مجله مهندسی مکانیک و ارتعاشات، تابستان ۱۳۹۹، دوره ۱۱، شماره ۲، ص‌ص ۶۶-۷۰

فصلنامه
مهندسی مکانیک و ارتعاشات
jvibme.semnaniau.ac.ir

شبیه‌سازی نیروها و ارتعاشات برشی استاتیک و دینامیک برای ابزارهای سرامیکی فرزکاری کارگذاری شده

پرویز قزوینیان*[1]

۱- مربی، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، **دانشگاه آزاد اسلامی**، سمنان، ایران
* سمنان، P_gh32@yahoo.com

اطلاعات مقاله
مقاله پژوهشی کامل
دریافت: ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۹
پذیرش: ۳۱ مرداد ۱۳۹۹
ارائه در سایت: ۳۱ مرداد ۱۳۹۹

کلیدواژگان
ابزار قابل پیوست
نیروهای برشی
کارگذاری های سرامیکی
ارتعاشات

چکیده

ابزار برشی با کارگذاری های سرامیکی به طور فزاینده ای در ماشین کاری آلیاژهای سوپر که معمولا در صنعت هوافضا کاربرد دارد، استفاده می شود. کارگذاری های سرامیکی سرعتهای برش بالاتری را به دلیل مقاومت حرارتی بالاتر در مقایسه با کارگذاری های کاربیدی ایجاد می کنند. اما موفقیت این پروسه خیلی به انتخاب درست پارامترهای پروسه حساس است. در این مطالعه، مدلهای پروسه آنالیتیکی برای ابزار فرزکاری قابل پیوست با کارگذاری های سرامیکی گرد ارائه می شود. این مدلها را می توان برای تعیین پارامترهای برشی برای کیفیت بهینه و بهره وری ماکزیمم بکار برد. ابتدا، هندسه حاشیه های برشی کارگذاری تحت اثر زوایا روی کار گذاری ها فرموله گردید. انگاه یک مدل نیروی برشی تحلیلی ایجاد گردید. این کار به تحلیل اثرات پارامترها روی نیروهای برشی امکان می دهد. یک مدل زمان حوزه نیز برای تحلیل نیروهای برشی دینامیک و حدود ایستایی برای پروسه فرزکاری ایجاد گردیده است. پس از آن، مدلها در متلب GUI اجرا گردید تا کاربردهای مدل را در صنعت اسان سازد. ضرایب همبستگی نیروی برشی که برای محاسبه نیروهای برشی نیاز است از تست های برش با ماده Inconel718 شناسایی گردید. آنگاه مدل نیروی برشی با تجربیات برشی روایی سازی گردید. بعد از کسب داده های مدل ابزار از طریق تست تپ، نیروها و ارتعاشات برشی دینامیک بوسیله مدل حوزه زمان شبیه سازی گردید. یک سری از شبیه سازی ها انجام گرفت تا حدود ایستایی را در برخی شرایط عملیاتی با استفاده از مدل حوزه زمان تعیین کند و لبهای ایستایی برای ابزار تحت مطالعه رسم گردید.

Simulation of static and dynamic shear forces and vibrations for used milling ceramic tools

Parviz Ghazvinian*[1]

1- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran
* Semnan, P_gh32@yahoo.com

Article Information
Original Research Paper
Received 29 April 2020
Accepted 21 August 2020
Available Online 21 August 2020

Keywords
indexable tool

ABSTRACT

Shear tools with ceramic inserts are increasingly used in the machining of super alloys commonly used in the aerospace industry. Ceramic inserts produce higher cutting speeds due to higher thermal resistance compared to carbide inserts. But the success of this process is very sensitive to the correct choice of process parameters. In this study, analytical process models for attachment milling tools with round ceramic inserts are presented. These models can be used to determine shear parameters for optimal quality and

Please cite this article using:
برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:
Parviz Ghazvinian, Simulation of static and dynamic shear forces and vibrations for used milling ceramic tools, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 11, No. 2, pp. 66-70, 2020 (In Persian)

maximum efficiency. First, the geometry of the implant shear margins was formulated under the effect of angles on the implants. An analytical shear force model was then developed. This allows the analysis of the effects of parameters on shear forces. A field time model has also been developed to analyze the dynamic shear forces and static limits for the milling process. After that, the models were implemented in the MATLAB GUI to facilitate the applications of the model in the industry. The shear correlation coefficients required to calculate the shear forces were identified from shear tests with Inconel718. Then the shear force model was validated with shear experiences. After obtaining the instrument model data through pulse test, the forces and dynamic shear vibrations were simulated by the time domain model. A series of simulations were performed to determine the static limits in some operating conditions using the time domain model and static edges were drawn for the tool under study.

