مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹٤، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ۲۱۲-۲۱۷

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

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

تأثیر پارامترهای ماشین‌کاری بر طول عمر ابزار گرد سرامیکی در سخت‌تراشی فولاد ۱/۲٤۳٦

مهدی سلطانی فرد[۱*]، محمد مقداد فلاح[۲]

۱- کارشناس ارشد، مکانیک ساخت تولید، دانشگاه آزاد اسلامی، جاسب
۲- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران
*ساوه، صندوق پستی ۳۹۱۸۶۴۳۳۸۹، msf.soltani@chmail.ir

چکیده

فرآیند تراش‌کاری به دلیل خصوصیات منحصر بفرد و کاربردهای گسترده از جایگاه ویژه‌ای در صنایع مختلف برخوردار می‌باشد. پارامترهای مهم در این فرآیند شامل سرعت برشی، عمق برش و نرخ پیشروی می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از رویکرد طراحی آزمایشات به روش تاگوچی اثر پارامترهای ماشین‌کاری بر طول عمر ابزار سرامیکی و کیفیت سطح قطعه‌کار بررسی شده است. در این راستا آزمایشاتی با تغییر در پارامترهای ماشین‌کاری (عمق برش و نرخ پیشروی) بر روی یک نمونه فولاد سردکار انجام و صافی سطح نمونه‌ها با یکدیگر مقایسه شده است. سپس با میکروسکوپ نوری ابعاد سایش در سطح آزاد و سطح براده ابزار برش سرامیکی اندازه‌گیری شد و با تجزیه و تحلیل ابعاد سایش به دست آمده توسط نرم‌افزار مینی‌تب، بهینه‌ترین حالت برای عمر ابزار به دست آمد. علاوه براین آزمایشات نشان داد پایان عمر ابزار زمانی اتفاق می‌افتد که سایش در سطح آزاد ابزار حداکثر از ۹۰ میکرومتر بیشتر شود. در پایان یک مدل ریاضی با روش رگرسیون به کمک نرم‌افزار برای پیشبینی سایش در این نوع ابزار برش سرامیکی به دست آمد.

کلید واژگان: پارامترهای ماشین‌کاری، عمر ابزار، ابعاد سایش، صافی سطح، طراحی آزمایشات

The effect of machining parameters on round ceramic tool life in hard turning of steel 1.2436

Mahdi Soltanifard[1*],MohammadMeghdad Fallah[2]

1- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Jasb, Saveh, Iran
2- Department of Mechanical Engineering, ShahidRajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
*P.O.B. 3918643389 Saveh, Iran, msf.soltani@chmail.ir

ABSTRACT

The turning process has a special place in manufacturing industry due to its particular specification and vast usage. The important parameters of the process are cutting speed, depth of cut and feed rate. In this paper, the effect of depth of cut and feed rate on the ceramic tool life and the surface roughness in hard turning of steel 1.2436 with 60-65RC is investigated. For designing of experiment, the taghuchi method is used. In the tests, the quality of surface compared. Then, the wear dimension on the tool face and flank are measured using an optical microscope and analyzed using Minitab software to obtain the best tool life. The results showed the tool life finishes with tool flank wearing dimension 90 µm. Finally, a mathematical model developed to predict the tool life of the ceramic tool in turning of steel 1.2436.

Keywords: Design of Experiments, Dimension of Wearing, Machining Parameters, Quality of Surface, Tool Life.

۱- مقدمه

در صنایع مدرن امروز هدف اصلی ساخت قطعات با کمترین هزینه، بهترین کیفیت و در کوتاه‌ترین زمان ممکن است. برش فلزات (بخصوص تراش‌کاری) یکی از مهمترین فرآیندهای تولید قطعات فلزی و یکی از پرکاربردترین روش‌ها در صنعت می‌باشد که به طور گسترده‌ای در ماشین‌کاری و پرداخت قطعات استفاده می‌شود. برای ساخت قطعات با کیفیت موردنظر بایستی پارامترهای فرآیند به درستی انتخاب شوند. در فرآیند تراش‌کاری پارامترهای ورودی مثل جنس قطعه‌کار، هندسه ابزار، عمق برش، نرخ پیشروی و سرعت برشی روی نرخ براده‌برداری، کیفیت سطح و تلرانس ابعادی و عمر ابزار تأثیرگذار است [۱].

سایش ابزار یکی از از محدودیت‌های مهم در ساخت قطعات با کیفیت مطلوب و قیمت مناسب است. شکست ابزار در سه حالت سایش لبه برنده، تغییرشکل پلاستیک لبه برنده و تغییر در شرایط ماشین‌کاری نظیر کیفیت سطح قطعه یا ارتعاشات دستگاه و قطعه‌کار و عوامل خارجی اتفاق می‌افتد. در اغلب کاربردهای عملی انتخاب ابزار و تعیین مقادیر پارامترهای برشی به صورت تجربی و با استفاده از روش‌های مبتنی‌بر سعی و خطا انجام می‌گیرد. اما این روش‌ها علاوه بر هزینه بالا با احتمال خطا نیز همراه هستند. در سال‌های اخیر به کارگیری رویکردهای علمی و ریاضی در زمینه مدل‌سازی و بهینه‌سازی انواع فرآیندهای تولیدی افزایش چشمگیری یافته و به منظور مدل‌سازی و بهینه‌سازی پارامترهای ماشین‌کاری مطالعات زیادی انجام شده است [۲].

