بررسی رفتار سایشی ابزار فولاد تندبر در تراشکاری فولاد ۱۰۴۵

علیرضا محبی[۱]، نیما راسخ صالح[۱] و نسیم نایب پاشایی[۲و*]

۱- دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق

۲- پژوهشکده فناوری و مهندسی، پژوهشگاه استاندارد

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۴/۲۸- پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۶/۴)

چکیده

یکی از مهمترین موضوعات در فرآیندهای ماشین‌کاری مصرف بهینه منابع اعم از ابزار، خنک کننده‌ها، زمان از طریق دستیابی به پارامترهای بهینه است. همواره وجود اصطکاک بین ابزار و قطعات کار حین عملیات ماشین کاری سبب افزایش دما و تاثیر منفی بر پارامترهای ماشین کاری به خصوص عمر ابزار داشته است. فولاد ۱۰۴۵ یکی از فلزات سخت تراش صنعت است و ماشین‌کاری آن معمولا باعث صدمه به ابزار و کاهش عمر ابزار و زمان حاضر به کاری ابزار است و علاوه بر آن به علت مقاومت به سایش بالای خود یکی از پر کاربردترین فلزات در حوزه‌های مختلف صنعتی است و افزایش عمر ابزار در ماشین‌کاری این فولاد اهمیت بسزایی دارد. در این پژوهش، با اعمال تغییر در زوایای براده و آزاد ابزار فولاد تند بر در فرآیند تراشکاری فولاد 1045، تاثیر پارامترهای مذکور بر میزان سایش ابزار در سرعت های برشی ۳۰ و ۴۰ متر بر دقیقه در دو سرعت پیشروی ۰/۰۵ و ۰/۲ میلیمتر بر هر دور بررسی شد. تغییرات اعمالی بر روی دستگاه تراش TN50 تبریز و تبدیل دستگاه به دستگاه سی ان سی ، استفاده از ابزار فولاد تندبر در ماشینکاری فولاد ۱۰۴۵ و استفاده از میکروسکوپ دستگاه سی ان سی امکو از جمله نوآوری های انجام شده در این پژوهش بود . نتایج حاصل نشان داد که به صورت میانگین زاویه آزاد ۹ درجه و زاویه براده ۱۵ درجه به علت برخورداری از زاویه گوه مناسب تر در حفظ استحکام لبه برنده ابزار و زاویه براده مناسب در دور کردن سریع تر براده ها از سطح کار سبب کاهش میزان سایش ابزار می گردد. ضمنا با افزایش سرعت برش و سرعت پیشروی به علت افزایش حرارت لبه برنده ابزار عمر ابزار کاهش یافت که با مقایسه داده های حاصل می توان به این موضوع پی برد.

کلمات کلیدی : ماشینکاری ، فولاد تندبر ، سایش ابزار ، عمر ابزار ، زوایای ابزار

Investigating the wear behavior of high-speed steel tools in turning AISI

A.Mohebbi[1], N. Rasekh Saleh[1], N.Nayebpashaee[2*,]

1. School of Engineering- Tehran East Branch- Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Research Center of Technology and Engineering Research Institute, Karaj, Iran

One of the most important issues in machining processes is the optimal use of resources, including tools, coolants and time, by achieving optimal parameters. The presence of friction between tools and workpieces during machining has always led to a rise in temperature and a negative impact on machining parameters, especially on tool life.Steel 1045 is one of the most difficult metals to machine in industry, and its machining usually results in damage to the tool and a reduction in tool life and the time required for machining. In addition, its high wear resistance makes it one of the most commonly used metals in various industries. Increasing the tool life is very important when machining this steel. In this study, by changing the cutting and clearance angles of the high-speed steel tool when turning 1045 steel, the effect of the above parameters on the amount of tool wear at cutting speeds of 30 and 40 m/min at two feed rates of 0.05 and 0.2 millimeters per lap was examined. The innovations carried out in this research include the modifications made to the TN50 lathe in Tabriz and the transformation of the machine into a CNC machine, the use of high-speed steel tools in the machining of 1045 steel, and the use of the CNCMCO microscope. The results showed that, on average, the free angle of 9 degrees and the rake angle of 15 degrees reduce the tool wear due to a more suitable wedge angle to maintain the strength of the cutting edge of the tool and a suitable rake angle to remove the crisps from the working surface faster. will In addition, with the increase of the cutting speed and the feed rate, the tool life is reduced due to the increase of the temperature of the cutting edge of the tool, which can be understood by comparing the resulting data.

Key words: Machining, High speed steel, Tool wear, Tool life, Tool angles

E-mail of corresponding author: n.nayebpashaee@standard.ac.ir

مقدمه

یکی از موثرترین و مهمترین پارامترهای ماشین‌کاری، عمر ابزار است که عبارت است از مدت زمانی که ابزار می‌تواند پس از تیز شدن، عملیات براده برداری را انجام دهد. مشکل اصلی در این زمینه اتلاف زمان و هزینه‌هایی است که در صورت پایین بودن عمر ابزار به فرآیند تولید لطمه می‌زند. بنابراین بررسی روش‌های افزایش عمر ابزار در زمان‌های مختلف مورد توجه محققان بسیاری در نقاط مختلف دنیا بوده است[۱و ۲].

با توجه به اینکه با کاهش دمای ابزار از افزایش حرارت در لبه‌های برنده جلوگیری به عمل می‌شود و در نتیجه عمر ابزار افزایش می‌یابد، همه پارامترهایی که بر این موضوع تاثیرگذار باشد نقش موثری بر عمر ابزار خواهد داشت. به عنوان نمونه تغییر زوایای هندسی ابزار با کمک به کاهش اصطکاک و کمک به افزایش سرعت فرار براده از سطح کار می‌تواند بر عمر ابزار تاثیر گذار باشد[۳].

فولاد ۱۰۴۵با نام تجاری CK45 یکی از فلزات سخت تراش صنعت است و ماشین‌کاری آن توام با چالش‌هایی همچون صدمات به ابزار و کاهش عمر ابزار و مدت زمان طولانی آماده سازی ابزار است و علاوه بر آن به علت مقاومت به سایش بالا، یکی از پرکاربردترین فلزات در حوزه‌های مختلف صنعتی است. افزایش عمر ابزار در ماشین‌کاری این فولاد اهمیت بسزایی دارد[۴].

با توجه به اینکه در فرآیند ماشینکاری فلزات، یک ابزار مواد را از سطح قطعه ای با مقاومت کمتر از خود، با اعمال نیرو جدا می سازد، حرکت تکه های جدا شده از قطعه که براده نام دارند بر روی سطح ابزار به علت وجود اصطکاک به خصوص در محل برخورد ابزار و قطعه کار حرارت بالایی ایجاد می کند. این حرارت اثرات نامطلوبی در ابزار، پارامترهای ماشینکاری و محصول تولید شده دارد[۵و ۶].