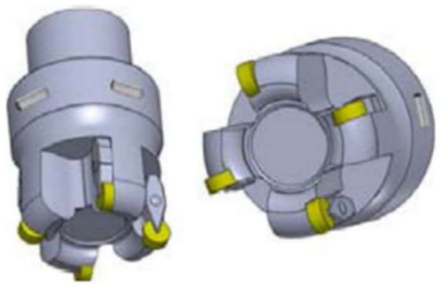
cutting forces
ceramic inserts
vibrations

۱- مقدمه

کار گذاری های سرامیکی گرد نمایانگر مزایای اقتصادی بر سایر انواع کارگذاری هاست چون میزان خروج ماده بالاتر یا MRR به یمن مقاومت حرارتی بالاترشان و ورود تدریجی به برش امکانپذیر می باشد. مدلهای پروسه تحلیلی به پیشگویی های پایایی نیروهای برشی و ارتعاشات ابزار ماشین کاری امکان می دهد، تسهیل کننده انتخاب پارامتر پروسه بهینه است که یک چالشی قبل از ایجاد تست های برشی است. نگرانی های اصلی کنترل نیروهای برشی و اجتناب از ارتعاشات تند و پی در پی می باشد چون بزرگی نیروهای برشی بالا و در حال نوسان عموما نشان دهنده تلق تلق کردن است. این ، عامل محدود کننده اصلی برای افزایش MRR است چون می تواند باعث مسائل ماشین کاری شدیدی شود (Altintas and Budak, 1995). در کنار آن، مصرف برق و عمر ابزار به بزرگی نیروی برشی بستگی دارد. چندین محقق در مدلهای تحلیلی، عددی و ازمایشی برای پیشگویی نیروها و ارتعاشات برشی کار کرده اند. در گذشته، تحقیق متمرکز بر مدلسازی مکانیک و دینامیک پایانه استاندارد و رویارویی با برشکارهای فرزکاری با هندسه متفاوت مانند استوانه ای، نوک توپی، و سوز تسری است. ابزارهای قابل پیوست در اواسط قرن بیستم ارائه شدند. Fu et al.(۱۹۸۴) کار پیشگامی را در مطالعه برشکارهای فرزکاری هندسی کارگذاری شده ارائه کرد. Altintas (2001) and Engin یک مدل ریاضی تعمیم یافته ای را برای برشکارهای کارگذاری شده تدوین کردند ولی از لحاظ ازمایشی برای اشکال مستطیلی روایی داشت. اخیرا Altintas et al (۲۰۱۲) یک مدل نیروی برشی متحد شده را برای برشکارهای کارگذاری شده ارائه کرده اند که می تواند برای انواع مختلف عملیات ماشین کاری بکار گرفته شود اما از لحاظ ازمایشی برای حاشیه های برش خط مستقیم نیز روایی داشته است. Kim et al (۲۰۰۶) و Liu et al (۲۰۱۲) حاشیه های برشی گرد را در محاسبات نیروی برشی در نظر گرفته اند که از لحاظ ازمایشی روایی داشته است اما بخش دینامیک نیروها توجیه نمی شود. در بخش بعدی، هندسه حاشیه برشی روی کار گذار شرح داده می شود. در بخش ۳، مدل نیروی برشی به تفصیل امده است. مدل زمان حوزه در بخش ۴ توضیح داده شده است. در بخش ۵، تایید نیروهای استاتیک و دینامیک با داده های تجربی ارائه می شود. بالاخره تحلیل ایستایی و نتیجه گیری در بخش۶ و ۷ به ترتیب می اید.

۲- هندسه ابزار

ابزار مورد نظر در تصویر ۱ نشان داده می شود. مدل هندسی آن بر اساس کار ارائه شده توسط Altintas and Engin(۲۰۰۱) تدوین شده است.