اصلی‌ترین و پرکاربردترین قطعاتی که در کارخانجات نورد لوله و پروفیل مورد استفاده قرار می‌گیرد، قالب‌های آن‌هاست و به‌دلیل اصطکاک بالایی که بین لوله و قالب ایجاد می‌شود استهلاک قالب‌ها نیز بالا می‌باشد و نیاز به

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:
Please cite this article using:
M. Soltanifard,M. Meghdad Fallah, The effect of machining parameters on round ceramic tool life in hard turning of steel 1.2436, *Modares Mechanical Engineering*, *Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 212-217, 2015 (in Persian فارسی)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.20.0]

ماشین‌کاری‌های پیاپی دارند. کارخانجات نورد پروفیل ساوه برای تأمین قالب-های خط تولید خود دارای یک واحد ماشین‌سازی می‌باشد. قالب‌های فوق از جنس فولاد سردکار ۱/۲۴۳۶ و با سختی ۶۵-۶۰ راکول‌سی می‌باشد و با توجه به شکل هندسی قالب‌ها، با فرآیند تراش‌کاری تولید می‌شوند. بدیهی است که این واحد تولیدی باید ابزار مناسبی برای ماشین‌کاری این حالت خاص انتخاب کند که با توجه به کاتالوگ ابزار، از ابزار گرد سرامیکی با گرید (CC 650) شرکت سندویک با قطر ۶ میلی‌متر استفاده می‌شود. ابزارهای سرامیکی دارای قیمت بالایی هستند و به دلیل ترد بودن با کوچکترین اشتباه در تنظیم پارامترهای ماشین‌کاری دچار سایش، شکستگی، لب‌پر شدن و تغییرشکل پلاستیکی لبه برنده می‌شوند. البته شرکت سازنده ابزار یک رنج کلی برای شرایط برشی پیشنهاد می‌کند.

با توجه به مطالب فوق و این موضوع که تحقیقاتی در زمینه بالا بردن عمر این نوع ابزار در تراش‌کاری فولاد سخت شده ۱/۲۴۳۶ صورت نگرفته در این تحقیق با فرض ثابت بودن شرایط تولید یعنی نرخ تولید در مرحله خشن-تراشی و حفظ کیفیت سطح قابل قبول در مرحله پرداخت، با استفاده از روش تاگوچی، طراحی آزمایشات ماشین‌کاری با تغییر پارامترهای عمق برش و پیشروی با ثابت در نظر گرفتن سرعت برشی صورت گرفته و نتایجی از قبیل کیفیت سطح ماشین‌کاری و عمر ابزار با اندازه گیری مناطق سایش بررسی شده است و در انتها پارمترهای بهینه و مدل ریاضی برای پیش‌بینی سایش ارائه شده است.

۲- طراحی آزمایشات

بدیهی است برای انجام یک تحقیق عملی یک سری آزمایشات باید انجام شود. در این تحقیق برای کاهش تعداد آزمایشات و یافتن عوامل موثر با انجام تعداد آزمایشات کمتر به منظور کاهش هزینه‌ها از طراحی آزمایشات به کمک روش تاگوچی استفاده شد که به خوبی در نرم‌افزار مینی‌تب قابل اجرا می-باشد. مینی‌تب یک بسته نرم‌افزاری آماری است که به وسیله آن می‌توان محاسبات آماری مختلف را انجام داده و نمودارهای مربوطه را استخراج کرد. همچنین این نرم‌افزار یکی از قوی‌ترین نرم‌افزارهای موجود در زمینه کنترل کیفیت، آنالیز واریانس، طراحی آزمایشات، سری‌های زمانی و غیره است. از این نرم‌افزار می‌توان برای تجزیه و تحلیل داده‌های گرفته شده از فرآیند برای تشخیص مشکلات موجود در فرآیند تولیدی یا خدماتی و غیره استفاده نمود.

در این تحقیق، تغییرات در پارامترهای ماشین‌کاری پیشروی ابزار و عمق برش اعمال می‌شود. حال بدیهی است که این تغییرات باید دارای یک رنج مشخصی باشد. به‌همین منظور پس از انتخاب ابزار برشی به سراغ پارامترهای برشی پیشنهادی از طرف شرکت سازنده آن می‌رویم. با مطالعه کاتالوگ ابزار شرکت سازنده پارامترهای برشی زیر برای سخت‌تراشی فولاد پیشنهاد شده است.

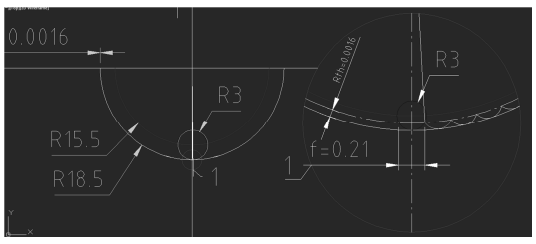
لازم به ذکر است که پارامترهای پیشنهادی از طرف شرکت سازنده ابزار صرفاً یک رنج کلی از عملیاتی که ابزار برای ماشین‌کاری آن طراحی شده (مانند سخت‌تراشی، تراش چدن و غیره) می‌باشد و اپراتور باید با توجه به شرایط ماشین‌کاریی که در این برش استفاده می‌شود (از قبیل خشن-کاری، پرداخت‌کاری، صافی سطح موردنیاز، حضور یا عدم حضور سیال برشی، حجم براده‌برداری، قابلیت ماشین تراش غیره) پارامترها را برای ماشین تعریف نماید. در این آزمایشات همان‌طور که گفته شد تغییرات در نرخ پیشروی و عمق برش اعمال می‌گردد و سرعت برشی را همان مقدار پیشنهادی شرکت سازنده یعنی ۱۱۵ متر بر دقیقه در نظر می‌گیریم. در مورد نرخ پیشروی به صورت کلی می توان گفت هر چه نرخ پیشروی کمتر باشد، عمر ابزار بیشتر خواهد بود. اما با توجه به این‌که این آزمایشات برمبنای عملیات پرداخت‌کاری در سخت‌تراشی می‌باشد و صافی سطح قطعات در عملیات پرداختکاری اهمیت دارد، با در نظر گرفتن تجربه ماشین‌کاری با این ابزار خاص، حداقل نرخ پیشروی را ۰/۰۹ میلی‌متر بر دور در نظر می‌گیریم. همچنین برای پیدا کردن ماکسیمم نرخ پیشروی از فرمول عمق زبری که حدوداً با صافی سطح برابر است استفاده شد رابطه (۱) [۳]. زیرا ماکسیمم نرخ پیشروی باید به گونه‌ای انتخاب شود که صافی سطح ماشین‌کاری شده قالب از صافی سطح درخواستی در نقشه قالب که ۱/۶ میکرومتر می‌باشد بیشتر نشود.