اهمیت پارامترهای مرتبط با ابزار به ویژه هندسه و زوایای ابزار در فرآیندهای ماشین‌کاری سبب انجام تحقیقات گسترده در زمینه اثرات بر پارامترهای ماشین کاری شده است[۱۲]–[۷]. ویجایا گانسا ولان[1] و همکارانش[۱۲] با بررسی اثر پارامترهای برش و روان کار پر فشار بر نیروهای برش، زبری سطح و عمر ابزار در تراشکاری فولاد ۱۰۴۵ به این نتیجه رسیدند که با استفاده از سیال روانکار پر فشار بر روی ابزار می‌توان تا ۴۰ درصد عمر کلی ابزار را افزایش داد که این موضوع به سبب کاهش اصطکاک بین ابزار و قطعه کار است. ایشان با بررسی شرایط ماشینکاری و انتخاب فولاد ۱۰۴۵ به عنوان نمونه مورد بررسی و تنظیمات ابزار و شرایط ماشینکاری روند آزمایش‌ها را در دو حالت استفاده از سیال کم فشار و پر فشار بررسی نمودند و نتایج را در سه حیطه نیروهای برشی ، زبری سطح و عمر ابزار بیان داشتند. در مورد نیروهای برشی کاهش نیروی برش و نیروی پیشروی در حالت استفاده از سیال پر فشار حاصل شد. همچنین مقدار زبری سطح در حالت استفاده از سیال پر فشار کاهش چشمگیری را نشان داد.

ماموندی آزات و همکارانش[2] [۱۱] درسال ۲۰۲۱ در پژوهشی اثر زاویه براده و هندسه ابزار بر فرایند ماشین‌کاری فولاد ۴۳۴۰ را بررسی نموده و گزارش کردند که بیشترین دمای ابزار در حالتی است که زاویه براده ابزار صفر درجه باشد.

[1] Vijaya Ganesa
[2] Mamundi Azaath

همچنین در شرایطی که مقدار بار کم باشد به علت سطح تماس ناچیز ابزار با قطعه و ضعیف بودن لبه ای که در تماس است، سایش بیشتری به چشم می‌خورد تا جایی که دمای راس ابزار می‌تواند تا ۷۱/۶ درصد افزایش دما را تجربه کند.

آمور بن مدور [3] [۱۰] در سال ۲۰۲۱ در بررسی تجربی و عددی اثرات هندسه ابزار در تراشکاری فولاد ۳۱۶ گزارش نمود که افزایش زاویه براده سبب کاهش دمای ابزار می‌شود که نتیجه آن کاهش سایش ابزار و در نتیجه عمر بیشتر ابزار است. هم‌چنین گزارش نمود که افزایش شعاع نوک ابزار سبب افزایش دمای برش شده که نتیجه آن سایش بیشتر ابزار است.

آمور بن مدور[۱۳] در سال ۲۰۱۹ در پژوهش دیگری با بررسی اثرات زاویه براده ابزار در فرآیند ماشین‌کاری بوسیله روش المان محدود با شبیه سازی فولاد AISI316L و تراشکاری آن دریافت که تاثیر مستقیمی بین افزایش زاویه براده و کاهش نیروهای ماشین‌کاری، کاهش حرارت و شکل براده‌ها وجود دارد و این روند تا زاویه ۱۵ درجه برقرار است. در ضمن با افزایش زاویه براده شکل براده‌ها از حالت غیر پیوسته به حالت پیوسته تغییر می‌یابد.

رُسدی محمد و همکارانش [4] [۱۴] درسال ۲۰۱۷ در پژوهشی اثرات هندسه ابزار بر صافی سطح با تراشکاری فولاد AISI12L14 با ابزار کاربید تنگستن با پوشش TiAlN را بررسی و گزارش نمودند که بین سه زاویه ۱۰-، صفر و ۱۰ درجه برای زاویه براده، بهترین نتایج صافی سطح برای زاویه ۱۰ درجه مشاهده شده است.

ژاوو و همکارانش [5] [۱۵] در پژوهشی اثر شعاع نوک ابزار بر زبری سطح و سایش ابزار در تراشکاری فولاد AISI52100 به کمک ابزار CBN را بررسی و گزارش کردند که چنانچه شعاع لبه برنده ابزار ۲۰ میکرومتر باشد بیشترین مقدار سایش ابزار به چشم می‌خورد و بهینه ترین حالت برای شعاع ۳۰ میکرمتری لبه برنده ابزار است.

زیابین سویی و همکارانش [6] [۱۶] در سال ۲۰۱۶ با بررسی اثرات زاویه براده ابزار و سرعت برش بر از بین رفتن ابزار سرامیکی در فرایند تراشکاری فولاد سختکاری شده بیان داشتند که بیشترین عمر ابزار در زاویه ۶ تا ۸ درجه است. هم‌چنین افزایش سرعت برشی از ۶۰ متر بر دقیقه به ۱۴۰ متر بر دقیقه سبب کاهش غیر منتظره عمر ابزار می‌گردد. در ضمن بهینه ترین حالت زاویه ۶ درجه برای زاویه براده ابزار و سرعت برشی ۶۰ متر بر دقیقه برای فرایند تراشکاری یافت شد.

لی هیو گیانگ و همراهانش [7] [۹] در سال ۲۰۱۶ با بررسی اثرات هندسه ابزار بر نیروهای برش، حرارت و سایش ابزار در تراشکاری به روش المان محدود و تکنیک تاگوچی بیان داشتند که کاهش ۶ درصدی زاویه براده سبب افزایش دما از ۶۸۲ درجه سانتیگراد به ۷۷۲ درجه سانتیگراد شده و هم‌چنین نیروهای برش را از ۹۸۹ نیوتن به ۱۴۰۶ نیوتن می‌رساند.

اهمیت بالای فولاد ۱۰۴۵ به عنوان یکی از فولادهای رایج در صنعت و ارزش بالای بهبود شرایط ماشین‌کاری این فولاد،

---

[3] Amor Benmeddour
[4] Rosdi Mohammad
[5] Zhao
[6] Xziaobin
[7] Le Hieu Giang

هم‌چنین قیمت پایین ابزار فولاد تند بر نسبت به سایر ابزارهای ماشین‌کاری، و فراوانی آن و تاثیر بالای یافتن پارامترهای بهینه هندسه ابزار برای این فرآیند ماشین کاری، لزوم بررسی دقیق زوایای آزاد و براده و دستیابی به نتایج مثبت را آشکار می سازد.

ابزار مورد مطالعه در این پژوهش از نوع فولاد تندبر می باشد که ابزاری ارزان قیمت و رایج در صنعت می‌باشد و دلیل انتخاب آن صرفه جویی در روند ماشینکاری فولاد ۱۰۴۵ در صورت دریافت پاسخ مناسب حین فرآیند است. بر مبنای اطلاعات نویسندگان، تاکنون مطالعات معدودی در ارتباط با بهبود عمر ابزار فولاد ۱۰۴۵ انجام شده است. در صورت یافتن زوایای مناسب برای هندسه ابزار می‌توان با افزایش عمر ابزار و زمان حاضر به کاری ابزار صرفه جویی اقتصادی قابل-توجهی را در فرآیندهای ماشین‌کاری تجربه نمود.

در این پژوهش، با در نظر گرفتن مدل هایی از جنس فولاد AISI1045 و تراشکاری آنها بوسیله ابزار HSS به بررسی اثر زوایای مختلف آزاد و براده در شرایط مختلف سرعت برشی و سرعت پیشروی بر سایش و عمر ابزار پرداخته شد.

