Archive of SID

مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹٤، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص ص ۹۰-۹٤

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 تاثیر پارامترهای ماشین‌کاری بر روی صافی سطح در عملیات فرزکاری با استفاده از میز هگزاپاد

رضا احدی[۱]، علی ربانی[۱]، محمدجواد ناطق[۲*]

۱- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

* تهران، صندوق‌پستی ۱۴۳-۱۴۱۱۵، nategh@modaresac.ir

چکیده

در سال‌های گذشته ماشین‌ابزار هگزاپاد با شش درجه آزادی مورد توجه بسیاری از محققان و صنعت‌گران برای رسیدن به اهدافی چون چالاکی و سرعت بالای ماشین‌کاری قرار گرفته است. سطوح با شکل آزاد از جمله سطوح پرکاربرد در صنعت امروز می‌باشند. از این سطوح در صنایع خودروسازی، هوا و فضا به وفور استفاده می‌گردد. بنابراین ماشینکاری این سطوح از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. برای میان‌یابی سطوح با شکل آزاد از منحنی‌های نربز استفاده می‌شود که در نرم‌افزارهای مکانیکی کاربرد خاص خود را دارند. برای بررسی کیفیت سطح ماشین‌کاری شده، زبری سطح نهایی حائز اهمیت است و مهم ترین شاخصه سطح ماشین‌کاری شده است. در این پژوهش، تاثیر پارامترهای مختلف ماشین‌کاری مانند عمق برش، سرعت پیشروی و سرعت برشی بر روی صافی سطح و میزان زبری مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای طراحی آزمایش از روش تاگوچی استفاده شده است. همچنین با استفاده از شبکه های عصبی و الگوریتم ژنتیک بهینه‌ترین حالت برای صافی سطح به‌دست آمده است. نمونه آزمایش از نوع آلومینیوم گرید سه هزار می‌باشد. نتایج نشان داد که سرعت برشی و عمق برش بیشترین تاثیر را بر روی صافی سطح دارد و با افزایش سرعت برشی صافی سطح بهبود می‌یابد. همچنین افزایش عمق برش تاثیر منفی بر صافی سطح دارد.

کلید واژگان: ماشین‌کاری، صافی سطح، هگزاپاد، سطوح نربز، الگوریتم ژنتیک، رگرسیون

Investigation of Machining Parameters Effect on Surface Roughness in Milling with Hexapod Machine Tool

Reza Ahadi, Ali Rabbani, Mohammad Javad Nategh*

Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

* P.O.B. 14115-143 Tehran, Iran, nategh@modares.ac.ir

ABSTRACT

In the last years hexapod machine tool with six degrees of freedom has got the attention of experts for achieving high dexterity and high speed machining. Free form surfaces are widely used in today industries. These surfaces are much encountered in aerospace, auto and other industries. Therefore machining of these surfaces is very important. For interpolation of free form surfaces, NURBS curves are commonly used. For investigating the quality of machined surface, final surface roughness is very important and is the most important feature of machined surface. In this study the effect of machining parameters such as cutting depth, feed rate and cutting speed on surface roughness were investigated. Design of experiments was done using Taguchi method. Then with using of neural network and genetic algorithm the best case for surface roughness was achieved. The cutting tool used in this study was ball end-mill and the work piece was aluminum of three thousand series. The results showed that cutting speed and depth of cut had the most effect on the surface roughness.

Keywords: Machining, Surface Roughness, Hexapod, NURBS Surfaces, Genetic Algorithm, Regression.

۱- مقدمه

ماشین‌ابزار هگزاپاد به عنوان ماشین‌ابزاری که دارای شش درجه آزادی و هم چنین از چالاکی بالایی برخوردار است، جایگاه ویژه‌ای در ماشین‌کاری قطعات با شکل دلخواه دارد. ماشین‌کاری سطوح و منحنی‌های آزاد نیز در تولید قطعات پیچیده در صنایع مختلف مانند هوافضا، قالب‌سازی و غیره کاربرد فراوانی دارند. در همین زمینه در دستگاه‌های فرز تلاش‌های زیادی صورت پذیرفته است. بعضی از محققان با استفاده از دستگاه فرز پنج محوره به ماشین‌کاری منحنی‌های ساده پرداختند و توانستند راندمان فرآیند را تا ۲۰ درصد افزایش بدهند که البته این فرآیند نیازمند تجهیزات خاص می‌باشد [۱]. ورنر و همکاران به بررسی مهندسی معکوس سطوح با شکل دلخواه پرداختند. آن‌ها از معادلات نربز برای تقریب ساختار سطح بهره بردند و با استفاده از یک فرز سرکروی به ماشین‌کاری سطح مورد آزمایش پرداختند. آن‌ها در نهایت زمان و هزینه را بین این روش و روش سنتی مقایسه کردند [۲].