$$R_{th} \cong R_z$$

$$R_{th} \cong \frac{f^2}{8r} \Rightarrow f \cong \sqrt{8.r.R_{th}} \Rightarrow$$
$$f \cong \sqrt{8 \times 3 \times 0.0016} \Rightarrow f \cong 0.196 \qquad (1)$$

رابطه (۱) در تراش‌کاری متعامد و در سطوح مستقیم صادق است ولی ماشین‌کاری انجام شده در یک سطح دایره‌ای انجام می‌شود و با در نظر گرفتن این‌که ماشین‌های تراشی که با سیستم میلی‌متر بر دور کار می‌کنند پیشروی ابزار بر روی سطح دایره‌ای دچار تغییرات می‌شود در نتیجه صافی سطح ابتدای شعاع تراش با وسط آن متفاوت است یعنی صافی سطح ابتدای شعاع تراش به دلیل پیشروی کمتر بیشتر از صافی سطح وسط شعاع تراش می‌باشد. به عبارت دیگر صافی سطح در سطوح دایره متغیر است. به همین منظور برای اطمینان از حداکثر از پیشروی به دست آمده از رابطه (۱) با نرم-افزار اتوکد یک قالب با شعاع ۱۸/۵ میلی‌متر را ترسیم کرده و مسیر پیشروی ابزار را با دانستن مقدار شعاع نوک ابزار و زبری تئوری رسم کرده و در نتیجه مقدار حد اکثر و حداقل پیشروی به دست می‌آید که در این شکل حداکثر پیشروی ۰/۲۱ به دست آمد (شکل۳). با این تفاسیر رنج نرخ پیشروی را بین ۰/۰۹ تا ۰/۲۱ در نظر می‌گیریم.

پارامتر دیگر موردبررسی در این تحقیق عمق برشی می باشد. رنج تغییراتی که سازنده ابزار با توجه به کاتالوگ ابزار برای سخت‌تراشی پیشنهاد می‌کند ۰/۱ تا ۱/۸ میلی‌متراست. همان‌طور که می‌دانیم برای عملیات پرداخت‌کاری به دلیل مهم بودن صافی سطح و دقت ابعادی باید از عمق‌های برش کم استفاده نمود زیرا تجربه نشان داده که در عمق‌های برش زیاد مخصوصاً در ابزارهای برش سرامیکی که دارای تردی بیشتری هستند، ابزار خیلی زودتر دچار سایش و به دنبال آن شکستگی می‌شود. به همین دلیل و



شکل ۱ مقدار حد اکثر پیشروی در یک قالب با شعاع ۱۸/۵میلی‌متر

جدول ۱ پارامترهای ماشین‌کاری پیشنهادی سندویک برای ابزار سرامیکی CC650

پارامتر	محدوده
سرعت برشی	۱۱۵ متر بر دقیقه
پیشروی	۱/۹۹- ۰/۱۳ میلی‌متر بر دور
عمق برش	(۱/۸-۰/۱) میلی‌متر

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.20.0]

با استفاده از تجربه ماشین‌کاری با این ابزار تغییرات عمق برش را بین ۰/۱ تا ۰/۶ در نظر می‌گیریم.

یکی دیگر از پارامترهای ماشین‌کاری حضور یا عدم حضور سیال برشی است. تجربه نشان داده عمر ابزار در سخت‌تراشی فولاد ۱/۲۴۳۶ با این ابزارهای سرامیکی زمانی که از مایع خنک‌کننده استفاده می‌شود افزایش نمی‌یابد بلکه کمتر نیز می‌شود همچنین با توجه به مضرات زیست محیطی کاربرد مایع خنک کننده و مسایل اقتصادی آن در این آزمایشات از سیال برشی استفاده نمی‌شود و آزمایشات در محیط کاملاً خشک انجام می‌شود.

زمان مفید لازم برای ماشین‌کاری در هر یک از آزمایشات نیز ده دقیقه در نظر گرفته شد. این زمان با استفاده از مشاهدات تجربی قبلی از طول عمر این ابزار انتخاب شده است. زیرا در نظر گرفتن زمان برای ماشین‌کاری در آزمایشات باید به گونه‌ای باشد که در بهترین شرایط برشی و در نتیجه بهترین شرایط عمر ابزار، ابزار دچار یک حداقل سایشی برای اندازه‌گیری ابعاد آن شده باشد و در بدترین حالت ابزار دچار تخریب کامل نشود.

