنعت کنونی آنقدر معرفی نشده است ولی می‌تواند بیشتر مورد توجه باشد. این فرآیند ممکن است بیشتر با پدیده‌های فیزیکی مانند تغییر شکل پلاستیک، تماس اصطکاکی، اتصال مکانیکی-

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

H. Ranjbar, M.H. sadeghi, A. Rasti, M. Mohammady, Experimental Investigation and 3D Simulation Reaming Process on AISI D2 Tool Steel Hardened, *Modares Mechanical Engineering*, *Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 29-33, 2015 (in Persian فارسی)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-24]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.34.4]

حرارتی و مکانیزم تشکیل براده روبرو باشد. در برقوزنی سخت فولادهای ابزار انرژی به‌صورت تغییر شکل ماده، اصطکاک چسبنده و لغزنده و حتی ممکن است موجب انحراف ابزار شود که که در نهایت تمامی این‌ها تبدیل به انرژی گرمایی می‌شود. بخشی از حرارت تولیدی به ابزار برش و قطعه‌کار انتقال می‌یابد، در حالی که اکثریت حرارت تولیدی در براده تلف می‌شود. ناحیه‌ی برش در معرض اکثریت حرارت می‌باشد، بنابراین تماس طولی بین براده و ابزار تاثیرهای قابل توجهی روی نیروهای برش، عمر ابزار برش، پرداخت سطح، تلرانس‌های ابعادی و هندسی، اعوجاج قطعه‌کار، تنش پسماند و شکل براده دارد. از طرفی دیگر به‌علت باربرداری بسیار پایین فرآیند برقوزنی[1]، کوچکترین تغییر در پارامترهای برش، کیفیت سطح نهایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

برای فراهم کردن ترکیب مطلوبی از پارامترهای برش از نرم‌افزار[2] المان محدود[3] برای مدل کردن فرآیند برقوزنی استفاده شد. روش المان محدود یک ابزار قدرتمند در شبیه‌سازی[4] فرآیندهای برش می‌باشد. می‌توان از عملکرد فرم براده‌ی ماده‌ی برش، پارامترهای بسیار سخت فرآیند را برای آزمایش‌های تجربی پیش‌بینی کرد. از این رو نیروهای برقوزنی جدید از روش توسعه یافته‌ی شبیه‌سازی المان محدود یکپارچه روی فرآیند برش با اصلاح مدل به کمک آزمایش‌های تجربی پیش‌بینی می‌شود.

پژوهشگران بسیاری در زمینه شبیه‌سازی فرآیندهای ماشین‌کاری کار کرده‌اند اما تحقیقات اندکی در زمینه برقوزنی انجام شده است.

دیویم و همکاران [۱]، شبیه‌سازی المان محدود ماشین‌کاری فولاد AISI D2 را با تجربی مقایسه کردند. در رابطه با برخی از پارامترهای خروجی مانند نیرو، دما و تغییر شکل پلاستیک، تفاوت بین نتایج تجربی و شبیه‌سازی عددی بسیار ناچیز به دست آمد که نشان از پیش‌بینی قابل قبول و دقت بالای مدل شبیه‌سازی دارد. آمبرلو و همکاران [۲] به مطالعه تغییرات میکروساختاری[5] هنگام ماشین‌کاری آلیاژ اینکونل ۷۱۸ با استفاده از شبیه‌سازی المان محدود پرداختند. هدف آنها ایجاد یک مدل المان محدود قابل اطمینان به‌منظور بررسی‌های میکروساختاری در ماشین‌کاری بود. نیروهای برش، هندسه براده و ماکزیمم دما با در نظر گرفتن یک مدل ماده مناسب در نرم‌افزار المان محدود به‌دست آورده شد. سپس مدل عددی المان محدود با نتایج تجربی مقایسه و کالیبره گردید. از نتایج حاصله دریافت شد که مدل ماده‌ی مناسب و انتخاب دقیق پارامترهای آن، تاثیر بسزایی روی دقت شبیه‌سازی فرآیند برش دارد. بهبودی دقت مدل المان محدود به پارامترهای شبیه‌سازی شامل مقدار آسیب، ضریب انتقال حرارت کل و ثابت‌های اصطکاک بستگی دارد و این پارامترها با انجام ۱۰ تست تجربی تکراری کالیبره گردید. در آخر میزان خطای حاصل از تصدیق فرآیند به کمتر از ۱۶٪ دریافت شد.