مواد و روش تحقیق

در این پژوهش، از میلگرد فولاد ۱۰۴۵ (CK45) با قطر اولیه ۵۰ میلیمتر و طول اولیه۳۵۰ میلیمتر استفاده شد. از دستگاه تراش تبریز TN50 مجهز به دو عدد گام موتور[8] و جعبه دنده[9] برای کنترل مقادیر حرکات پشتیبان[10]ها به صورت الکترونیکی و مجهز به مبدل[11] سه فاز AC به منظور رساندن عده دوران دستگاه به مقادیر دقیق مورد آزمایش استفاده شد. از ابزار HSS با ابعاد ۱۲ در ۱۲ میلیمتر برای براده برداری استفاده شد. از میکروسکوپ دستگاه CNC امکو برای بررسی وضعیت نوک ابزار بهره گرفته شد. مراحل بررسی سایش ابزار در شکل ۱ نشان داده شده است.

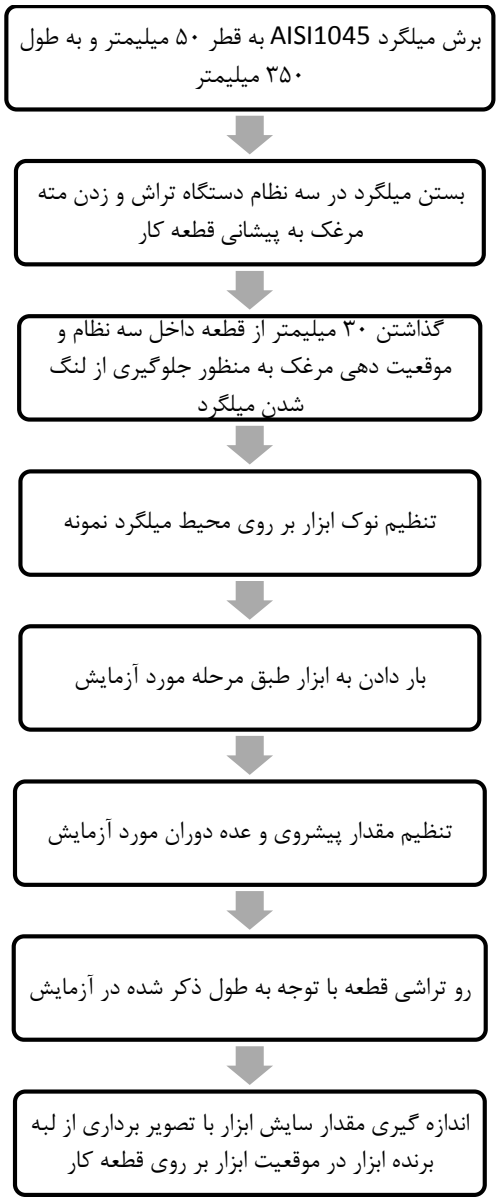
به منظور بررسی نرخ سایش ابزار فولاد تندبر حین تراشکاری فولاد CK45 ابتدا سنگ زنی ابزارها توسط ماشین سنگ زنی با قابلیت تعیین زاویه انجام شد و تصویر برداری و چک کردن زوایا با عکس برداری توسط دوربین میکروسکوپ دستگاه CNC امکو به همراه نرم افزار دیجیتایزر انجام شد. فرآیند خوردگی ابزار نیز با میکروسکوپ مذکور حین فرآیند چک شد و در پایان مسیر حرکت ابزار در طول ۳۰۰ میلیمتری مقدار سایش لبه برنده ابزار اندازه گیری شد.

برای انجام عملیات، قطعات کار با ابعاد ثابتی انتخاب شدند و فرآیند با در نظر گرفتن چند حالت ثابت برای سرعت پیشروی، سرعت برشی و مقدار بار اعمالی انجام شده و مقدار سایش لبه‌های برنده ابزار در طول مشخص ثبت شد تا و امکان مقایسه داده‌ها در پایان آزمون‌ها فراهم شود.

شرایط در نظر گرفته شده برای آزمایش از قرار زیر است:

* جنس نمونه‌ها : فولاد ۱۰۴۵ (ck45)
* جنس ابزار انتخابی : رنده تراشکاری ۱۲در ۱۲میلیمتری از جنس فولاد تندبر (HSS)

[8] Motor Step
[9] Gearbox
[10] Support
[11] Inventor



شکل ۱ - فلوچارت روند بررسی سایش ابزار.

*ابعاد نمونه‌ها : قطر ۵۰ میلیمتر – طول ۳۵۰ میلیمتر

* شرایط خنک کاری : سیال آب صابون

* سرعت‌های برشی انتخابی : ۳۰ و ۴۰ متر بر دقیقه

* مقدار بار : ۱ میلیمتر

* مقادیر پیشروی : ۰/۰۵ و ۰/۲ میلیمتر بر دور

* زاویه براده ابزار بین ۰ الی ۳۰ درجه با بازه تغییر ۳ درجه (۰ – ۳ – ۶ – ۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۱۸ – ۲۱ – ۲۴ – ۲۷ – ۳۰)

* زاویه آزاد ابزار بین ۰ الی ۳۰ درجه با بازه تغییر ۳ درجه (۰ – ۳ – ۶ – ۹ – ۱۲ – ۱۵ – ۱۸ – ۲۱ – ۲۴ – ۲۷ – ۳۰)

روند آماده سازی تجهیزات برای انجام آزمایش

در این تحقیق در ابتدای امر تغییراتی بر روی دستگاه تراش TN50 تبریز اعمال گردید. این تغییرات شامل افزودن ۲ عدد استپ موتور ۱/۸ درجه و ۴/۵ کیلونیوتن و جعبه دنده با نسبت انتقال ۱:۵۰ در ورودی سوپرت طولی و عرضی و اضافه کردن یک اینورتور سه فاز در ورودی الکتروموتور دستگاه و یک عدد انکودر دور سنج در راستای محور سه نظام، به منظور تنظیم عده دوران دستگاه بود.

استپ موتور های استفاده شده در دستگاه با استفاده از دو عدد درایو استپ موتور به یک سیستم رایانه و به خروجی پورت LPT متصل شدند تا کنترل حرکات ماشین با مکانیزم کنترل عددی قابل انجام باشد. نرم افزار استفاده شده در سیستم رایانه Mach3 ورژن (R3.043.066) بوده که با استفاده از پورت LPT پالس های مورد نیاز برای درایوهای استپ موتور و اینورتور را تامین می نمود.

همچنین با توجه به اینکه سیستم جعبه دنده سه نظام دستگاه دارای عده دوران های محدود است، به علت حفظ گشتاور و عده دوران مناسب و عدم کاهش توان الکتروموتور حین عملیات ماشینکاری در هر مرحله از آزمایش عده دوران مورد نیاز محاسبه شده و دستگاه بر روی دوری نزدیک به دور اصلی تنظیم شده و مقدار اختلاف عده دوران دقیق توسط اینورتور محاسبه و به الکتروموتور اعمال می گردید.