در این تحقیق اثر پارامترهای عمق برش و پیشروی بررسی شده است. لذا در نرم‌افزار مینی‌تب تعداد فاکتورهای آزمایش یا همان پارامترهای تأثیرگذار را دو در نظر گرفته و در قسمت تعیین سطح، چهار سطح آزمایش را انتخاب می‌کنیم. تعداد سطوح با توجه به رنج تغییراتی که برای عمق برش و سرعت پیشروی که قبلاً به آن اشاره شد، برای عمق برش از ۰/۶ – ۰/۱ و برای نرخ پیشروی از ۰/۲۱ – ۰/۰۹ در نظر گرفته شده است. با توجه به این مطالب جدول ۲ طراحی گردید.

مقدار رنج نرخ پیشروی به چهار قسمت مساوی تقسیم شد یعنی ۰/۰۹، ۰/۱۳، ۰/۱۷ و ۰/۲۱ ولی مقدار رنج عمق برش با توجه مشاهدات تجربی که برای عملیات پرداخت‌کاری بیشترین عمر ابزار در عمق‌های برش پایین (۰/۲ - ۰/۱) حاصل می‌شود به صورت مساوی تقسیم‌بندی نشد و عمق‌های برشی ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴۵ و ۰/۶ برای این آزمایشات طراحی شد. مینی‌تب جدول ارتوگونال ۱۶ تایی را پیشنهاد می‌کند که با جاگذاری این اعداد جدول ۳ به دست می‌آید. این جدول، ۱۶ آزمایشی را که با تغییر پارامترها باید انجام شود را طراحی می‌کند.

جدول۲ فاکتورهای آزمایشی و سطوح آن‌ها

سطح	عمق برش (mm)	عمق پیشروی (mm/rev)
۱	۰/۱	۰/۰۹
۲	۰/۲	۰/۱۳
۳	۰/۴۵	۰/۱۷
۴	۰/۶	۰/۲۱

جدول۳ پارامترهای آزمایشات طبق طراحی

سطح	عمق برش (mm)	عمق پیشروی (mm/rev)
۱	۰/۱	۰/۰۹
۲	۰/۱	۰/۱۳
۳	۰/۱	۰/۱۷
۴	۰/۱	۰/۲۱
۵	۰/۲	۰/۰۹
۶	۰/۲	۰/۱۳
۷	۰/۲	۰/۱۷
۸	۰/۲	۰/۲۱
۹	۰/۴۵	۰/۰۹
۱۰	۰/۴۵	۰/۱۳
۱۱	۰/۴۵	۰/۱۷
۱۲	۰/۴۵	۰/۲۱
۱۳	۰/۶	۰/۰۹
۱۴	۰/۶	۰/۱۳
۱۵	۰/۶	۰/۱۷
۱۶	۰/۶	۰/۲۱

طبق طراحی صورت گرفته آزمایشات انجام شده و پس از مشاهده فرسایش ایجاد شده در تک تک ابزارهای متعلق به هر آزمایش و عکس‌برداری از سطح براده و سطح آزاد آن‌ها، لازم است که ابعاد سایش در این دو سطح اندازه‌گیری شود. که بدین منظور از نرم‌افزار کلیمکس ویژن استفاده شد.

۳- آزمایشات تجربی

تست‌های سخت‌تراشی روی یک ماشین‌تراش دو محوره زیمنس ساخت کشور کره که از صلبیت مناسبی برخوردار می‌باشد انجام شده است. لازم به ذکر است که تست‌های ماشین‌کاری در شرایط خشک و بدون سیال خنک کننده صورت پذیرفته است. قطعه‌کار یک قالب فرم نورد سرد ورق (لوله با درز جوش وسط) با شعاع برش ۱۸/۵ میلی‌متر می‌باشد. جنس قالب از فولاد ۱/۲۴۳۶ بوده که بعد از عملیات خشن‌تراشی و نزدیک شدن به ابعاد نهایی با عملیات حرارتی به سختی ۶۳-۶۰ راکول‌سی می‌رسد. پس از این مرحله عملیات پرداخت‌کاری روی قالب صورت می‌گیرد. ابزار برشی مورداستفاده در این آزمایشات یک ابزار برش سرامیکی میکس پایه آلومینیم گرد با قطر ۶ میلیمتر (CC650) شرکت سندویک با گرید RCGX 06 06 00 حاوی ۷۱٪ حجمی اکسید آلومینیم، ۲۸٪ حجمی کارباید تیتانیم و ۱٪ دیگر مواد می‌باشد. هچنین هلدر مورد استفاده نیز متعلق به شرکت سندویک با گرید CRDCN 3225P 06-A بوده است. این ابزار با توجه به جنسو هندسه قطعه‌کار از کاتالوگ شرکت ابزارسازی سندویک انتخاب شده است.

برای هر یک از آزمایشات از یک اینسرت سرامیکی استفاده شد که پس از انجام آزمایشات هر یک از این اینسرت‌ها به‌طور جداگانه با یک میکروسکوپ نوری ای‌کیلیپس[1] مورد مطالعه قرار گرفت. مواردی مانند سایش، شکستگی، لب‌پریدگی و غیره در زیر میکروسکوپ مشاهده شد. همچنین این میکروسکوپ مجهز به یک دوربین دیجیتالی با وضوح بالا بود که تصاویری از سطح آزاد و سطح براده هر یک از این اینسرت‌ها تهیه شد تا مورد تجزیه و تحلیل بیشتر قرار گیرد.

ابعاد سایش (طول و عرض) سطح آزاد و سطح براده هر اینسرت سرامیکی که تصاویر میکروسکوپی آن تهیه شده است، توسط نرم‌افزار کلیمکس ویژن[2] اندازه‌گذاری شد تا در مراحل بعد مورد تجزیه و تحلیل بیشتر قرار گیرد. نمونه‌ای از اندازه‌گذاری سطح براده ابزار سرامیکی در شکل ۲ قابل مشاهده است.