ونیک و همکاران [۳]، تاثیر خطاهای فرآیند و عدم هم‌محوری را روی نیروهای برش و کیفیت سوراخ تولیدی را در فرآیند برقوزنی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از مدل نیروی برش و ضخامت براده به‌منظور پیشگویی جابجایی ابزار، نیروی محوری، گشتاور و متوسط شعاع برقو شده استفاده کردند و مدل آن‌ها به خوبی انحراف‌های ابزار را نشان داد. هورست و همکاران [۴] عمق تنش پسماند و حرارت تولیدی را در فرآیند برقوزنی با استفاده از روش المان محدود سه‌بعدی بررسی کردند و دریافتند که برقوزنی می‌تواند مکانیزم تشکیل تنش پسماند را کاهش دهد و نتایج حاصل از تجربی صحت نتایج را نشان داد. آرازولا و همکاران [۵] از مدل المان محدود برای به دست آوردن اصطکاک در طی ماشین‌کاری استفاده کردند. آن‌ها با به‌کار بردن ضرایب اصطکاک مختلف در فصل مشترک ابزار- براده، نتایج مطلوبی با در نظر گرفتن نیروی پیشروی به دست آوردند. اوزل و همکاران [۶]، یک مدل محاسبه‌ای از فرآیند ماشین‌کاری سه‌بعدی با درنظر گرفتن تاثیر هندسه‌ی لبه‌ی برش بر نیروها، تنش، اصطکاک و سایش ابزار را مورد مطالعه قرار دادند. آنها همچنین دما، توزیع تنش و کانتور سایش ابزار و مزیت متغیرهای طراحی میکروهندسه لبه برش ابزار را تعیین کردند. اکبر و همکاران [۷]، یک مدل پیشگویانه از متوسط حد فاصل حرارتی در ماشین‌کاری فولاد آلیاژی ۴۱۴۰ را بررسی کردند. نتایج نشان داد که کاهش حد فاصل حرارتی برای پوشش TiN آشکارتر است.

در این پژوهش، مدل المان محدود سه‌بعدی به‌منظور بررسی تاثیر سرعت دورانی و نرخ پیشروی بر روی نیروهای فرآیند و اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی با مدل تجربی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مدل ماده

از آن‌جایی‌که در بیشتر فرآیندهای ماشین‌کاری، تغییر شکل زیاد همراه با دما و کرنش بالا رخ می‌دهد، مدل ماده بایستی به صورت رضایت‌بخشی رفتار پلاستیک و ترمومکانیک تغییرشکل ماده، که در حین فرآیند براده‌برداری رخ می‌دهد را بیان کند. چندین مدل ماده مانند معادله ترکیبی جانسون کوک (معادله ۱) برای بیان رفتار ماده بیان شده است که در آن اثرات کرنش، نرخ کرنش و دما در نظر گرفته شده است [۸]. در این پژوهش از این مدل برای تعریف رفتار ماده در حین براده‌برداری استفاده گردید.

$$\sigma = (A + B\varepsilon^n).(1 + C.\mathrm{Ln}(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0})).\left[1 - \left[\frac{T - T_r}{T_m - T_r}\right]^m\right] \quad (۱)$$

در معادله (۱)، ε کرنش پلاستیک، $\dot{\varepsilon}$ نرخ کرنش، $\dot{\varepsilon}_0$ نرخ کرنش پلاستیک مرجع، $T(°C)$ دمای قطعه‌کار، T_{melt} دمای جوش ماده قطعه‌کار و T_{room} دمای اتاق می‌باشد. در مدل جانسون کوک ثابت A در حقیقت استحکام تسلیم ماده در دمای اتاق، B مدول سختی، C ضریب حساسیت نرخ کرنش، n ضریب سختی و m ضریب نرمی حرارتی می‌باشد. این ثابت ها با استفاده از پژوهش‌های قبلی انجام شده برای فولاد ابزار AISI D2 به‌دست آمده و در جدول ۱ بیان شده است [۹].

