



بررسی میزان تاثیر اندازه ابزار و نرخ پیشروی بر عمر ابزار در فرز کاری سرعت بالای آلیاژ تیتانیوم (Ti-6Al-4V)

جعیب الله صفری^۱، محمد رضا دشت بیاض^۲ و محمد خوران^{۳*}

۱- استادیار، مهندسی مکانیک، مجتمع آموزش عالی اسفراین، اسفراین

۲- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید باهنر، کرمان

۳- مریم، مهندسی مکانیک، مجتمع آموزش عالی اسفراین، اسفراین

* اسپراین، صندوق پستی ۹۶۶۱۹۹۸۱۳۵ m.khoran@esfarayen.ac.ir

چکیده

انتخاب جنس و اندازه ابزار و همچنین تعیین پارامترهای ماشین کاری همواره یکی از چالش های پیش رو در عملیات ماشین کاری به ویژه در ماشین کاری سرعت بالا می باشد. در این تحقیق تاثیر یکی از پارامترهای مهم ماشین کاری یعنی نرخ پیشروی و اندازه ابزار بر طول عمر آن، در ماشین کاری آلیاژ تیتانیوم (Ti-6Al-4V) با سرعت بالا مود مطالعه قرار گرفته است. سرعت ماشین کاری با مقایه ثابت ۲۰۰mm/min نرخ پیشروی مقابله ۰.۰۶، ۰.۰۳ mm/tooth و عمق بار محوری و شعاعی به ترتیب ۵ mm و ۱.۵ mm به عنوان پارامترهای ماشین کاری در نظر گرفته شده است. ابزارهای برش از جنس کاربید تنگستن با پوشش دو لایه TiALN+TIN در دو اندازه متفاوت در عملیات ماشین کاری به کار گرفته شد. در حین عملیات ماشین کاری آستانه فرسایش (V_c) ابزارها کنترل و توسط میکروسکوب، اندازه گیری و ثبت شد. نتایج نشان داد هنگامی که عملیات ماشین کاری با ابزار اندازه کوچکتر انجام گرفت، در هر دو نرخ پیشروی انتخابی علاوه بر سایش تدریجی، کندگی هایی نیز در نوک ابزار مشاهده گردید. همچنین حین استفاده از ابزار با اندازه کوچکتر افزایش نرخ پیشروی تاثیر بیشتری بر کاهش طول عمر ابزار نسبت به ماشین کاری سرعت بالا با ابزار اندازه بزرگتر دارد. کاهش نرخ پیشروی به میزان ۵۰ درصد باعث افزایش ۲۰۰ درصدی طول عمر ابزار با اندازه کوچکتر گردید.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۰۹ شهریور ۱۳۹۵

پذیرش: ۲۱ مهر ۱۳۹۵

ارائه در سایت: ۲۴ ابان ۱۳۹۵

کلید واژگان:

باند سایش

ماشین کاری سرعت بالا

نرخ پیشروی، عمر ابزار

آلیاژ تیتانیوم

An Investigation of Effects of Tool size and Feed rate on Tool life in High Speed Milling of Ti-6Al-4V alloy

Habiballah Safari¹, Mohammad Reza Dashtbayazi², Mohammad Khoran^{1*}

1- Department of Mechanical Engineering, Esfarayen University, Esfarayen, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

* P.O.B. 9661998135, Esfarayen, Iran, m.khoran@esfarayen.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper

Received 30 August 2016

Accepted 12 October 2016

Available Online 14 November 2016

Keywords:

wear land, feed rate

high speed

tool life

titanium alloy

ABSTRACT

Selecting tool materials, tool sizes and determining the cutting parameters presents a great challenge in machining operations especially in high speed machining processes. In this study effect of feed rate which is one of the important machining parameters and tool size on tool life in high speed machining of Ti-6Al-4V alloy were investigated. Fixed cutting speed of 200 m/min, feed rate of 0.03 and 0.06 mm/tooth together with axial cutting depth of cut 5.0 mm, and radial cutting depth of cut 1.5 mm were employed as the cutting parameters. TiAlN + TiN coated tungsten cemented carbide insert in two different sizes was used during machining operations. Flank wear land measurement was taken by using a toolmakers' microscope and recorded accordingly throughout the machining processes. The results showed during the machining employing both feed rate and using smaller tool size chipping occurred on the tool nose along with gradual tool flank wear. Also by increasing the feed rates utilizing the smaller size of tool highly affected tool life compared to employing the larger one during the high speed machining operations. Reducing the feed rate by 50 percent increased the tool life of smaller tool size by 200 percent.

برش شکل می گیرد. میزان سایش ایجاد شده در ابزار معمولاً معیار مناسبی

جهت تعیین عمر ابزار می باشد. در ماشین کاری آلیاژهای تیتانیوم افزایش

ناچیز سرعت ماشین کاری باعث تغییرات زیادی در عمر ابزار می گردد. در

حالی که تغییرات نرخ پیشروی تاثیر کمتری بر عمر ابزار دارد [2]. لذا به

۱- مقدمه

طول عمر ابزار در عملیات ماشین کاری عبارتست از زمان یا حجم مواد

ماشین کاری شده قبل از این که ابزار کند شود، و یا این که دچار شکست گردد

[1]. در حین عملیات ماشین کاری یک منطقه سایش و یا کندگی در ابزار

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

H. Safari, M. R. Dashtbayazi, M. Khoran, An Investigation of Effects of Tool size and Feed rate on Tool life in High Speed Milling of Ti-6Al-4V alloy, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 12, pp. 21-26, 2016 (in Persian)