۴- تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشات

۴-۱- نسبت سیگنال به نویز

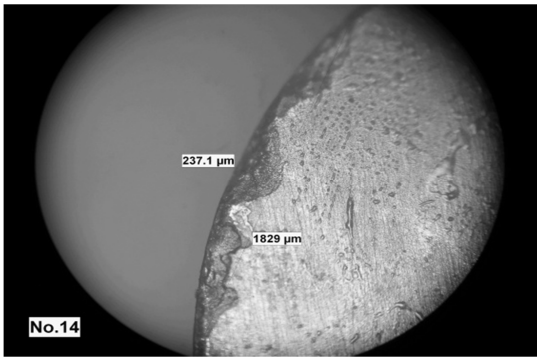
پس از اندازه‌گذاری ابعاد سایش، ابعاد به دست آمده در یک جدول ارائه

1. ECLIPSE E200
2. Clemex Vision (Tm)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.20.0]

شکل ۲ ماشین تراش CNC Siemens 810 D در حین ماشین‌کاری یک قالب نورد



شکل ۳ نمونه‌ای از اندازه‌گذاری سطح براده ابزار سرامیکی

می‌شود. همچنین با توجه به روش تاگوچی برای هر یک از ابعاد سایش یک سیگنال به نویز طبق رابطه (۲) محاسبه می‌شود در ادامه مقدار فاکتورهای بهینه با استفاده از ابعاد سایش و نسبت سیگنال به نویز به دست آمده و با نرم‌افزار مینی‌تب نمودارهای ابعاد سایش در سطح براده و سطح آزاد ابزار به دست می‌آید. سپس نمودارهای حاصل مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. همچنین با استفاده از نرم‌افزار یک رابطه ریاضی مابین پارامترهای ماشین-کاری و مقدار سایش ابزار از روش رگرسیون به دست می‌آید.

نسبت سیگنال به نویز نشان دهنده حساسیت مشخصه مورد بررسی به فاکتورهای ورودی در یک فرآیند کنترل شده می‌باشد. شرایط بهینه یا تأثیر هر یک از فاکتورهای ورودی بر روی مشخصه خروجی فرآیند، آن را می‌توان به سه دسته هر چه کمتر، بهتر وهر چه به مقدار اسمی نزدیکتر، بهترو هر چه بزرگتر، بهترتقسیم‌بندی نمود. به عنوان مثال برای یک قطعه ماشینکاری شده میزان ناصافی سطوح در گروه اول، ابعاد وتلرانس‌ها در گروه دوم و عمر مفید آن‌ها در دسته سوم قرار می‌گیرند. تاگوچی برای محاسبه نسبت سیگنال به نویز بر حسب اینکه مشخصه مورد نظر جزء کدام یک از سه گروه فوق باشد روابط مختلفی را ارائه کرده است. اما به طور کلی، در هر آزمایش همواره بالاترین نسبت سیگنال به نویز مطلوب است [۲].

مقادیر بالای سیگنال به نویز نشان دهنده این است که اثر پارامترهای قابل کنترل بیشتر از اثر پارامترهای غیر قابل کنترل و اغتشاشی می‌باشد. خروجی اندازه‌گیری شده در این تحقیق ابعاد سایش است و در گروه هر چه کمتر، بهتر قرار می‌گیرد بنابراین از رابطه (۲) برای محاسبه نسبت سیگنال به نویز استفاده می‌شود [۲].

$$\frac{S}{N} = -10\, log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i)\right)^2 \qquad (۲)$$

نسبت سیگنال به نویز برای هر یک از ۱۶ آزمایش انجام شده با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردیده و در ستون S/N جدول (۳) نشان داده شده است. به عنوان مثال برای محاسبه نسبت سیگنال به نویز برای آزمایش اول با توجه به این‌که هر یک از آزمایش‌ها یک بار انجام شده و n برابر با یک است داریم [۵].

$$\frac{S}{N} = -10\, log_{10}(93)^2 = -39.37 \qquad (۳)$$

۴-۲- مقدار فاکتورهای بهینه با استفاده از نسبت سیگنال به نویز

حالت بهینه‌ای که در قسمت قبل بیان شد فقط در مقایسه بین نتایج آزمایش‌های انجام گرفته قابل قبول است و با توجه به موضوع این تحقیق که به دست آوردن حالت بهینه پارامترهای ماشین‌کاری است در جداول ۴، ۵ و ۶ نسبت سیگنال به نویز اصلی برای تمام مقادیر فاکتورهای (عرض سایش سطح آزاد، عرض سایش سطح براده و طول سایش سطح براده) آمده است و به هر مقدار فاکتور یک نسبت سیگنال به نویز تعلق گرفته است [۱]. در شکلهای ۴، ۵ و ۶ این اطلاعات به کمک نرم‌افزار مینی‌تب رسم شده است. در این نمودارها محور افقی بیانگر تعداد فاکتورها و محور عمودی بیانگر مقدار سیگنال به نویز می‌باشد [۴].