علاوه بر تجهیزات حرکتی اضافه شده به دستگاه تراش TN50، یک عدد میکروسکوپ نمایش نوک ابزار دستگاه

CNC امکو بر روی ابزار گیر دستگاه توسط فیکسچر ساخته شده نصب و تصاویر توسط یک عدد دوربین دیجیتال سامسونگ با کیفیت ۵ مگا پیکسل ذخیره گردید.

نازل آب صابون نیز بر روی مجموعه ابزار گیر نصب شده و بر روی نوک ابزار به منظور اعمال دقیق تنظیم شدند. سیال آب صابون توسط پمپ آب صابون کنترل می شد و بر روی ابزار اعمال گردید. مخزن سیال آب صابون در مکان استاندارد و در زیر دستگاه تراش قرار داشت.

ابزارهای HSS تحت زاویه آزاد پیشانی ۸ درجه و زوایای دیگر طبق موضوع آزمایشات سنگ زنی و آماده ی استفاده شدند. قطعات فولادی AISI1045 نیز در قطرهای ۵۰ میلیمتر و طول های ۳۵۰ میلیمتر آماده شده و یک سمت آنها دارای سوراخ مته مرغک است. در ادامه در هر مرحله قطعات به اندازه ۳۰ میلیمتر داخل سه نظام قرار گرفته و در سمت مقابل آن توسط دستگاه مرغک مهار گردیدند.

روند انجام آزمون سایش ابزار

در این مرحله از تحقیق روال کلی آزمایش به این ترتیب است: نمونه‌های آماده شده بعد از بسته شدن در داخل سه نظام تحت عملیات روتراشی قرار می‌گیرند. عملیات روتراشی از ابتدای قطعه آغاز و تا طول ۳۰۰ میلیمتری از قطعات ادامه پیدا کرده و اندازه گیری در طول مربوطه صورت گرفت.

در هر مرحله از سیکل روتراشی سرعت برشی، مقدار پیشروی و عمق بار مشخص و ثابت است. همچنین داده های مربوط به میزان سایش ابزار توسط دوربین میکروسکوپ دستگاه سی ان سی امکو از روی مدل اندازه گیری و ثبت شد.

اندازه گیری مقادیر سایش لبه برنده ابزار

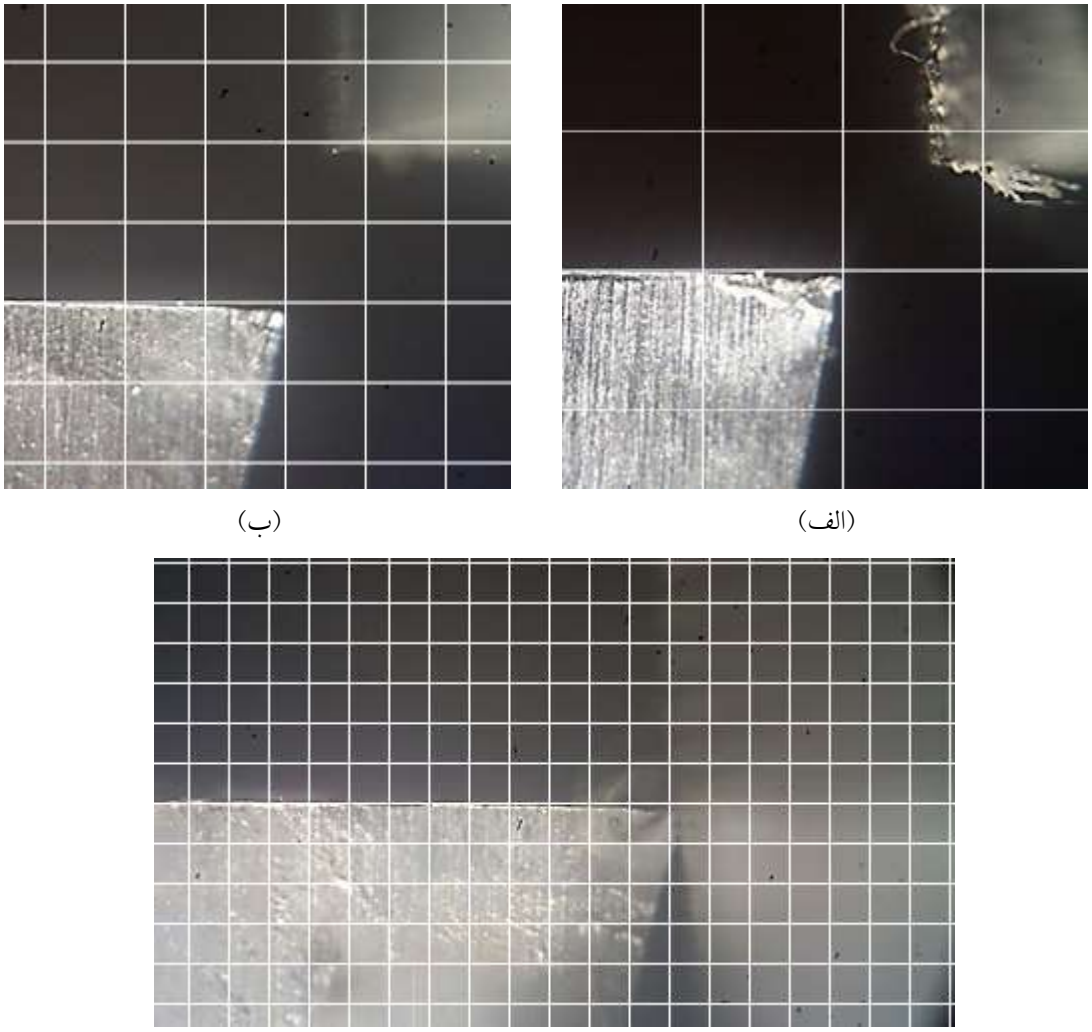
پس از استخراج تصاویر ثبت شده توسط دوربین دیجیتال سامسونگ که بر روی میکروسکوپ دستگاه سی ان سی امکو نصب گردیده است ، آنها را به رایانه منتقل نموده و توسط نرم افزار Digimizer به تحلیل تصاویر پرداخته و مقدار سایش لبه برنده ابزار اندازه گیری می شود.

با توجه به اینکه آزمایش‌های تجربی به داده های مقدار فرسایش لبه برنده ابزار ختم شدند مقادیر حاصل قابل مقایسه هستند و از این طریق می‌توان با کمک تصاویر بدست آمده و اندازه‌گیری انجام شده مقدار فرسایش را مشخص نمود. شکل ۲ نمونه‌ای از تصاویر بررسی شده در نرم افزار Digimizer را نشان می‌دهد.

به این ترتیب در هر سیکل آزمایش یک مقدار خوردگی برای راس ابزار ثبت شد که با توجه به پارامترهای مورد بررسی تعداد ۴۸۴ عدد اندازه گیری شدند.

نتایج و بحث

هدف از انجام این پژوهش بررسی تاثیر مثبت یا منفی تغییر زوایای آزاد و براده ابزار HSS بر عمر ابزار و سایش لبه برنده ابزار در ماشینکاری فولاد AISI1045 است. به همین منظور با تقسیم بندی مراحل آزمایش در چند حالت مختلف از نظر سرعت برشی، سرعت پیشروی و زوایای مختلف براده و آزاد داده های حاصل برای مقدار سایش ابزار ثبت گردیده است.