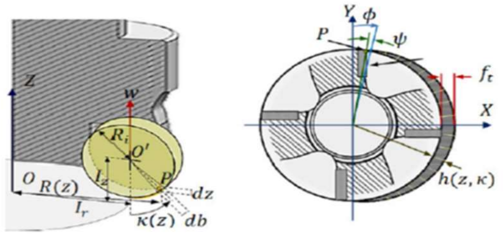


شکل ۱ ابزار قابل پیوست با فروبری‌های گرد

۳- مدل نیروی برشی

حاشیه برشی فروبری در چندین نقطه مجزاسازی شده است و مولفه های نیروی برشی در هر یک از این نقاط هرگاه در ناحیه برش واقع باشند محاسبه شده است. محاسبه نیروهای

دیفرانسیلی تانژانتی مال شعاعی(dFt) ، نرمال شعاعی (dFr) و محوری (dFa) در فرمول ذیل آمده است:



شکل ۲ پارامترهای پروسه و هندسه آن که در محاسبه نیروی برشی دخیل است

۱-۳- ضرایب همبستگی نیروی برشی یا CFC

CFC ها بستگی به تعامل ابزار و قطعه کاری دارد که تحت کنترل پارامترهای برشی است. محاسبه CFC با روش نیمه تجربی مکانیستی مشروحه در رفرانس Budak and (1995) Altintas برای فرزکاریهای نوک استوانه ای اجرا می گردد. این تکنیک نیاز به مجموعه ای از تست های فرزکاری در تغذیه های مختلف به ازای هر دندانه و سرعتهای پرشی دارد. در هر مجموعه، لازم است نیروهای برشی را برای هر جهت در تغذیه های متعدد به ازای هر دندانه (ft) میانگین گیری کرد اما با سرعتهای برشی یکسان (SP). وابستگی خطی نیروهای متوسط از لحاظ میزان تغذیه مفروض است. عبارت تحلیلی برای نیروهای برشکاری متوسط در معادله ذیل ارائه شده است:

(۱)

$$\bar{F}_{xyz} = \frac{1}{\phi}\int_{\phi_{st}}^{\phi_{ex}}\int_{z_1}^{z_2} dF_{xyz}(\phi.z)\,d\phi$$

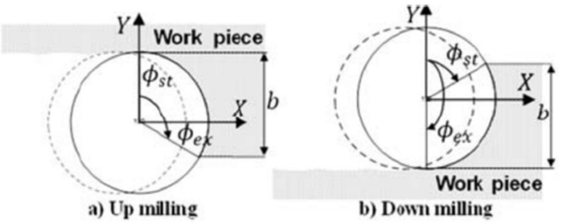
که در آن زاویه گام برای یک برشکار با N کارگذاری فضای یکنواخت ϕ_{st} و ϕ_{ex} شروع و خروج زوایای فروبری شعاعی هستند و z_1 و z_2 مرزهای برش محوری می باشند.

۲-۳- مرزهای اشتغال

زوایای اشتغال، زاویه شروع ϕ_{st} و زاویه خروج ϕ_{ex} تعریف کننده مرزهای اشتغال منطقه برشی است. نیروهای برشی روی کار گذار تنها زمانی رخ می‌دهد که حاشیه برشی کارگذار ابزار درون این مرزها باشد:

$$dF_X(\phi), dF_y(\phi), dF_z(\phi) \rangle 0 \text{ when } \phi_{st} \le \phi \le \phi_{ex} \quad (۲)$$

که در آن ϕزاویه فروبری شعاع محلی می‌باشد. زوایای اشتغال بسته به نوع عملیات فرزکاری و هندسه ابزار دارد. در فرزکاری شکافی، زوایای اشتغال عبارتند از $\phi_{st} = 0°$ و $\phi_{ex} = 180°$ هندسه فرزکاری پایین و فرزکاری بالا در تصویر ذیل نشان داده شده است.



شکل ۲ هندسه پروسه فرزکاری

شعاع ابزار در طول محور ابزار متغیر است که به دلیل شعاع کارگذاری می باشد. از اینرو شعاع موضعی به جای شعاع ابزار در محاسبات مرز اشتغال بکار برده می شود. با این حساب، مرزهای اشتغال بسته به مکان در طول محور ابزار می باشد. زاویای اشتغال براساس کار Ozturk et al. (2011) محاسبه می گردد.

۴-مدل زمان - حوزه

مدل زمان حوزه بر اساس نیروی زایا، مدل انحراف دینامیکی توسط Schmitz and Smith (2008) تدوین گردید. این ابزار به شکل یک بدنه غیر مستحکم برای در نظر گیری انحرافاتش مدلسازی می گردد. طی پروسه فرزکاری نیروهای برشی دینامیک حالات ساختاری سیستم قطعه کار ابزار ماشین را به تحرک واداشته و یک سطح موجی در هر دوره دندانه بر جای می گذارد که با دندانه نوسانی بعدی خارج می شود. با این حساب ضخامت تراشه دینامیک می‌تواند نوسانی باشد و به طور نمایی بسته به تغییر فاز امواج رشد کند. متعاقبا تعویضات بالاتر نوک ابزار و نیروهای برشی بالاتر در چرخه های پیشرونده بوجود می اید. مدل زمان حوزه قادر به پیشگویی این رفتار با شبیه سازی ضخامت تراشه دینامیک، نیروها و تعویضات در مراحل زمان جداگانه است.