جدول۴ ابعاد سایش اندازه‌گیری شده

ردیف	عرض سایش سطح آزاد µm	سیگنال به نویز	طول سایش سطح آزادµm	سیگنال به نویز	عرض سایش سطح براده µm	سیگنال به نویز	طول سایش سطح براده µm	سیگنال به نویز
۱	۹۳	-۳۹/۳۷	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶	۰	–	۰	–
۲	۷۶/۵	-۳۷/۶۷	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶	۰	–	۰	–
۳	۷۷	-۳۷/۷۳	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶	۰	–	۰	–
۴	۸۹	-۳۸/۹۹	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶	۰	–	۰	–
۵	۶۴/۵	-۳۶/۱۹	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶	۰	–	۰	–
۶	۸۴	-۳۸/۴۹	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶	۷۸	-۳۷/۸۴	۱۷۰	-۴۴/۴۱
۷	۹۹	-۳۹/۹۱	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶	۰	–	۰	–
۸	۸۶	-۳۸/۶۹	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶	۰	–	۰	–
۹	۷۶/۵	-۳۷/۶۷	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶	۰	–	۰	–
۱۰	۳۲۷	-۵۰/۲۹	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶	۹۳۰	-۵۹/۳۷	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶
۱۱	۹۰	-۳۹/۰۸	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶	۸۴	-۳۸/۴۸	۱۶۴۴	-۶۴/۳۲
۱۲	۱۴۳	-۴۳/۱۱	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶	۶۹۹	-۵۶/۸۹	۱۹۰۷	-۵۶/۶۱
۱۳	۱۴۱	-۴۲/۹۸	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶	۲۲۷	-۴۷/۱۲	۲۰۰۷	-۶۶/۰۵
۱۴	۱۳۵	-۴۲/۶۱	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶	۲۳۷	-۴۷/۴۹	۱۸۳۰	-۶۵/۲۵
۱۵	۹۹۸	-۵۹/۹۹	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶	۸۷۲	-۵۸/۸۱	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶
۱۶	۱۴۹	-۴۳/۴۶	۶۰۰۰	-۵۷/۵۶	۶۷۱	-۵۶/۵۳	۱۳۴۵	-۶۲/۵۷

جدول۵ نسبت سیگنال به نویز اصلی برای عرض سایش سطح آزاد

سطح	۱	۲	۳	۴	ماکزیمم
عمق برش	-۳۸/۴۴	-۳۸/۲۳	-۴۲/۵۴	-۴۷/۲۶	-۳۸/۲۳
نرخ پیشروی	-۳۹/۰۵	-۴۲/۲۶	-۴۴/۱۸	-۴۱/۰۶	-۳۹/۰۵

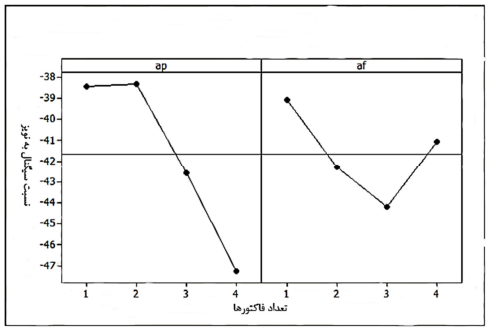
جدول۶ نسبت سیگنال به نویز اصلی برای عرض سایش سطح براده

سطح	۱	۲	۳	۴	ماکزیمم
عمق برش	*	-۳۷/۸۴	-۵۱/۵۸	-۵۲/۴۹	-۳۷/۸۴
نرخ پیشروی	-۴۷/۱۲	-۴۸/۲۴	-۴۸/۶۵	-۵۶/۷۱	-۴۷/۱۲

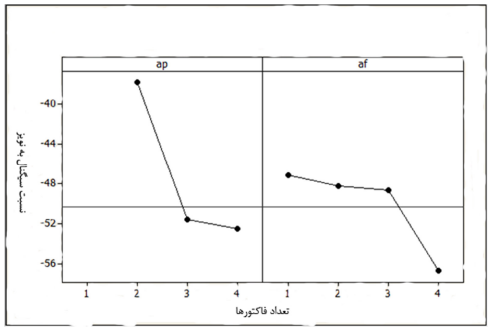
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.20.0]

جدول ۷ نسبت سیگنال به نویز اصلی برای طول سایش سطح براده

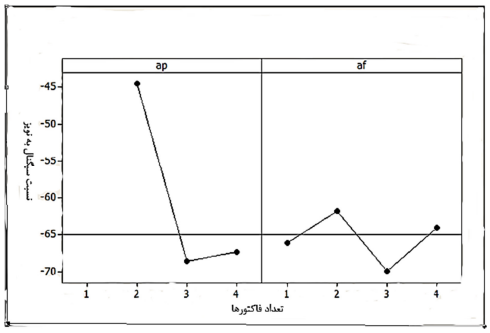
سطح	۱	۲	۳	۴	ماکزیمم
عمق برش	*	-۴۴/۶۱	-۶۸/۵	-۶۷/۳۶	-۴۴/۶۱
نرخ پیشروی	-۶۶/۰۵	-۶۱/۸۱	-۶۹/۹۴	-۶۴/۰۹	-۶۱/۸۱



شکل ۴ نمودار عرض سایش سطح آزاد برای عمق برش و نرخ پیشروی



شکل ۵ نمودار عرض سایش سطح براده برای عمق برش و نرخ پیشروی



شکل ۶ نمودار طول سایش سطح براده برای عمق برش و نرخ پیشروی

۴-۳- تحلیل نسبت سیگنال به نویز

گرافی که در شکل ۴ مشاهده می‌شود مربوط به عرض سایش در سطح آزاد می‌باشد که در گراف مربوط به عمق برش، بین چهار نسبت به دست آمده دومین مقدار فاکتور، که مقدار آن ۰/۲ میلی‌متر می‌باشد دارای بهترین حالت و مقدار فاکتور چهارم که مقدار آن ۰/۶ میلی‌متر می‌باشد دارای بدترین موقعیت می‌باشد. این نشان دهنده این موضوع است که با افزایش مقدار عمق برش بیشتر از ۰/۲ میلی‌متر عمر ابزار نیز کاهش می‌یابد. در این گراف بین چهار نسبت به دست آمده اولین مقدار فاکتور، که مقدار آن ۰/۰۹ میلیمتر بر دور می‌باشد دارای بهترین حالت و مقدار فاکتور سوم، با مقدار ۰/۱۷ میلیمتر بر دور دارای بدترین موقعیت می‌باشد. این نشان دهنده این موضوع می‌باشد که با افزایش نرخ پیشروی عمر ابزار نیز کاهش می‌یابد.