(الف) (ب)

(ج)

شکل ۲- نمونه ای از تصاویر بررسی شده در نرم افزار Digimizer، (الف) تصویر لبه ابزار بعد از سایش، (ب) تصویر لبه ابزار قبل از سایش و (ج) لبه برنده ابزار در حین عملیات براده برداری.

در جداول ۱ تا ۳ و شکل های ۳ تا ۵، بعنوان نمونه برای هر دو سرعت برش انتخابی، هر دو مقدار پیشروی و زوایای مختلفی که برای ابزار در نظر گرفته شده است مقادیر سایش ابزار در انتهای هر مورد از آزمون، گزارش شده است.

مطابق با شکل های ۳ تا ۵ در زاویه براده ۱۵ درجه کمترین میزان فرسایش و در زاویه صفر درجه بیشترین میزان فرسایش ثبت گردیده است.

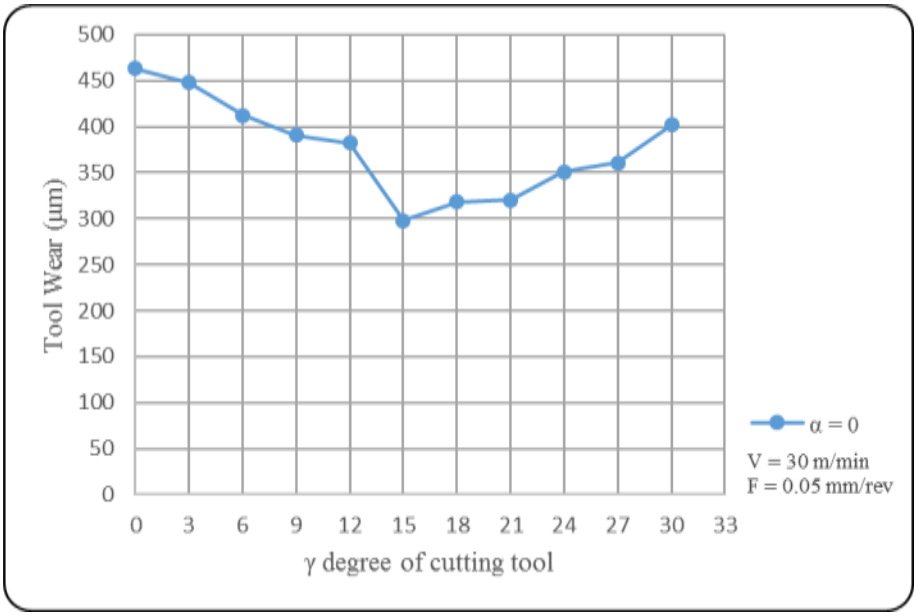
در ادامه به منظور بررسی عینی شرایط حاصل از روند آزمایش‌ها، نمودارها با توجه به طبقه بندی زوایای مختلف آزاد یکپارچه و بررسی شده است.

جدول ۱- مقادیر سایش راس ابزار در سرعت برشی 30 m/min و پیشروی 0.05 mm/rev و زاویه آزاد 0 درجه

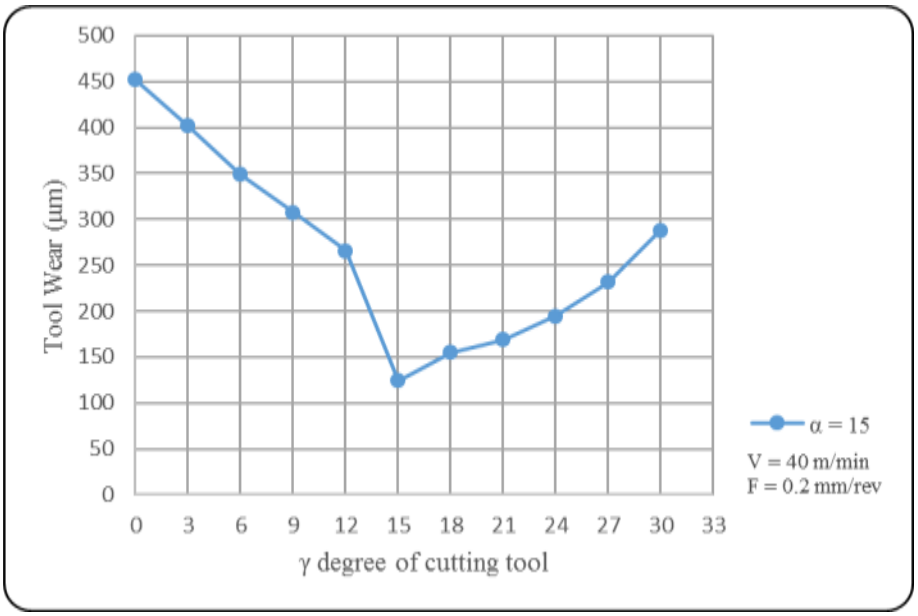
زاویه براده γ	زاویه گوه β	زاویه برش δ	سایش ابزار Tool Wear (µm)	زاویه آزاد α	پیشروی F (mm/rev)	سرعت برشی V (m/min)
0	90	90	463	0	0.05	**30**
3	87	87	448			
6	84	84	412			
9	81	81	391			
12	78	78	382			
15	75	75	298			
18	72	72	318			
21	69	69	320			
24	66	66	351			
27	63	63	361			
30	60	60	402			

جدول ۲- مقادیر سایش راس ابزار در سرعت برشی 40 m/min و پیشروی 0.2 mm/rev و زاویه آزاد 15 درجه

زاویه براده γ	زاویه گوه β	زاویه برش δ	سایش ابزار Tool Wear (µm)	زاویه آزاد α	پیشروی F (mm/rev)	سرعت برشی V (m/min)
0	75	90	452	15	0.2	40
3	72	87	402			
6	69	84	349			
9	66	81	308			
12	63	78	266			
15	60	75	124			
18	57	72	155			
21	54	69	169			
24	51	66	195			
27	48	63	232			
30	45	60	288			



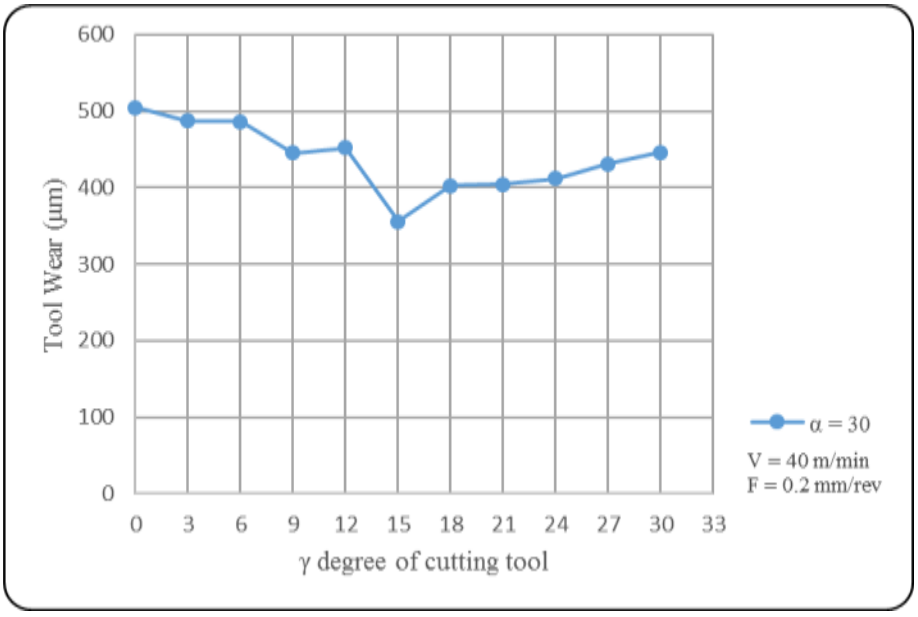
شکل ۳- نمودار سایش راس ابزار در سرعت برشی 30 m/min و پیشروی 0.05 mm/rev و زاویه آزاد 0 درجه.