۳- مدل المان محدود سه‌بعدی

قطعه‌کار به صورت ماده‌ی ویسکو الاستیک[6] و ابزار با یک بدنه‌ی صلب در مدل المان محدود سه‌بعدی تعریف شد. هندسه ابزار برقو مطابق با کاتالوگ ابزار مورد استفاده در آزمایش تجربی با استفاده از نرم‌افزار طراحی سه‌بعدی کشیده و به محیط شبیه‌سازی انتقال داده شد. در شکل ۱ مدل طراحی شده ابزار با تصویر فیزیکی ابزار برقو نشان داده شده و همچنین مشخصات هندسی ابزار برقو در جدول ۱ بیان شده است. مش‌بندی ابزار شامل ۱۶۴۱۷۳

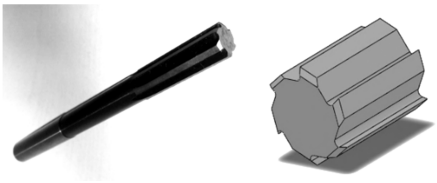
جدول ۱ ثابت‌های جانسون کوک برای فولاد ابزار AISI D2 سخت شده [۹]

θ_{melt}K	n	m	C	B (MPa)	A (MPa)
۱۷۳۳	./۳۱۲	۳/۳۸	۰/۰۱۲	۹۰۴	۱۷۶۶

1. Reaming
2. Software
3. Finite Element
4. Simulation
5. Microstructure

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-24]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.34.4]



شکل ۱ برقوی مورد استفاده در انجام آزمایش‌های تجربی و عددی

المان با اندازه‌های بین ۸۵ تا ۳۰۰ میکرون تعریف شد. لبه‌های برش فعال ابزار با چگالی مش نسبتا بیش‌تری با توجه به ویژگی‌های خاص ابزار بیان شده است.

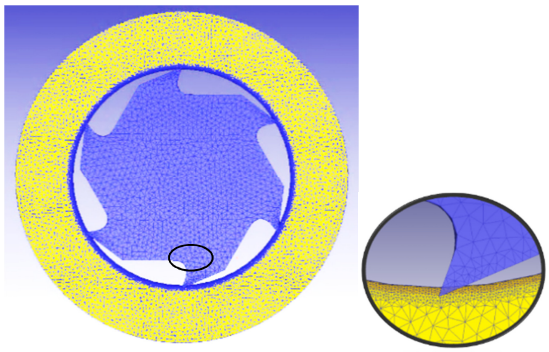
در این مطالعه سه پارامتر اصلی فرآیند برقوزنی در نظر گرفته شد؛ سرعت اسپیندل (N)، پیشروی (f_z) و عمق برش محوری (a_p). قطعه‌کار به صورت یک قطعه‌ی استوانه‌ی شکل با ارتفاع ۲ میلی‌متر، قطر خارجی ۱۵ میلی‌متر و قطر داخلی ۹/۸ و ۹/۹ میلی‌متر توسط نرم‌افزار طراحی سه‌بعدی کشیده شد. مش‌بندی قطعه‌کار با ۷۱۸۰۸۰ المان انجام گردید. حداقل و حداکثر اندازه‌ی المان‌ها برای قطعه‌کار بین ۴۰ تا ۲۰۰ میکرومتر در نظر گرفته شد. در ناحیه برش از مش موضعی با تعداد المان‌های بیشتر استفاده گردید. شکل ۲ نمایی از مدل هندسی ابزار و قطعه‌کار و نوع مش‌بندی آن را در قسمت‌های مختلف، نشان می‌دهد. برای هر دو مدل ابزار و قطعه‌کار مش ۴ وجهی هرمی تعریف شد. به‌طورکلی یکپارچگی عددی برای محاسبه‌ی معادله‌های المان ۴ وجهی خطی نیاز نیست، به طوری‌که که یکپارچگی تحلیلی می‌تواند به آسانی با اعمال مختصات ۴ وجهی به‌دست آید [۴].