بوزاکیس و همکاران به بررسی نیرو و صافی سطح در ماشین‌کاری سطوح با شکل دلخواه پرداختند. آن‌ها استراتژی های مختلف را آزمایش کردند و در هر حالت صافی سطح را ارزیابی نمودند. در انتها نیز بهینه‌ترین حالت برای صافی سطح را به دست آوردند [۳].

وسنیکوس و برناردوس با استفاده از شبکه‌های عصبی و روش طراحی آزمایش تاگوچی صافی سطح را در کف تراشی با استفاده از دستگاه CNC پنج محوره به دست آوردند. آن‌ها نشان دادند که پیش‌بینی آن‌ها خطای حدود ۱/۸۶درصد دارد [۴].

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

R. Ahadi, A. Rabbani, M J. Nategh, Investigation of Machining Parameters Effect on Surface Roughness in Milling with Hexapod Machine Tool, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 90-94, 2015 (in Persian فارسی)

www.SID.ir

Archive of SID

بوجلبین و همکاران به بررسی تغییرات ساختار و صافی سطح با تغییرات سرعت برشی در فرزکاری پنج محوره پرداختند. آن‌ها شش استراتژی مختلف برای فرزکاری سطوح نربز[1] معرفی کردند و کیفیت سطح نهایی آن‌ها را بررسی کردند. در نهایت آن‌ها حالتی را که در آن بهترین صافی سطح به دست آمد، معرفی کرده و به تحلیل پارامترهای آن پرداختند [۵].

وی‌لی و همکاران در سال ۲۰۰۸ به استخراج حرکت ابزار در منحنی های پیچیده پرداختند. آن‌ها در ابتدا مجموعه‌ای از خطوط دایره ای و خطی را به منحنی های نربز تبدیل کردند. سپس این منحنی‌ها را هموار نموده و در انتها حرکت ابزار را برای پیمایش این منحنی‌ها استخراج نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که با این روش نوسانات پیشروی و شتاب در این حالت نسبت به حالت عادی کاهش چشمگیری داشته است [۶].

موروگان و همکاران به بررسی تغییرات زبری سطح با تغییر پارامترهای ماشین‌کاری پرداختند. آن‌ها با روش تاگوچی طراحی آزمایش کردند و با الگوریتم ژنتیک بهینه‌ترین حالت را برای زبری سطح به دست آوردند [۷].

ژیفنگ ژی آوو و همکاران از منحنی‌های دوآل نربز[2] برای سطوح پیچیده بهره بردند. آن‌ها یک پره توربین را با این روش ماشین‌کاری کردند و با ماشین‌کاری معمولی از طریق G01 مقایسه کرده و به تحلیل صافی سطح پرداختند [۸].

حسن پور و همکاران به بررسی استراتژی‌های مختلف فرزکاری سطوح با شکل دلخواه پرداختند. آن‌ها چهار استراتژی را همراه با تغییر پارامترهای ماشین‌کاری مورد آزمایش قرار دادند. نتایج نهایی آن‌ها حاکی از این است که استراتژی ماشین‌کاری بر روی خواص نهایی قطعه‌کار از جمله سختی و صافی سطح مهم می‌باشد [۹].

جیچون وو و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی نقاط کنترلی سطوح نربز در دستگاه هگزاپاد پرداختند. آن‌ها در این پژوهش بر روی کنترل این نقاط برای دستیابی به یک سطح بهینه تاکید داشتند. در نهایت نیز آن‌ها یک سطح را با استفاده از کدهای G01 و معادلات نربز خود ماشین‌کاری کردند و به تحلیل نتایج پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از این است که روش بیان شده توسط آن‌ها باعث بالا رفتن کیفیت ماشین‌کاری و پایین آمدن زمان ماشین-کاری به اندازه ۱۹ درصد نسبت حالت معمولی می‌باشد [۱۰].