نموداری که در شکل ۵ مشاهده می‌شود مربوط به عرض سایش در سطح براده می‌باشد که در گراف مربوط به عمق برش، بین چهار نسبت به دست آمده مقدار فاکتور دوم، با مقدار ۰/۲ میلی‌متر دارای بهترین حالت و مقدار فاکتور چهارم که مقدار آن ۰/۶ میلی‌متر می‌باشد دارای بدترین موقعیت می‌باشد. با توجه به این موارد مشخص می‌شود که عرض سایش در سطح براده نیز همانند عرض سایش در سطح آزاد با افزایش مقدار عمق برش بیشتر از ۰/۲ میلی‌متر عمر ابزار نیز کاهش می‌یابد. همچنین با تحلیل نمودار نرخ پیشروی، مربوط به عرض سایش در سطح براده ابزار مشخص می‌شود بهترین عمر ابزار زمانی به دست می آید که سرعت برشی در فاکتور اول است یعنی ۰/۰۹ میلی‌متر بر دور و بدترین حالت متعلق به فاکتور چهارم یعنی ۰/۲۱ می‌باشد. پس در تحلیل عرض سایش در سطح براده نیز همانند عرض سایش در سطح آزاد می‌توان گفت که با افزایش نرخ پیشروی عمر ابزار نیز کاهش می‌یابد.

نمودار شکل ۶ مربوط به طول سایش در سطح براده می‌باشد. نمودار سمت چپ مربوط به عمق برش می‌باشد که در این نمودار مشاهده می‌شود که بهترین مقدار فاکتور متعلق به فاکتور دوم یعنی ۰/۲ میلی‌متر می‌باشد و بدترین حالت متعلق به فاکتور سوم یعنی ۰/۴۵ میلی‌متر می‌باشد. در این نمودار نیز بهترین حالت همانند دو بعد دیگر سایش (عرض سایش در سطح آزاد و عرض سایش در سطح براده) فاکتور دوم یعنی ۰/۲ میلی‌متر می‌باشد. اما بدترین حالت متعلق به فاکتور چهارم یعنی ۰/۶ میلی‌متر نمی‌باشد پس شرایط فرسایش در سطح براده با سطح آزاد متفاوت است. نمودار سمت راست مربوط به نرخ پیشروی ابزار می‌باشد که در این نمودار نیز مشاهده می‌شود بهترین مقدار فاکتور به دست آمده متعلق به فاکتور دوم با مقدار ۰/۱۳ میلی‌متر بر دور می‌باشد و بدترین حالت متعلق به فاکتور سوم با مقدار ۰/۱۷ میلی‌متر بر دور می‌باشد. لازم به ذکر است با توجه به اینکه طول سایش در سطح آزاد به اندازه طول درگیری ابزار با قطعه‌کار می‌باشد و در نتیجه طول سایش سطح آزاد برای تمام آزمایش‌ها یکسان می‌شود از رسم نمودار آن خوداری می‌شود.

۴-۴- مدل‌سازی فرآیند

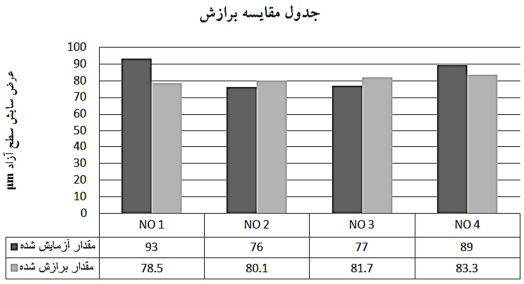
در این تحقیق برای به دست آوردن یک رابطه ریاضی مابین پارامترها و مقدار سایش ابزار از روش رگرسیون استفاده شد [۱]. به منظور بهره‌گیری از این روش از نرم‌افزار مینی‌تب استفاده شد و یک معادله رگرسیون خطی برای عرض سایش سطح آزاد به دست آمد. معادله (۳) این رابطه را نشان می‌دهد که با این معادله می‌توان سایش سطح آزاد ابزار را در عمق بار و پیشروی‌های متفاوت محاسبه کرده و تخمین زد.

$$Fw = 59.7 + 152a_p + 40a_f \quad (۴)$$

همچنین تعدادی آزمایش به صورت تصادفی انتخاب شد و نتایج آن‌ها با مقادیر برازش شده توسط معادله‌ها مقایسه گردید. مطابق شکل ۷، مدل‌های برازش شده از دقت خوبی برخوردار بودند. با توجه به آزمایشاتی که برای سنجش معیار عمر این ابزار سرامیکی انجام شد مشاهده شد که برای پایان عمر این نوع ابزار، سایش در سطح آزاد ابزار به یک میزان خاصی که برسد، عمر ابزار به پایان می‌رسد و نیازی به سایش در سطح براده نمی‌باشد. همچنین در ۱۶ آزمایشی که انجام شد مشاهده شد که با پیشرفت سایش در سطح آزاد ابزار و به دنبال آن افزایش درجه حرارت و تغییر شکل پلاستیک، فرسایش به سطح براده انتقال پیدا می‌کند و سطح براده دوچار شکستگی می‌شود. همان‌طور که می‌دانیم ابعاد شکستگی‌ها در ابزارهای سرامیکی از