خواص فیزیکی حرارتی قطعه‌کار و ثابت‌های تماسی در جدول ۳ بیان شده است. تا آن‌جا که به مدل اصطکاک ماده مربوط می شود، یک مدل ساده مبتنی بر فرضیه‌های برشی با فاکتور برشی ۰/۶ در نظر گرفته شد.

از دیگر ملاحظات مربوط به سطح تماس ابزار و قطعه‌کار ضریب انتقال حرارت h می‌باشد، که در شبیه‌سازی عددی ترمومکانیکی مقدماتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولا بیشترین مقدار h پذیرفته می‌شود و فرض بر این است که شرایط انتقال حرارت در فصل مشترک ابزار و قطعه‌کار به طور کامل باشد [۱۱].

جدول ۲ مشخصات هندسی ابزار برقو

هندسه ابزار	اندازه‌ها	هندسه ابزار	اندازه‌ها
قطر (mm)	۱۰	زاویه مارپیچ (درجه)	۰
طول ابزار (mm)	۱۱۰	زاویه آزاد (درجه)	۱۲
تعداد شیارها	۶	زاویه چمفر (درجه)	۴۵
زاویه براده (درجه)	۱۵	طول چمفر (mm)	۱



شکل ۲ مدل مش ابزار و قطعه کار و نمایی از چگالی مش در ناحیه برش

جدول ۳ مشخصات مکانیکی، حرارتی و تماسی فولاد ابزار AISI D2 [۱۰]

مشخصات حرارتی	
رسانایی گرمایی (W/mK)	۲۱
ظرفیت گرمایی ویژه (J/kg°c)	۴۶۰
مشخصات مکانیکی و فیزیکی	
چگالی (kg/mm^3)	۷/۶۴
سختی (HRC)	۵۵
مدول الاستیسیته (GPa)	۱۸۰
استحکام تسلیم (MPa)	≥۳۲۰
استحکام کششی (MPa)	۷۲۰-۱۲۶۰
ضریب پواسون	۰/۳
پارامترهای تماسی	
ضریب اصطکاک	۰/۶
ضریب انتقال گرما	۴۰

با توجه به مشکلات شناخته شده از معیارهای جداسازی براده[1] در حال تشکیل، برای شبیه‌سازی جداسازی ماده در قالب یک تراشه از بقیه قطعه‌کار از یک تکنیک مش‌زنی مجدد استفاده شد [۱۲]. در طول ماشین‌کاری فولاد ابزار AISI D2 ، تنش‌های کششی نقش مهمی را ایفا می‌کنند، بنابراین اثر آن باید در پاسخ به مواد از قبیل معیار شکست درنظر گرفته شود. در این پژوهش از معیار کاکرافت و لاتامز [۱۳] برای پیشگویی اثرات تنش کششی روی براده تشکیل شده در طی برش سه‌بعدی استفاده شد. این معیار به صورت معادله (۲) بیان می‌شود؛

$$\int_0^{\varepsilon_f} \sigma_1 \, d\varepsilon = D \qquad (۲)$$

که ε_f تنش موثر، σ_1 تنش اصلی و D ثابت ماده می‌باشد. در این معیار هنگامی که انتگرال بزرگترین جز تنش کششی اصلی در طول مسیر به کرنش پلاستیک در معادله (۲) می‌رسد، مقدار D معمولا مقدار آسیب[2] نامیده می‌شود و شکست اتفاق می افتد یا براده قطعه قطعه شده شروع می‌شود. مقدار D با استفاده از پژوهش‌های قبلی انجام شده در شبیه‌سازی فولاد ابزار AISI D2 انتخاب گردید [۹].