با توجه به تلاش‌هایی که در زمینه ماشین‌کاری سطوح با شکل دلخواه در دستگاه‌های فرز پنج محوره انجام شده است، انجام چنین آزمایش‌هایی با استفاده از دستگاه هگزاپاد امری ضروری به نظر می‌رسد. قبل‌تر عنوان گردید که تاکنون از دستگاه هگزاپاد به عنوان میز ماشین‌کاری هیچ استفاده‌ای نشده است و در این پژوهش برای اولین بار است که از ربات هگزاپاد به‌عنوان میز ماشین‌ابزار که وظیفه موقعیت‌دهی را دارد، استفاده می‌گردد. منحنی‌های با شکل دلخواه توسط سیستم CNC دستگاه با استفاده از معادلات نربز میان‌یابی می‌شوند.

با توجه به این‌که دستگاه هگزاپاد موجود نمونه آزمایشگاهی بوده و از نوع صنعتی نمی‌باشد، انجام آزمایش‌ها با سختی همراه بوده و به‌همین دلیل از روش طراحی آزمایش تاگوچی برای کاهش تعداد آزمایش‌ها بهره برده شده است. در این مقاله سه پارامتر اصلی ماشین‌کاری یعنی سرعت برشی، سرعت پیشروی و عمق برش ورودی‌های مسئله می‌باشند. ابزار استفاده شده در این آزمایش‌ها از نوع فولاد سر کروی ضدزنگ HSS-T می‌باشد و نمونه آزمایش هم از نوع آلومینیوم گرید سه هزار می‌باشد. در پایان زبری نهایی هر سطح اندازه‌گیری شد و نتایج با هم مقایسه گردیدند. در ضمن با استفاده از شبکه-های عصبی و الگوریتم ژنتیک بهینه‌ترین حالت برای صافی سطح بدست آمد.

۲- دستگاه هگزاپاد

ماشین‌ابزارهای سنتی از مکانیزم سری بهره می‌برند که این مکانیزم مزایا و معایب خود را دارد. در سال‌های گذشته ربات‌هایی با ساختار موازی مورد توجه قرار گرفته اند که چالاکی بالا و دقت بالا از مزایای این ساختار می‌باشد. با توجه به حرکت سیستم‌های تولیدی به سوی ماشین‌کاری پرسرعت، نیاز به ماشین‌ابزاری با عملکرد دینامیکی بالا، سفتی بهبود یافته و جرم در حال حرکت کمتر، احساس می‌شد. از آن‌جا که ساختار ماشین‌های سنتی پاسخگوی نیازهای فوق نبود برای برآورده کردن این نیازها به ربات‌های موازی روی آورده‌اند. ماشین ابزار هگزاپاد نیز یکی از انواع ماشین ابزارهایی است که بر پایه‌ی ربات‌های موازی می‌باشد که توسط محققین زیادی مورد پژوهش قرار گرفته است [۱۱].

میز ماشین ابزار هگزاپاد از دو سکو تشکیل شده است که این دو سکو توسط شش پایه با طول قابل تغییر به کمک مفاصل کشویی، به واسطه شش مفصل کروی از بالا و شش مفصل یونیورسال از پایین به یکدیگر متصل شده‌اند. سکوی پایینی در جای خود ثابت است و به عنوان پایه‌ی سکوی بالایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و سکوی بالایی با شش درجه آزادی متحرک می‌باشد و به عنوان میز ماشین‌ابزار انجام وظیفه می‌کند.

استفاده از ربات هگزاپاد به عنوان ماشین‌ابزار مزایای زیادی دارد که تولیدکنندگان را برای نیل به اهدافشان، ناچار به روی‌آوردن به این سیستم کرده است [۱۲]:

سفتی و صلبیت بالای سیستم در نتیجه ی ساختار سیستم موازی و محوری بودن نیروها

نسبت بار به وزن زیاد

خطاهای اتصال غیر تجمعی

حرکت‌های دقیق، حتی تحت بارهای متناوب سنگین و شتاب‌های بالا

افزایش سرعت ماشین‌کاری

۳- منحنی‌های نربز

برای بیان یک منحنی به زبان ریاضی فرمول‌های متعددی وجود دارد. از جمله بزیر[3]، هرمیت[4] و نربز. در این میان فرمول‌بندی نربز پرکاربرد ترین می-باشد. دلیل این امر سادگی در نحوه فرمول‌بندی و همچنین نمایش یک منحنی با کمترین اطلاعات لازم می‌باشد. این فرمول بندی در نرم‌افزارهای مکانیکی کاربرد خاص خود را دارا می‌باشد. از منحنی‌های نربز برای بیان سطوح با شکل دلخواه بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. از طرفی لزوم تعریف سطوح با شکل دلخواه که در صنعت امروز کاربرد بسیاری دارند، با کمترین اطلاعات امری ضروری به نظر می‌رسد. زیرا امکان بروز خطا در مواقع انتقال داده‌های زیاد همیشه وجود دارد.