۵- تایید مدل های نیرو

مدل نیرو از طریق یک آزمایش نیروی برشی تایید گردید. دو ابزار قابل پیوست استفاده گردید. اولی ۴ فروبری سرامیک گرد منفی دارد و دیگری ۵ فروبری سرامیک گرد مثبت دارد. هر دو ابزار ۶۳ میلیمتر قطر و کلیه فروبری ها ۱۲.۷میلی‌متر قطر دارد. اولین ابزار یک زاویه محوری شیاری °۷- و یک زاویه شیاری شعاعی °۱۳- دارد. دومین ابزار زاویه شیاری محور صفر و زاویه شیاری شعاعی °۳- دارد. یک ماشین مدل StarragHeckert ZT-1000 برای اجرای برشها بکار گرفته شد. ماده قلعه کار ۷۱۸ Inconel بوده است. پروسه فرزکاری شکافی و عمق محوری۱.۵

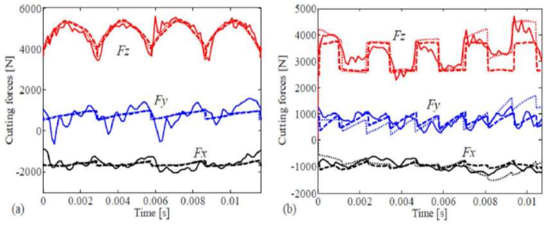
میلی‌متر بوده است. تست های برشی در با هر نوع ابزار انجام گردید. میزان تغذیه در هر یک از این سرعتهای محوری متغیر بوده است. مقادیر میزانهای تغذیه عبارت بود از :mm/tooth ۰/۰۴۶۵، ۰/۰۷۷۵، ۰/۰۹۶۹ و ۰/۱۱۶۲. آنگاه ۱۲ تست برای هر ابزار برشی انجام گرفت. نیروهای برشی با استفاده از دینانومتر کریستلر ۹۲۵۵B اندازه‌گیری گردید. شکل ۴ نشان دهنده تنظیم اندازه‌گیری نیرو می‌باشد.

شکل ۴ اندازه‌گیری نیروهای برشی

CFC ها با استفاده از الگوریتم متلب تخمین زده شده اند که در یک سطح مشترک کاربری گرافیکی یا GUI اجرا گردید. به عنوان یک مثال جدول ۱ نشان دهنده CFC های محاسبه شده به عنوان سرعت چرخشی ۵۱۶۹ rpm می باشد (سرعت برشی ۸۷۵ m/min). برای زوایای تراشه منفی، می‌تواند به طور قابل ملاحظه ای از همانگونه که برای ابزار اول مشاهده شده است، بالاتر باشد.

مدل های نیروی برشی استاتیک و دینامیک نیز با GUI ادغام می گردد. آنگاه نیروهای برشی پیشگویی شده و با داده های ازمایشی مقایسه می گردد. چون اثر ته کشی به وضوح در نیروهای برشی اندازه گیری شده در برخی تست ها به وضوح مشاهده می گردد، با مدل نیروی استاتیک برای داشتن یک توافق بهتر با نیروهای برشی ازمایشی ترکیب گردید. این کار را با توزیع میزان تغذیه به طور غیر یکنواخت در میان فروبری ها انجام دادند.

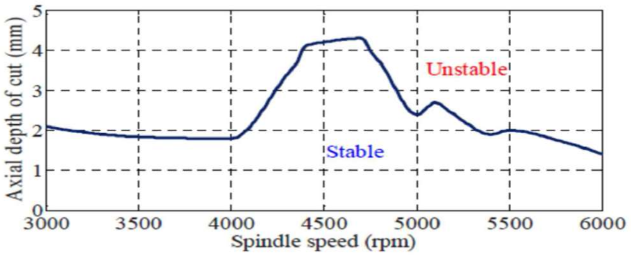
طبق شبیه سازی ها، تست های برشی ازمایشی تحت شرایط ایستا انجام گردید چون بخش دینامیک ضخامت تراشه مهم نیست. ازاین رو نیروهای برشی دینامیک شبیه سازی شده خیلی به نیروهای برشی شبیه سازی شده با استفاده از مدل ابزار مستحکم نزدیک است. نیروهای برشی اولین ابزار ۴۵ درصد بزرگتر F_x ، ۳۵ درصد در F_y و ۷۵ درصد در F_z تقریبا از لحاظ ابزار دوم است (تصویر ۵). این امر با زوایای جهت گیری فروبری مختلف ایجاد می شود. انواع نیروی برشی برای مقایسه نیروی ابزار دوم مشهودتر است. اما برای هر دو نوع، یک توافق خوبی میان نیروهای اندازه گیری شده و پیشگویی شده است.