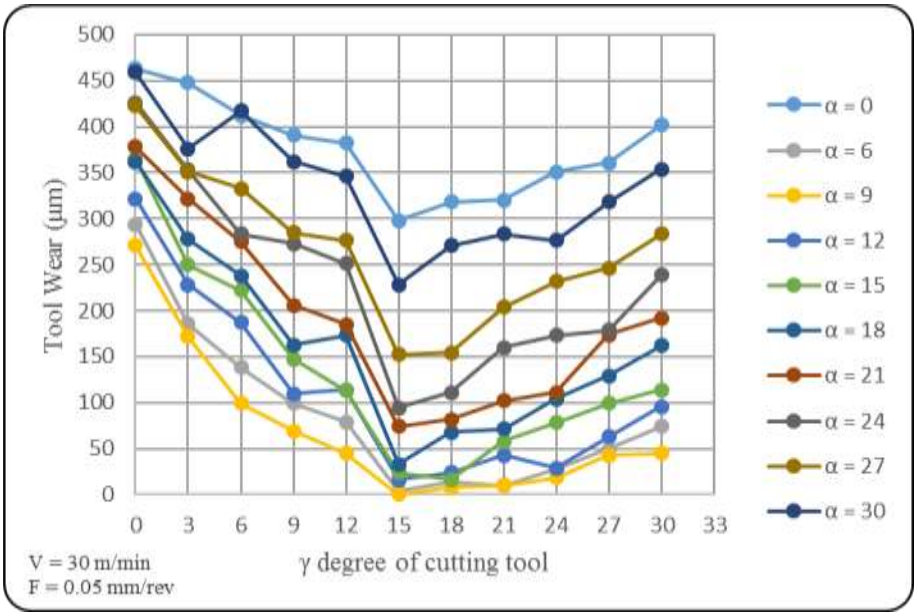
شکل ۴-نمودار سایش راس ابزار در سرعت برشی 40 m/min و پیشروی 0.2 mm/rev و زاویه آزاد 15 درجه.

جدول ۳- مقادیر سایش راس ابزار در سرعت برشی 40 m/min و پیشروی 0.2 mm/rev و زاویه آزاد 30 درجه

زاویه براده γ	زاویه گوه β	زاویه برش δ	سایش ابزار Tool Wear (µm)	زاویه آزاد α	پیشروی F (mm/rev)	سرعت برشی V (m/min)
0	60	90	505	30	0.2	40
3	57	87	487			
6	54	84	486			
9	51	81	445			
12	48	78	452			
15	45	75	356			
18	42	72	403			
21	39	69	404			
24	36	66	412			
27	33	63	431			
30	30	60	446			



شکل ۵- نمودار سایش راس ابزار در سرعت برشی 40 m/min و پیشروی 0.2 mm/rev و زاویه آزاد 30 درجه.



شکل ۶- نمودار سایش راس ابزار در سرعت برشی 30 m/min و پیشروی 0.05 mm/rev و زوایای آزاد مختلف.

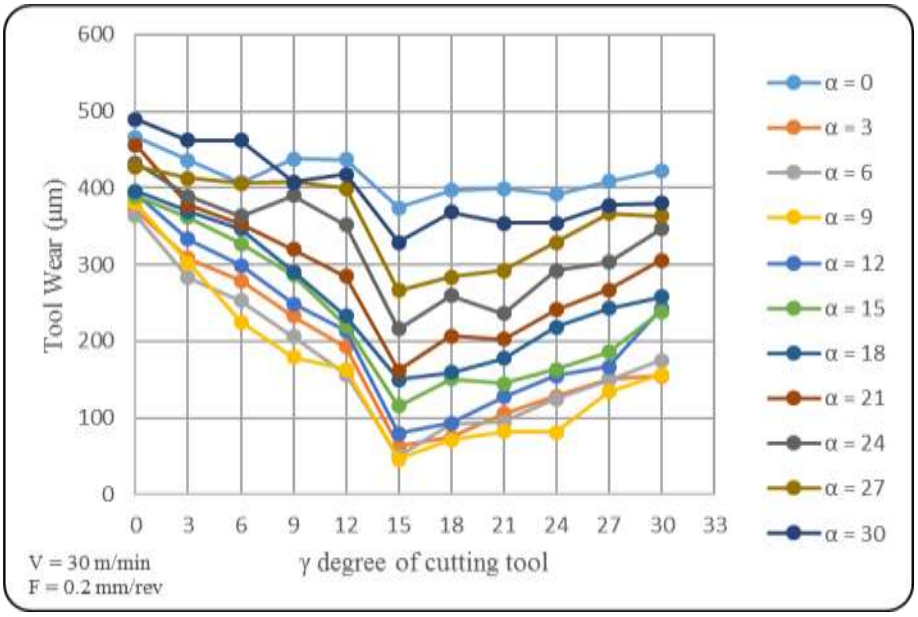
با توجه به شکل ۶ برای سرعت برشی 30 m/min و پیشروی 0.05 mm/rev ، زوایای آزاد ۹ ، ۶ و ۱۲ درجه شرایط بهتری نسبت به زوایای ۰ ، ۳۰ و ۲۷ درجه دارند که از بین آنها زاویه آزاد ۹ درجه بهترین حالت و زاویه آزاد ۰ درجه بدترین حالت است. درباره زاویه براده نیز در همه حالات زاویه براده ۱۵ درجه و ۱۸ درجه شرایط بهتری نسبت به بقیه زوایا دارند و زاویه صفر درجه و ۳۰ درجه بدترین حالت را برای زاویه براده دارند.

به این ترتیب با توجه به نرخ سایش اندازه‌گیری شده، بهترین حالت زوایای آزاد و براده برای سرعت برش ۳۰ متر بر دقیقه و مقدار پیشروی ۰/۰۵ میلیمتر بر دور از قرار زاویه آزاد ۹ درجه و زاویه براده ۱۵ درجه می‌تواند باشد.