در مهندسی معکوس برای تبدیل ابر نقاط به سطح و دریافت اطلاعات سطح، از فرمول‌بندی نربز استفاده می‌گردد و برای تطبیق هر چه بهتر آن با سطح واقعی، از بردار گره غیریکنواخت و تابع وزن استفاده می‌گردد. بردار گره یکنواخت کاربردهای فراوانی دارد که باعث متمایز شدن فرمول‌بندی نربز با بقیه فرمول‌بندی‌ها شده است.

1. NURBS (Non Uniform Rational B-Spline)
2. Dual Nurbs
3. Bezier
4. Hermit

www.SID.ir

Archive of SID

۴- مواد و تجهیزات مورد استفاده

جنس ماده قطعه‌کار استفاده شده در این آزمایش آلومینیوم گرید سه هزار می‌باشد که از گروه آلومینیوم‌های خوش تراش به حساب می‌آید. هر آزمایش بر روی قسمتی از عرض قطعه‌کار با اندازه ۳۰ میلی‌متر صورت گرفته شد. ابزار مورد استفاده در این آزمایش از نوع ابزار سر کروی است. جنس آن از نوع HSS-T و برای تراش آلومینیوم مناسب می‌باشد. برای انجام آزمایش‌ها از کلگی دستگاه فرز رونگ فو مدل RF - 40 برای تامین حرکت دورانی ابزار استفاده گردید. لازم به ذکر است که کلگی فرز قبل آزمایش در جای مناسب قرار می‌گیرد و بعد از آن و در حین انجام آزمایش‌ها تغییری در مکان آن صورت نمی‌گیرد. کلگی فرز این قابلیت را دارد که با چرخش ۱۸۰ درجه‌ای در زاویه‌ای مناسب بر روی میز هگزاپاد قرار بگیرد. برای موقعیت دهی قطعه کار از دستگاه هگزاپاد دارای ۶ درجه آزادی استفاده گردید. این دستگاه نمونه آزمایشگاهی می‌باشد و در آزمایشگاه فناوری های پیشرفته در ماشین‌ابزار دانشگاه تربیت مدرس طراحی و ساخته شده است و پژوهش‌ها برای تکمیل و بهبود آن در این آزمایشگاه ادامه دارد. این دستگاه از شش پایه که هر یک مجهز به یک سروموتور می‌باشند تشکیل شده است. از یک رایانه صنعتی با سروکنترل‌های موتورها برای ایجاد و انتقال دستورهای حرکتی بهره برده شده است. در شکل ۱ نحوه قرار گیری مجموعه دستگاه هگزاپاد، دستگاه فرز، دینامومتر، گیره، ابزار و قطعه‌کار را مشاهده می‌نمایید.

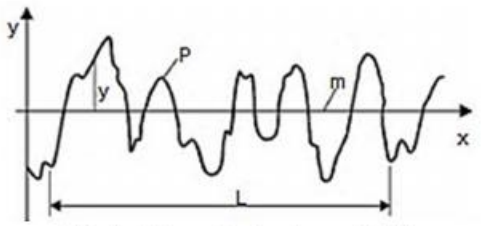
زبری سطح توسط دستگاه زبری سنج پرتابل ماهر[1] مدل PS1 اندازه گیری شد. از میان روش‌های مختلفی که برای بیان زبری وجود دارد، روش زبری متوسط که معمولا با Ra نشان داده می‌شود، انتخاب گردید. در این روش معدل ارتفاعات نسبت به یک خط مرکزی را مقدار زبری می‌گویند. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌نمایید پروفایل p نشان‌دهنده برجستگی‌های برشی از قطعه‌کار می‌باشد. خط میانگین m طوری انتخاب می‌گردد که مساحت بالا و پایین در طول مشخص l برابر باشند. L نیز طول نمونه‌گیری می‌باشد. y نیز مختصات منحنی پروفایل می‌باشد [۱۳]. R_a طبق رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$R_a = \frac{1}{L}\int_0^L |y(x)|\, dx \qquad (1)$$

۵- روش انجام آزمایش

برای بررسی تاثیر پارامترهای ماشین‌کاری بر روی صافی سطح نهایی در ماشین‌کاری آلومینیوم، سه فاکتور سرعت برشی (V_c)، سرعت پیشروی (f_z) و عمق برش (a_p) به عنوان اصلی‌ترین پارامترهای فرزکاری، در سه سطح تغییر