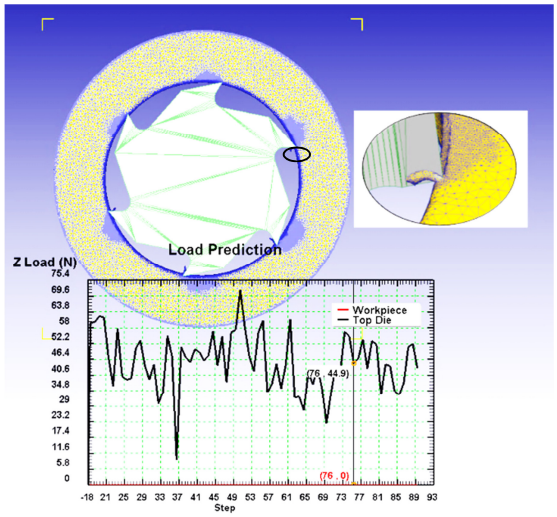
۴- بررسی پارامترهای برش و مقایسه بین نتایج تجربی و عددی

برای اعتبارسنجی مدل برش سه‌بعدی پیش‌بینی شده، نیروی محوری حاصل از آزمایش‌های تجربی و عددی با یکدیگر مقایسه و مورد بحث قرار گرفته است. لازم به ذکر است که بعد از اعتبارسنجی مدل عددی به راحتی می‌توان خروجی‌های دیگر نظیر دما، تنش، کرنش و غیره را در حین فرآیند به‌دست آورد. نمودار حاصل از شبیه‌سازی نیرو همراه با شماتیک براده برداری سه بعدی فرآیند برقوزنی در سرعت دورانی ۱۲۰ دور بر دقیقه، پیشروی ۰/۰۵ میلی‌متر بر دور و عمق برش شعاعی ۰/۰۵ میلی‌متر در شکل ۳ نشان داده شده است. این نمودار نشان دهنده نیروی وارد بر ابزار برقو است. این نیرو حاصل از درگیری ابزار در شروع فرآیند برقوزنی می‌باشد و متوسط این نیرو با متوسط کمترین نیروی حاصل از آزمون تجربی، به این علت که نیرو در شروع فرآیند اندازه‌گیری شده است، مقایسه گردید.

1.Chip Removal
2. Damage

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-24]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.34.4]



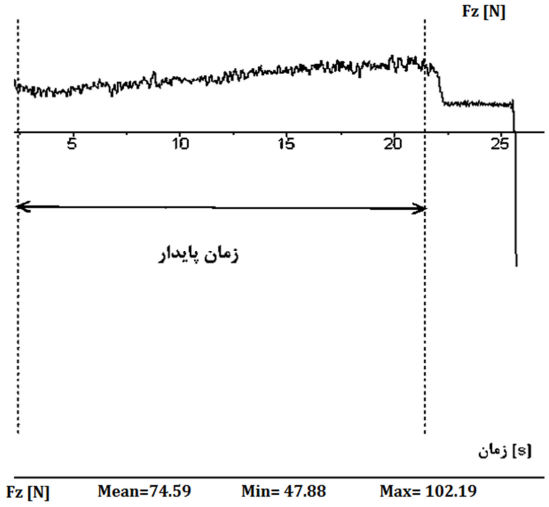
شکل ۳ نمودار نیروی محوری حاصل از شبیه‌سازی فرآیند برقوزنی در سرعت دورانی ۱۲۰ rpm، پیشروی ۰/۰۵ mm/rev و عمق برش شعاعی ۰/۰۵ mm

در طی این پژوهش نیروی تجربی فرآیند با استفاده از دینامومتر پیزوالکتریک کیستلر[1] اندازه‌گیری شد. شکل ۴ نمودار نیرویی حاصل از آزمایش تجربی را در همان ترکیب پارامترهای ذکر شده در شکل ۳ را نشان می‌دهد. در تمام نمودارهای اندازه‌گیری شده در آزمایش‌های تجربی، نیرو در شروع برقوزنی کم و به مراتب در انتهای سوراخ بیشینه است. این افزایش نیرو می‌تواند به‌دلیل بیش‌تر شدن سطح تماس ابزار برقو با دیواره سوراخ از ابتدا تا انتهای سوراخ - باشد. هر دو نمودار شبیه‌سازی و تجربی نوسان زیاد نیرو را در حین براده-برداری نشان می‌دهد. نوسان نیروی حاصل از شبیه‌سازی می‌تواند به دلیل وقفه‌ای که در بین جدایی یک المان از قطعه‌کار و شروع براده‌برداری از المان بعدی رخ می‌دهد، باشد و غیریکنواختی نوسان‌ها به علت هم اندازه نبودن برخی از المان‌ها است.