با توجه به شکل ۷ برای سرعت برشی 30 m/min و پیشروی 0.2 mm/rev ، زوایای آزاد ۹ ، ۶ و ۳ درجه شرایط بهتری نسبت به زوایای ۰ ، ۳۰ و ۲۷ درجه دارند که از بین آنها زاویه آزاد ۹ درجه بهترین حالت و زاویه آزاد ۰ و ۳۰ درجه بدترین حالت است. درباره زاویه براده نیز در همه حالات زاویه براده ۱۵ درجه ، ۱۸ درجه و ۲۳ درجه شرایط بهتری نسبت به بقیه زوایا دارند و زاویه صفر درجه و ۳۰ درجه بدترین حالت را برای زاویه براده دارند.

به این ترتیب با توجه به نرخ سایش اندازه‌گیری شده، بهترین حالت زوایای آزاد و براده برای سرعت برش ۳۰ متر بر دقیقه و مقدار پیشروی ۰/۲ میلیمتر بر دور از قرار زاویه آزاد ۶ و ۹ درجه تقریبا در یک سطح قرار گرفته و زاویه براده ۱۵ درجه می تواند باشد.

با توجه به شکل ۸ برای سرعت برشی 40 m/min و پیشروی 0.05 mm/rev ، مجددا زوایای آزاد ۹ ، ۶ و ۳ و ۱۲ درجه شرایط بهتری نسبت به زوایای ۰ ، ۳۰ و ۲۷ درجه دارند که از بین آنها زاویه آزاد ۹ درجه بهترین حالت و زاویه آزاد ۰ و ۳۰ درجه بدترین حالت است.



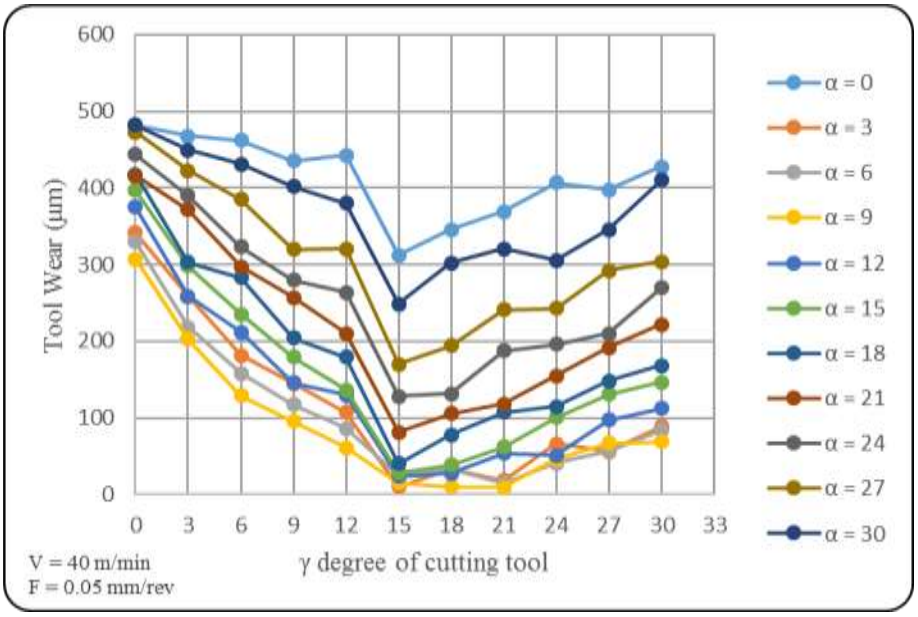
شکل ۷- نمودار سایش راس ابزار در سرعت برشی 30 m/min و پیشروی 0.2 mm/rev و زوایای آزاد مختلف.

درباره زاویه براده نیز در همه حالات زاویه براده ۱۵ درجه ، ۱۸ درجه و به نسبت کمتر زاویه براده ۲۳ درجه شرایط بهتری نسبت به بقیه زوایا دارند و زاویه صفر درجه و ۳۰ درجه بدترین حالت را برای زاویه براده دارند. به این ترتیب با توجه به نرخ سایش اندازه گیری شده ، بهترین حالت زوایای آزاد و براده برای سرعت برش ۴۰ متر بر دقیقه و مقدار پیشروی ۰/۰۵ میلیمتر بر دور از قرار زاویه آزاد ۹ و ۶ درجه و زاویه براده ۱۵ تا ۱۸ درجه می تواند باشد.

با توجه به شکل ۹ برای سرعت برشی 40 m/min و پیشروی 0.2 mm/rev ، زوایای آزاد ۹ و ۶ درجه شرایط بهتری نسبت به زوایای ۰ ، ۳۰ و ۲۷ درجه دارند که از بین آنها زاویه آزاد ۹ و ۶ درجه بهترین حالت و زاویه آزاد ۰ و ۳۰ درجه بدترین حالت است. درباره زاویه براده نیز در همه حالات زاویه براده ۱۵ درجه و ۱۸ درجه شرایط بهتری نسبت به بقیه زوایا دارند و زاویه صفر درجه و ۳۰ درجه بدترین حالت را برای زاویه براده دارند.

به این ترتیب با توجه به نرخ سایش اندازه گیری شده ، بهترین حالت زوایای آزاد و براده برای سرعت برش ۴۰ متر بر دقیقه و مقدار پیشروی ۰/۲ میلیمتر بر دور از قرار زاویه آزاد ۶ یا ۹ درجه و زاویه براده ۱۵ درجه می‌تواند باشد.

عامل اصلی اتمام عمر ابزار، سایش در سطوح آزاد و براده آن است که با افزایش حرارت در نواحی برش شدت پیدا می کند لذا هر عاملی که بتواند حرارت را در هنگام برش کاهش دهد و دمای لبه برنده را پایین نگه دارد باعث افزایش طول عمر ابزار خواهد شد. در تراشکاری، زوایای قلم ، سرعت برش و آهنگ پیشروی باید چنان انتخاب شود که ابزار، عمر اقتصادی تری داشته باشد. شرایطی که باعث کوتاه شدن عمر ابزار گردد باعث بالا رفتن هزینه ابزار گردیده و آهنگ تولید را کاهش می‌دهد. جمع بندی نتایج به دست آمده نشان می دهد که به صورت میانگین زاویه آزاد ۹ درجه و زاویه براده



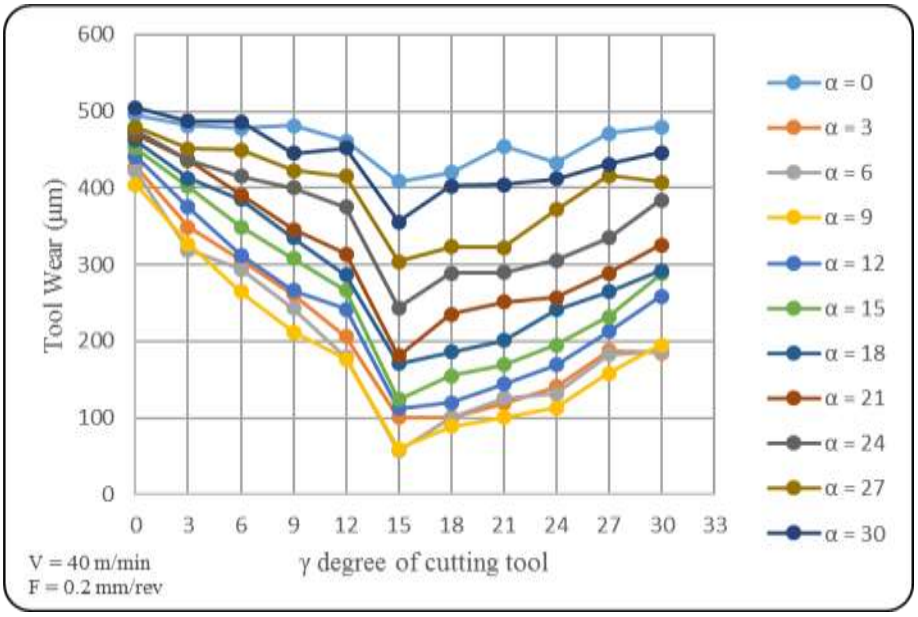
شکل ۸- نمودار سایش راس ابزار در سرعت برشی 40 m/min و پیشروی 0.05 mm/rev و زوایای آزاد مختلف.