شکل ۱ مجموعه دستگاه هگزاپاد، فرز، گیره و قطعه کار



شکل ۲ زبری سطح و نحوه تعیین میانگین آن [۱۳]

داده شدند. در این پژوهش، طرح آزمایش تاگوچی برای طرح ریزی آزمایش‌ها بکار گرفته شد. در حالت فاکتوریل کامل نیاز به انجام ۲۷ آزمایش می‌باشد که این حجم آزمایش با توجه به آزمایشگاهی بودن دستگاه امری سخت می‌باشد. لذا از روش تاگوچی برای پایین آوردن تعداد آزمایش‌ها بهره برده شد. در این روش تعداد آزمایش‌های لازم فقط ۹ عدد می‌باشند. با این روش هم می‌توان تغییرات خروجی را با توجه به پارامترهای ورودی مختلف نشان داد. پارامترهای فرزکاری، تعداد سطوح و هم چنین مقادیر آن‌ها در جدول ۱ آمده است. برای جلوگیری از بروز خطا بعضی از آزمایش‌ها با تکرار صورت پذیرفتند. در هر آزمایش ۳۰ میلی‌متر از قطعه‌کار براده برداری شد. در ضمن برای انجام تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار مینی‌تب ۱۷[2] استفاده گردید.

۶- نتایج و تحلیل آن

در جدول ۲ نتایج مربوط به زبری سطح آمده است. در شکل ۳ نمودار تاثیر پارامترهای ماشین‌کاری بر روی صافی سطح نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل ۳ و رابطه (۲) پیداست سرعت برشی و عمق براده محوری بیشترین تاثیر را بر روی صافی سطح و میزان زبری دارند. با افزایش سرعت برشی میزان زبری سطح کاهش یافته و کیفیت آن بهبود یافته است.

یکی از دلایل این امر کاهش نیروها می‌باشد و این کاهش نیرو بر روی زبری تاثیر مستقیم می‌گذارد. همچنین با افزایش عمق براده زبری افزایش زیادی یافته است. در حین انجام آزمایش‌ها با افزایش عمق برش میزان ارتعاش کلگی دستگاه فرز بسیار افزایش یافت. همین امر باعث افزایش زبری و کاهش کیفیت سطح گردید. البته افزایش عمق برش درحالت عادی نیز باعث افزایش

جدول ۱ پارامترهای مورد آزمایش و سطوح آن‌ها

فاکتورها	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
عمق براده (a_p) (mm)	۰/۳	۰/۶	۰/۹
سرعت پیشروی (f_z) (cm/sec)	۳	۵	۷
سرعت برشی (V_c) (rev/min)	۴۵۰	۸۰۰	۱۲۰۰

جدول ۲ جدول طراحی آزمایش به همراه نتایج بدست آمده

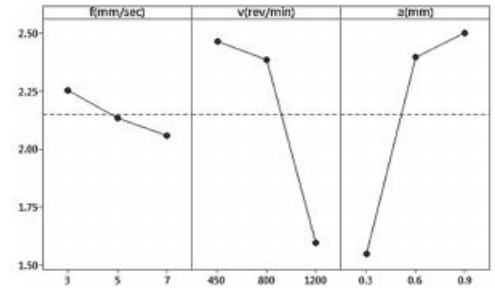
شماره آزمایش	a_p	f_z	V_c	R_a (µm)
۱	۰/۳	۳	۴۵۰	۲/۰۸۳
۲	۰/۶	۳	۸۰۰	۲/۵۴۱
۳	۰/۹	۳	۱۲۰۰	۲/۱۱۸
۴	۰/۶	۵	۴۵۰	۲/۸۸۳
۵	۰/۹	۵	۸۰۰	۳/۱۰۸
۶	۰/۳	۵	۱۲۰۰	۰/۴۹۸
۷	۰/۹	۷	۴۵۰	۲/۴۰۲
۸	۰/۳	۷	۸۰۰	۰/۹۵۰
۹	۰/۶	۷	۱۲۰۰	۱/۹۰۰

1. Mahr

2. Minitab 17

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ تاثیر پارامترهای ماشین‌کاری بر روی زبری سطح

ارتعاش دستگاه می‌گردد، ولی در این مورد به دلیل این که مرکز ثقل دستگاه جابجا شده است، تاثیر آن بیشتر می‌گردد. در نهایت هم همان‌طور که در شکل ۳ پیداست سرعت پیش‌روی تاثیر کمی بر روی صافی سطح دارد. شاید دلیل این امر این باشد که سطوح مربوط به سرعت پیشروی نزدیک به هم بوده و همچنین با توجه به مجموعه آزمایش، تاثیر آن در مقابل سرعت برشی و عمق براده محوری کمتر به نظر آید.