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.20.0]



شکل ۷ مقایسه نتایج با مقادیر برازش شده توسط معادله‌ها

معیار خاصی طبعیت نمی‌کند و ممکن است در دو آزمایش با شرایط برشی یکسان دو شکستگی با ابعاد کاملاً متفاوت اتفاق بیفتد. همچنین نتایجی هم که از ابعاد فرسایش در سطح براده در ۱۶ آزمایش به‌دست آمد کاملاً غیر خطی می‌باشد بنابراین با توجه به این مطالب رابطه‌ای معقول برای سطح براده ابزار پیدا کرد.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به آزمایشات انجام شده و علم بر این که در عملیات پرداخت‌کاری پایان عمر ابزار زمانی اتفاق می‌افتد که در هنگام ماشین‌کاری کیفیت سطح به هم بریزد. نتایج حاصل نشان داد که عمر این ابزار زمانی به پایان می‌رسد که عرض سایش یکنواخت در سطح آزاد ابزار حداکثر از ۹۰ میکرومتر بیشتر شود و نیازی به سایش سطح براده نمی‌باشد. بنابراین مهمترین فاکتور سایش در این نوع ابزار، سایش در سطح آزاد ابزار می‌باشد.

نتایج آزمایشات نشان داد که با افزایش عمق برش بیش از ۰/۲ میلیمتر، عمر ابزار کاهش می‌یابد و ابزار دچار سایش شدیدتر در سطح آزاد و لب-پریدگی در سطح براده می‌شود. همچنین کم بودن عمق برش (کمتر از ۰/۱ میلی‌متر) نیز باعث ماسیدن ابزار بر روی قطعه‌کار شده و باعث ایجاد چیپینگ و در نتیجه کاهش عمر ابزار می‌شود. همچنین با افزایش نرخ پیشروی پلیسه خردتر می‌شود و درجه حرارت قطعه‌کار و ابزار کمتر می‌شود ولی به‌طور کلی با افزایش نرخ پیشروی عمر ابزار نیز کاهش می‌یابد.

به دلیل استفاده از عمق‌های برش کم در این ابزار خاص، سایش قابل توجهی در سطح براده اتفاق نمی‌افتد و فرسایش در سطح براده معمولاً شامل لب‌پریدگی و شکستگی می‌باشد که آن هم به دلیل افزایش سایش در سطح آزاد ابزار و به تبع آن افزایش درجه حرارت و تغییر شکل پلاستیک و ایجاد حفره‌های بزرگ فرسایش و در نتیجه لب‌پریدگی و شکستگی سطح براده می-باشد همچنین شکستگی در سطح براده در یک دوره زمانی بسیار کوتاه اتفاق می‌افتد و باعث از کارافتادگی ابزار می‌شود. درضمن ابزار برش سرامیکی میکس آلومینیوم و کارباید تیتانیم مقاومت خوبی در مقابل سایش سطح براده نسبت به دیگر ابزار برشی سرامیکی از خود نشان می‌دهد. همچنین لب-پریدگی در سطح براده معمولاً در قسمت وسط ابزار اتفاق می‌افتد و دلیل آن بالا بودن عمق برش و نرخ پیشری و نیروهای برش در این منطقه می‌باشد.

بیشترین عمر ابزار به دست آمده متعلق به آزمایش پنجم با عمق برش ۰/۲ میلی‌متر و نرخ پیشروی ۰/۰۹ میلی‌متر بر دور و سرعت برشی ۱۱۵ متر بر دقیقه می‌باشد. در این آزمایش کمترین میزان عرض سایش در سطح آزاد با مقدار ۶۴/۵ میکرومتر و مقدار نسبت سیگنال به نویز برابر با (۳۶/۱۹-) ثبت شد. همچنین بهترین صافی سطح به دست آمده متعلق به آزمایش دوم می‌باشد. همچنین به دست آوردن رابطه‌ای خطی از روش رگرسیون با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب برای پیش‌بینی عرض سایش سطح آزاد ابزار با عمق‌های برش و نرخ‌های پیشروی متفاوت نیز یکی دیگر از نتایج این تحقیق می‌باشد.

۶- مراجع

[1] M. Sadeghi, A. Esmailzadeh, F. Kolahan, Optimization software uses mathematical modeling variables steel Rvtrashy And gradual cooling method, *Eleventh Conference of Manufacturing Engineering*, Tabriz, Iran, 2010. (In Persian)

[2] F. Kolahan, M. Manoochehri, A. Hosseini, Simultaneous Optimization of Machining Parameters and Tool Geometry Specifications in Turning Operation of AISI1045 Steel, *Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics*, Tehran, Iran, 2012. (In Persian)

[3] U. fisher, m. heinzler, r. kilgus, A. Valinejad, Tables and standardization of design and Machining , Tehran, Iran, 2008. (In Persian)

[4] H. Esmaihi, A. Afsari, P. Saraian, Optimization of machining parameters using a spinning their tool turning Taguchi method, *inThe 1th Journal - Mechanical Engineering Majlesi*, Tehran, Iran, 2007. (In Persian)

[5] A. Senthil Kumar, A. Raja Durai, T. Sornakumar, Machinability of hardened steel using alumina based ceramic cutting tools, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials 21,* pp. 109– 117, 2003.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.20.0]