۱۵ درجه موجب کاهش میزان سایش ابزار می گردد. نتایج حاصل در تطابق با نتایج گزارش شده در سایر پژوهش‌ها است[۷و ۱۲]. علت این پدیده تاثیر زاویه براده مناسب در دور کردن سریع تر براده ها از سطح کار است که موجب کاهش اصطکاک بین ابزار و قطعات کار حین عملیات ماشین کاری، جلوگیری از افزایش دما و تاثیر منفی بر پارامترهای ماشین کاری به خصوص عمر ابزار شده است.

نتیجه گیری

در این پژوهش، با توجه به اهمیت فولاد CK45 و ماشین‌کاری آن در صنعت و هم‌چنین قیمت مناسب ابزار فولاد تندبر نسبت به سایر ابزارهای ماشین‌کاری، به بررسی نرخ سایش این ابزار حین تراشکاری فولاد CK45 پرداخته شد و با استفاده از تغییر زاویه براده ابزار و زاویه آزاد ابزار با توجه به محدوده مشخص شده به مقایسه عمر ابزار در شرایط مختلف به منظور یافتن حالت بهینه پرداخته شد.

به منظور انجام آزمایش‌ها، تاثیر اعمال تغییرات زوایای مختلف براده و ابزار، زوایا بر عمر ابزار و افزایش یا کاهش سایش لبه برنده ابزار بررسی شد. با در نظر گرفتن مدل‌هایی از جنس فولاد AISI1045 و تراشکاری آنها بوسیله ابزار HSS به بررسی اثرات اعمال زوایا درشرایط مختلف سرعت برشی و سرعت پیشروی، بر عمر ابزار پرداخته شد. نتایج به دست آمده نشان داد که به صورت میانگین، زاویه آزاد ۹ درجه و زاویه براده ۱۵ درجه به دلیل دارا بودن زاویه گوه مناسب تر در حفظ استحکام لبه برنده ابزار و همچنین دارا بودن زاویه براده مناسب تر در دور کردن سریع تر براده ها از سطح کار، سبب کاهش میزان سایش ابزار می‌شوند.



شکل ۹- نمودار سایش سایش راس ابزار در سرعت برشی 40 m/min و پیشروی 0.2 mm/rev و زوایای آزاد مختلف.

منابع

[1] Y. Yildiz and M. Nalbant, "A review of cryogenic cooling in machining processes," Int. J. Mach. Tools Manuf., vol. 48, no. 9, pp. 947–964, 2008.

[2] N. Khanna et al., "Review on design and development of cryogenic machining setups for heat resistant alloys and composites," J. Manuf. Process., vol. 68, no. PA, pp. 398–422, 2021.

[3] H. Chanal, E. Duc, and P. Ray, "A study of the impact of machine tool structure on machining processes," Int. J. Mach. Tools Manuf., vol. 46, no. 2, pp. 98–106, 2006.

[4] S. A. Iqbal, P. T. Mativenga, and M. A. Sheikh, "Characterization of machining of AISI 1045 steel over a wide range of cutting speeds. Part 1: Investigation of contact phenomena," Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf., vol. 221, no. 5, pp. 909–916, 2007.

[5] J. E. Ribeiro, M. B. César, and H. Lopes, "Optimization of machining parameters to improve the surface quality," Procedia Struct. Integr., vol. 5, pp. 355–362, 2017.

[6]D. Biermann, P. Kersting, T. Wagner, and A. Zabel, Modeling and optimization of machining problems. pp. 1173-1184, 2015.

[7] م. سالاری, ع. مطهری، غ. خلج، بررسی نرخ فرسایش ابزار فولاد تندبر حین تراشکاری فولاد ۱۰۴۵ تحت شرایط خنک کاری به وسیله مبرد R410a در مقایسه با سیال آب–صابون, مهندسی مکانیک, ۳۱(۶)،۴۹–۳۸ ، ۱۴۰۱.

[8] ب. داودی، ب. اسکندری، بررسی مکانیزمهای سایش و عمر ابزار در تراشکاری سوپرآلیاژ پایه آهن–نیکل -۱۵۵N به کمک روششناسی رویه‌ی پاسخ. مهندسی مکانیک مدرس. ۱۴ (۱۵) :، ۵۸–۵۱ ، ۱۳۹۳

[9] L. Hieu Giang, "Investigation of Effects of Tool Geometry Parameters on Cutting Forces, Temperature and Tool Wear in Turning Using Finite Element Method and Taguchi's Technique," Int. J. Mech. Eng. Appl., vol. 4, no. 3, p. 109, 2016.

[10]A. Benmeddour, "Experimental investigation and numerical prediction of the effects of cutting tool geometry during turning of aisi 316l steel," Period. Polytech. Mech. Eng., vol. 65, no. 4, pp. 293–301, 2021.

[11]L. M. Azaath, E. Mohan, and U. Natarajan, "Effect of rake angle and tool geometry during machining process of AISI 4340 steel in finite element approach," Mater. Today Proc., vol. 37, no. Part 2, pp. 3731–3736, 2020.

[12]M. Vijaya Ganesa Velan, M. Subha Shree, and P. Muthuswamy, "Effect of cutting parameters and high-pressure coolant on forces, surface roughness and tool life in turning AISI 1045 steel," Mater. Today Proc., vol. 43, pp. 482–489, 2020.

[13]A. Benmeddour, "Finite element prediction of the effects of tool rake angle on metal cutting process," Acad. J. Manuf. Eng., vol. 17, no. 3, pp. 74–82, 2019.

[14]R. Mohammad, M. K. A. M. Ariffin, B. T. H. T. Baharuddin, F. Mustapha, and H. Aoyama, "The effects of single cutting tool geometry on surface roughness," J. Mech. Eng., vol. SI 3, no. 1, pp. 45–54, 2017.

[15]T. Zhao, J. M. Zhou, V. Bushlya, and J. E. Ståhl, "Effect of cutting edge radius on surface roughness and tool wear in hard turning of AISI 52100 steel," Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 91, no. 9–12, pp. 3611–3618, 2017.

[16]X. Cui, D. Wang, and J. Guo, "Influences of tool rake angle and cutting speed on ceramic tool failure in continuous and intermittent turning of hardened steel," Ceram. Int., vol. 42, no. 10, pp. 12390–12400, 2016.