بحث دیگری که در این جا باید به آن پرداخته گردد، سفتی[1] دستگاه هگزاپاد می‌باشد. دستگاه هگزاپاد به دلیل ساختار موازی آن در هر نقطه‌ای سفتی خاص خود را دارد و این سفتی بر روی نحوه ورود ابزار به قطعه‌کار تاثیر می‌گذارد. برای کاهش تاثیر این پارامتر بر روی نتایج نهایی، سعی بر آن بود که نقطه ورود ابزار به قطعه کار برای تمامی حالات یکسان در نظر گرفته شود.

نتایج تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب۱۷ در جدول ۳ به صورت خلاصه آورده شده است.

جدول ۳ تحلیل واریانس داده‌های زبری پس از حذف پارامترهای بی معنی را نشان می‌دهد. با قابلیت اطمینان بالاتر از ۹۵٪ مقادیر P که کمتر از ۰/۰۵ باشند، نشان دهنده موثر بودن آن پارامتر می‌باشند. با توجه به این جدول نتایج حاکی از این است که عمق براده و سرعت برشی بیشترین تاثیر را داشته و مهم‌ترین عامل در کیفیت سطح نهایی می‌باشند. همچنین پیشروی سهم بسیار کمی در زبری داشته و از تاثیر آن می‌توان چشم‌پوشی کرد.

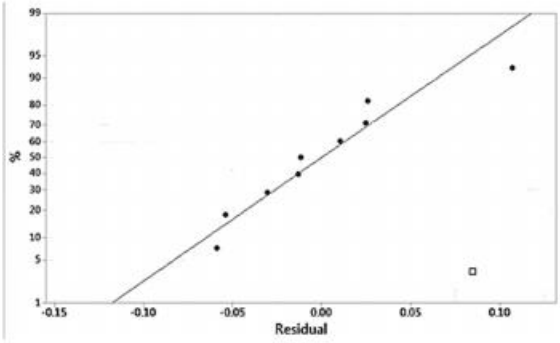
دلیل تاثیر بسیار زیاد عمق براده برداری بر روی زبری سطح همان‌طور که قبلا گزارش گردید، با توجه به سیستم خاص کلگی فرز و نامیزانی آن، در عمق‌های برشی زیاد ارتعاش دستگاه زیاد گشته و باعث افزایش نیروها و در نتیجه کاهش صافی سطح می‌گردد. تاثیر کم سرعت پیشروی نیز می‌تواند ناشی از نزدیک بودن مقادیر آن در آزمایش‌ها دانست. در شکل ۴ یک نمونه منحنی ماشین‌کاری شده بر روی آلومینیوم آورده شده است.

همچنین مقدار R_{sq} برای این مدل برابر با ۹۹/۴۳٪ گزارش داده شد که حاکی از پوشش خوب مدل تهیه شده از زبری سطح می‌باشد. در شکل ۴ پراکندگی داده‌ها نسبت به مقدار پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد که از پراکندگی خوبی

جدول ۳ تحلیل واریانس زبری سطح

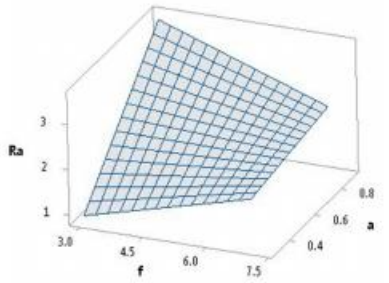
عامل	درجه آزادی	درصد مشارکت	مقدار F	مقدار P
a_p	۱	۳۸/۵۷	۱۹۰/۷۳	۰/۰۰۱
f_z	۱	۱/۶۲	۱/۲۰	۰/۳۵۴
V_c	۱	۳۲/۸۲	۱۷۵/۹۶	۰/۰۰۱
$ap\ x\ fz$	۱	۱۹/۶۱	۱۰۳/۹۸	۰/۰۰۲
$Vc\ x\ fz$	۱	۶/۹۲	۹۵/۰۱	۰/۰۰۲
خطا	۳	۰/۴۵		
مجموع	۸			