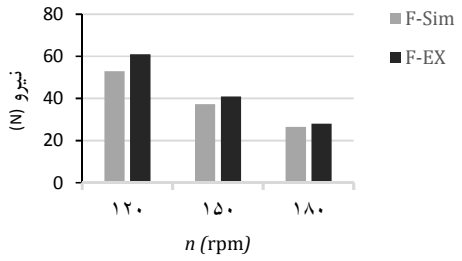
شکل ۵ مقایسه‌ای بین نیروهای تجربی و شبیه‌سازی در سرعت‌های دورانی متغیر را نشان می‌دهد. در هر دو روش دیده می‌شود که نیروهای برش در سرعت‌های برش بالاتر کاهش می‌یابد. این کاهش نیرو به علت نرم شدن حرارتی بیش از حد لایه‌های نزدیک به سطح برش با توجه به نرخ کرنش بالاتر می‌باشد و جدایش براده به راحتی صورت می‌گیرد. در شکل ۶ نیروهای برش از لحاظ نرخ پیشروی در هر دو روش شبیه‌سازی و تجربی بررسی و مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش پیشروی، نیرو به علت افزایش ضخامت براده جدا نشده و حجم براده‌برداری بیش‌تر افزایش می‌یابد.

با مقایسه بین نتایج پیش‌بینی شده و تجربی که در۶ آزمایش ترکیبی، همان‌طور که در شکل ۵ و ۶ مشاهده می‌شود، تقریبا برای پارامترهای مورد بررسی، موافقت خوبی بین نتایج پیش‌بینی و شبیه‌سازی برای نیروی محوری در برقوزنی دیده می‌شود. بازه خطای مشاهده شده در این ۶ آزمایش بین ۱۵٪ تا ۶٪ می‌باشد. این مقدار خطا نشان می‌دهد که مدل پیش‌بینی اعتبارسنجی[2] مطلوبی با مدل تجربی دارد و این مدل با دقت مناسبی می‌تواند در به‌دست آوردن سایر متغیرهای موضعی مانند تنش، کرنش، دما و غیره استفاده شود.

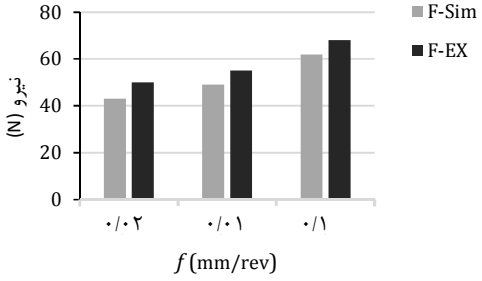
1. Kistler
2. Validation



شکل ۴ نمودار تجربی نیروی برقوزنی در دور ۱۲۰ rpm، پیشروی ۰/۰۵ mm/rev و عمق برش شعاعی ۰/۰۵ mm



شکل ۵ پیش‌بینی عددی و اندازه‌گیری تجربی نیروی محوری برش در سرعت‌های دورانی متغیر



شکل ۶ پیش‌بینی عددی و اندازه‌گیری تجربی نیروی محوری برش در پیشروی‌های متغیر

۵- نتایج

در این مطالعه از شبیه‌سازی برای پیش‌بینی نیروی محوری برش در طی برقوزنی فولاد ابزار AISI D2 سخت شده استفاده گردید. نرم‌افزار المان محدود سه بعدی دیفرم برای مدل کردن فرآیند براده‌برداری در طی برقوزنی مورد استفاده قرار گرفت. اعتبارسنجی مدل تحت شرایط برش مختلف ارزیابی شد. نتایج به صورت خلاصه در ادامه آمده است.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-24]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.34.4]

۱- با مقایسه بین نتایج پیش‌بینی و تجربی میانگین خطای حدود ۱۰ ٪ به‌دست آمد که این نشان می‌دهد که روش عددی اعتبارسنجی مناسبی با نتایج تجربی دارد و می‌توان از روش پیش‌بینی برای به‌دست آوردن متغیرهای موضعی برش مانند تنش، کرنش، دما و غیره بهره برد.