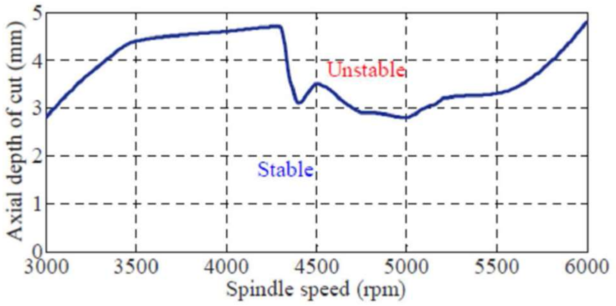
شکل ۵ مقایسه نیروهای برشی اندازه‌گیری شده(خط توپر)، نیروهای برشی استاتیک شبیه‌سازی شده (خط نقطه چین) و نیروهای برشی دینامیک شبیه‌سازی شده (خط تیره‌دار) a) اولین ابزار و b) دومین ابزار

جدول ۱ محدودیت‌های ایستایی

Spindle speed (rpm)	Axial cutting stability limit (mm)	
	Tool 1	Tool 2
۴۳۵۳	۶/۳	۴/۷
۴۷۶۱	۳/۴	۲/۱
۵۱۶۹	۱/۷	۳/۷



شکل ۶ محدودیت‌های ایستایی برای اولین ابزار



شکل۷ محدودیت‌های ایستایی برای دومین ابزار

۶-نتیجه گیری

یک مدل هندسی برای یک ابزار قابل پیوست با فروبری های گرد ارائه گردیده است. مدل های نیروی برشی ایستا و دینامیک برای این نوع ابزار تدوین گردیده و از لحاظ تجربی تایید شده است. صحت منطقی با هر دو مدل نشان داده شده است. از اینرو می توان گفت که ارزیابی های مکانیستی نیمه تجربی از CFC ها مناسب بوده است. محدودیتهای ایستایی برای هر دو ابزار تحت مطالعه پیشگویی گردید. به عنوان یک کار اتی، پیشگویی های محدوده ایستایی با تست های برشی اضافی تایید خواهد شد. بالاخره، مدلهای تدوین شده می تواند برای تسهیل انتخاب پارامترهای برشی بهینه برای پیکربندیهای مختلف یک ابزار غیرقابل پیوست با فروبری های گرد از هر نوع ماده ای با کاهش زمان و هزینه کارهای برشی استفاده گردد.

۷-مراجع

[1] Y. Altintas, E. Budak, Analytical Prediction of Stability Lobes in Milling. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 44, pp. 357-362, 1995.

[2] H.J. Fu, R.E Devor, S.G Kappor, A Mechanistic Model for the Prediction of the Force System in Face Milling Operations. *ASME Journal of Engineering for Industry*, Vol. 106, pp. 81- 85, 1984.

[3] S. Engin, and Y. Altintas, Mechanics and Dynamics of General Milling Cutters. Part II: Inserted Cutters. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 41, pp. 2213-2231, 2001.

[4] Y. Altintas, Z. Kilic, M. Kaymakci, Unified Cutting Force Model for Turning, Boring, Drilling and Milling Operations, *International Journal of Machine Tools and Manufacture,* Vol. 54, No. 55, pp. 34-45, 2012.

[5] S.J. Kim, H.-U. Lee., D. Cho, Feed Rate Scheduling for Indexable End Milling Process Based on an Improved Cutting Force Model, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 46, pp. 1589-1597, 2006.

[6] Z.Q. Liu, C. Cao, J. Du, Z.Y. Shi. Effect of Cutting Speed on Surface Integrity in High Speed Machining Nickel- Based Superalloy Inconel, *Materials Science Forum*, Vol. 718, pp 697, 208–212, 2011.

[7] E. Ozturk, C.M. Taylor, S. Turner, M Devey, Modelling and Development of a High Performance Milling Process with Monolithic Cutting Tools*, AIP Conf*, Vol. 1353. pp. 663-668, 2012.

[8] T.L Schmitz, K.S Smith, Machining Dynamics: Frequency Response to Improved Productivity. Springer, 2008.