1. Stiffness

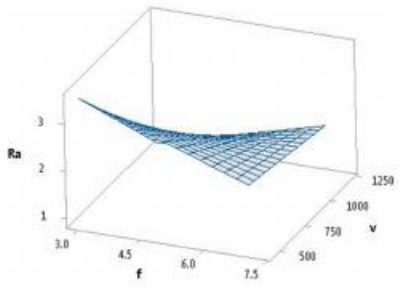


شکل ۴ نمودار توزیع نرمال باقیمانده با قابلیت اطمینان ۹۵٪

شکل ۵ نمونه منحنی ماشین‌کاری شده توسط دستگاه هگزاپاد بر روی آلومینیوم



شکل ۶ نمودار تاثیر متقابل سرعت پیشروی و عمق برش بر روی زبری سطح



شکل ۷ نمودار تاثیر متقابل سرعت پیشروی و برشی بر روی زبری سطح

برخوردار می‌باشد. در شکل‌های ۶ و ۷ نیز نمودار رویه پاسخ تداخل سرعت پیشروی با عمق برش و سرعت برشی آورده شده است. در رابطه (۲) نیز فرمولی تجربی برای تخمین زبری سطح آمده است. لازم به ذکر است که این رابطه برای این که گویاتر باشد، پارامترهای آن بی‌بعدسازی شده‌اند.

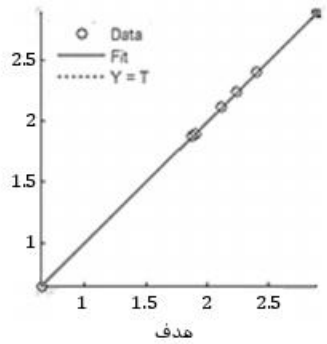
$$f.f + 6.152\ v.R_a = 2.613 + 6.522\ a - 6.704\ v - 0.529\ f - 6.007\ a \quad (۲)$$

۶-۱- بهینه سازی نتایج

شبکه عصبی مصنوعی، شبکه‌ای است متشکل از تعداد زیادی پردازنده ساده،

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸ خطای حاصل از شبکه عصبی در مرحله آموزش

موسوم به واحدهای پردازش‌گر یا نورون است. این نورون‌ها توسط مجاری ارتباطی موسوم به اتصال با وزن به یکدیگر متصل می‌باشند. در هر نرون با اعمال یک تابع تبدیل خروجی حاصل می‌گردد.

الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی است که بر خلاف الگوریتم‌های سنتی از روش تصادفی برای بهینه کردن تابع مورد نظر استفاده می‌نماید. در این روش با تولید جمعیت اولیه آغاز و از میان جمعیت متناسب با برازندگی آنها نسل بعد انتخاب می‌شود. سپس عملگرهای ژنتیکی نظیر هم‌گذری، جهش و انعکاس اعمال و جمعیت جدید به‌وجود می‌آید و این چرخه تا رسیدن به شرایط بهینه ادامه پیدا می‌کند.

به‌منظور بهینه‌سازی داده‌های حاصل از زبری حاصل از این پژوهش از نرم‌افزار متلب استفاده شد. برای انجام بهینه‌سازی ابتدا تابع هدف که همان تابع زبری است توسط شبکه‌های عصبی ایجاد شد. در شبکه عصبی ایجاد شده ۸۵ درصد داده‌ها برای آموزش شبکه و ۱۵ درصد داده‌ها به‌منظور آزمایش شبکه مورد استفاده قرار گرفت. تعداد نسل‌ها در ایجاد این شبکه ۱۰۰۰ در نظر گرفته شد و مجموع مربعات خطا ۰/۰۰۰۰۱ انتخاب شد.

نتایج حاصل از بهینه‌سازی در ادامه آورده شده است. در شکل ۸ نمودار رگرسیون داده‌ها و تطابق بسیار عالی آن با رابطه در نظر گرفته شده توسط شبکه‌های عصبی می‌باشد. همان‌طور که در شکل پیداست، توسط روش شبکه‌های عصبی میزان ضریب همبستگی در این روش برابر با ۱ به دست آمده است. این رابطه بدست آمده توسط الگوریتم ژنتیک مورد تحلیل قرار گرفت و پس از ۵۱ تکرار بهترین زبری در حالتی گزارش شد که میزان پیشروی برابر با ۶ سانتی‌متر بر ثانیه، میزان سرعت برشی ۱۲۰۰ دور بر دقیقه و میزان عمق براده برابر با ۰/۳۳ میلی‌متر باشد. در این حالت میزان زبری گزارش شده توسط الگوریتم ژنتیک برابر با ۰/۴۴۵۵ است.