۲- با افزایش پیشروی خطای حاصل از شبیه‌سازی و تجربی کمتر می‌شود و این نشان می‌دهد که هر چقدر حجم براده‌برداری پایین‌تر باشد بایستی از مشی با چگالی بیش‌تر و کیفیت بالاتر استفاده کرد.

۳- به‌علت براده‌برداری بسیار پایین در برقوزنی یکی از حساس‌ترین عامل‌ها نیرو است که هر چقدر پایین‌تر باشد لرزش ابزار کمتر و کیفیت سطح بهتر را منجر می‌شود که بررسی و مقایسه پارامترهای ورودی دقت بالای پیش‌بینی نیرو در شبیه‌سازی فرآیند برقوزنی را نشان می‌دهد.

۴- با مقایسه پارامترهای ورودی دریافت شد که افزایش پیشروی باعث افزایش نیروی برشی می‌شود و افزایش سرعت دورانی کاهش نیرو را نشان می‌دهد.

۶- مراجع

[1] J. P. Davim, C. Maranhão, P. Faria, A. Abrão, J. Rubio, L. R. Silva, Precision radial turning of AISI D2 steel, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 42, No. 9-10, pp. 842-849, 2009.

[2] F. Jafarian, H. Amirabadi, J. Sadri, Integration of finite element simulation and intelligent methods for evaluation of thermo-mechanical loads during hard turning process, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol. 227, No ,2 .pp. 235-248, 2013.

[3] O. Bhattacharyya, M. B. Jun, S. G. Kapoor, R. E. DeVor, The effects of process faults and misalignments on the cutting force system and hole quality in reaming, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 46, No ,12 .pp. 1281-1290, 2006.

[4] H. Brünnet, N. Lyubenova, M. Müller, J. E. Hoffmann, D. Bähre, Verification and Application of a New 3D Finite Element Approach to Model the Residual Stress Depth Profile after Autofrettage and Consecutive Reaming, Procedia CIRP, Vol. 13, pp. 72-77, 2014.

[5] P. Arrazola, D. Ugarte, X. Dominguez, A new approach for the friction identification during machining through the use of finite element modeling, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 48, No. 2 ,pp. 173-183, 2008.

[6] T. Özel, Computational modelling of 3D turning: Influence of edge micro-geometry on forces, stresses, friction and tool wear in PcBN tooling, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 209, No. 11, pp. 5167-5177, 2009.

[7] F. Akbar, P. Mativenga, M. Sheikh, Predictive modelling of average heat partition in high speed machining of AISI/SAE 4140 steel, International Journal of Machining and Machinability of Materials, Vol. 5, No. 2-3, pp. 135-154, 2009.

[8] G. R. Johnson, W .H. Cook, A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures, in Proceeding of, The Hague, The Netherlands, pp. 541-547.

[9] E. C. Becze, A thermo-mechanical force model for machining hardened steel, 2002 .

[10] F. Jiang, L. Yan, Y. Rong, Orthogonal cutting of hardened AISI D2 steel with TiAlN-coated inserts—simulations and experiments, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 64, No. 9-12, pp. 1555-1563, 2013 .

[11] Y-.C. Yen, J. Söhner, B. Lilly, T. Altan, Estimation of tool wear in orthogonal cutting using the finite element analysis, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 146, No. 1, pp. 82-91, 2004 .

[12] K. Ee, O. Dillon, I. Jawahir, Finite element modeling of residual stresses in machining induced by cutting using a tool with finite edge radius, International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 47, No. 10, pp. 1611-1628, 2005 .

[13] C. MG, D. LATHAM, Ductility and workability of metals, Journal of the Institute of Metals, Vol. 96, pp. 33-&, 1968 .

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-24]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.34.4]