۷- نتیجه‌گیری

در این پژوهش فرآیند ماشین‌کاری سطوح نربز در دستگاه هگزاپاد و زبری حاصل از آن مورد بررسی قرار گردید. ابزار مورد استفاده از نوع فرز سرکروی HSS-T و جنس قطعه کار نیز از نوع آلومینیوم سری سه هزار است. در ادامه با استفاده از روش تاگوچی طراحی آزمایش صورت گرفت و در نهایت با استفاده از شبکه های عصبی و الگوریتم ژنتیک بهینه‌ترین حالت برای زبری سطح بدست آمد. نتایج بدست آمده از این پژوهش به‌صورت خلاصه در ادامه آمده است:

۱ با افزایش سرعت برشی، زبری سطح کاهش یافت و با افزایش عمق براده، زبری سطح افزایش یافت.

۲ تاثیر سرعت پیشروی بر روی زبری نهایی سطح نسبت به دو پارامتر دیگر اندک می‌باشد.

۳ تاثیر عمق براده محوری از بقیه پارامترها به دلیل افزایش ارتعاش دستگاه بیشتر می‌باشد.

۴ با توجه به ساختار موازی دستگاه هگزاپاد و لقی مفاصل کروی آن نقطه ورود قطعه‌کار به دستگاه حائز اهمیت می‌باشد.

۸- مراجع

[1] B. Kim, C. Chu, Effect of cutter mark on surface roughness and scallop height in sculptured surface machining, *Computer-Aided Design*, Vol. 26, No. 3, pp. 179-188, 1994.

[2] A. Werner, K. Skalski, S. Piszczatowski, W. Świeszkowski, Z. Lechniak, Reverse engineering of free-form surfaces, *Journal of Material Processing Technology*, Vol 76 , pp. 128-132, 1998.

[3] Bouzakis, K.D, Aichouh, P, Efstathiou, K, Determination of the chip geometry, cutting force and roughness in free form surfaces finishing milling, with ball end tools, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol 43 (5), pp. 499-514, 2003.

[4] P.G. Benardos, G. C. Vosniakos, Prediction of surface roughness in CNC face milling using neural networks and Taguchi's design of experiments, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol 18, pp. 343-354, 2002.

[5] M. Boujelbene, A. Moisan, W. Bouzid, S. Torbaty, Variation cutting speed on the five axis milling, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, VOLUME 21ISSUE 2, April (2007).

[6] Wei Li, Yadong Liu, Kazuo Yamazaki, Makoto Fujisima, Masahiko Mori, The design of a NURBS pre-interpolator for five-axis machining, *Int J Adv Manuf Technol*, Vol 36, pp. 927-935, 2008.

[7] B.Murugan Goparsamy, B. Mondal, S. Ghosh, Taguchi method and ANOVA: an approach for process parameter optimization of hard machining while machining hardened steel, *Journal of Scientific & Industrial Research*, Vol 68, pp. 686-695, 2009.

[8] Zhifeng Qiao, Taiyong Wang, Yunfeng Wang, Miao Hu, Qingjian Liu, Bezier polygons for the linearization of dual NURBS curve in five-axis sculptured surfacemachining, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol 53,pp. 107-117, 2012.

[9] H. Hassanpour, Sh. Shajari, A. Rasti, M. H. Sadeghi, Investigation of milling strategies effect on microhardness of a typical curved surface, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 2, pp. 34-40, 2015. (In Persian)

[10] Jichun Wu, Huicheng Zhou, Xiaoqi Tang, Jihong Chen, Implementation of CL points preprocessing methodology with NURBS curve fitting technique for high-speed machining, *Computers & Industrial Engineering* 81 (2015) 58-64.

[11] L. Cheng, Y. Zhao and Y.Zhao, Motion Control Algorithm of A 5-DOF Parallel Machine Tool, *proc. IEEE conference on Robotics and Biomimetics*, Sanya, China, 2007.

[12] D. Zhang, Parallel Robotic Machine Tools, Oshawa, ON, *Springer*, 2010.

[13] M. Brezoˇcnik, M. Kovacic, M. Ficko, Prediction of surface roughness with genetic programming, *Journal of material processing technology*, Vol. 157-158 (2004) 28-36.

www.SID.ir