نشان می‌دهد. در این تحقیق ماشین فرز CNC مدل DMC835V با ماکریموم دور نامی اسپیندل برابر با 18000 دور بر دقیقه مورد استفاده قرار گرفته است. جدول ۳ پارامترهای ماشین کاری انتخاب شده شامل سرعت برشی ابزار، ۲۰۰m/min، سرعت پیشروی ابزار ۰.۰۶ و ۰.۰۳ (mm/tooth)، بار محوری درنظر گرفته شده به عمق ۵mm و بار شعاعی انتخابی ۱.۵ mm بودند را نشان می‌دهد. با توجه به قطر ابزار مورد استفاده سرعت دورانی محاسبه (۵۳۰۵ دور) و تنظیم شد. معیار انتخاب پیشروی‌های ۰.۰۳ و ۰.۰۶ تحقیقات گذشته، تست‌های اولیه و تجربه نویسنده‌گان مقاله بوده است که با بازه مشخص شده در کاتالوگ نیز مطابقت دارد. در انتخاب اندازه اینسرت‌ها ابزار سایز میکرو توربو توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته است ولی برای سایز نانو توربو از کاتالوگ ابزار استفاده شده است. "شکل ۱" تنظیمات در عملیات فرزکاری به روش موافق را نشان می‌دهد. ابزار نیز در دو اندازه مختلف انتخاب گردید که در ادامه مشخصات آن آورده شده است.

تیغچه‌های پوشش‌دار F40M ساخته شده توسعه شرکت SECO مورد استفاده قرار گرفت. هر دوی آن‌ها درای دو لایه پوشش TiAlN+TiN بوده که توسط روش رسوب فیزیکی بخار² لایه نشانی شده بودند. تفاوت آنها در اندازه تیغچه فرزها می‌باشد. یکی نانو توربو (ابزار با اندازه کوچکتر) و دیگری میکرو توربو (ابزار با اندازه بزرگتر) انتخاب شده است. نوع نانو توربو دارای مشخصات فنی XOMX060204R-M05 که در یک هلدر با مشخصات فنی R217.69-1616.0-06-4A و تیغچه فرز میکرو توربو دارای مشخصات فنی XOMX090308R-ME06 که بر روی یک هلدر با مشخصات فنی R217.69-1616.0-09-4A مونتاژ می‌شود. زوایای لبه برندۀ اصلی و براده هر دو تیغچه فرز به ترتیب ۹۰° و ۲۴° بودند. تصویر هر یک از تیغچه گیرها و تیغچه فرزها در "شکل 2" نمایش داده شده است.

معیارهای شکست ابزار در حین عملیات ماشین کاری براساس استاندارد ISO8688-2 تعیین شده است. این معیار شکست عبارت است از آستانه فرسایش ($V_B \max$) مساوی یا بزرگتر از ۰.۲ میلی‌متر و یا هر گونه تورق، کندگی یا شکست در لبه ابزار برش که زودتر اتفاق بیفت [15]. قطعه‌کار موضوع ماشین کاری از جنس آلیاژ تیتانیوم آلفا- بتا با ابعاد ۷۵×۵۸×۲۷۰ میلی‌متر بوده که جداول ۱ و ۲ خصوصیات مکانیکی و درصد عناصر شیمیایی این آلیاژ را نشان می‌دهند. این آلیاژ تیتانیوم در دمای ۹۲۵ درجه سانتی‌گراد نورد گرم شده و سپس در دمای محیط خنک‌کاری شده است. بهمنظور دست‌یابی به نتایج قابل اطمینان سطوح قطعه‌کار ابتدا ماشین کاری شدند تا هرگونه نتش باقیمانده اولیه در قطعه‌کار حذف گردد. اندازه‌گیری آستانه فرسایش ابزار توسط میکروسکوپ ابزارسازی³ که دارای بزرگنمایی ۱0X و رزولوشن ۱µm بوده صورت گرفته است. "شکل ۳" تصویر این میکروسکوپ را نشان می‌دهد.

۳- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه در تمام آزمایشات پدیده قالب فرسودگی ابزار سایش در سطوح آزاد ابزار بوده است، لذا میزان سایش ابزار برحسب طول عمر ابزار در ماشین کاری سرعت بالا با ابزار کاربیدی نانو توربو گردید F40M در سرعت ۲۰۰ m/min و نرخ پیشروی متفاوت در "شکل 4" نشان داده شده است. نمودار نشان می‌دهد هنگامی که نرخ پیشروی افزایش می‌یابد، طول عمر ابزار کاهش چشمگیری خواهد داشت. این میزان تقریباً سه برابر کمتر از

منظر افزایش راندمان ماشین کاری نرخ پیشروی بیشتر به جای افزایش سرعت ماشین کاری توصیه می‌گردد.

علاوه بر این به طور کلی راههای متعددی جهت افزایش طول عمر ابزار پیشنهاد می‌گردد که عبارتند از [3]:

(۱) استفاده از ابزار با جنس‌های مختلف و مناسب با ماده مورد ماشین کاری.

(۲) استفاده از مواد روان کار و خنک کننده در حین عملیات ماشین کاری.

(۳) با عملیاتی مانند پیش‌گرم کردن قطعه‌کار قبل از شروع ماشین کاری و یا گرم کردن آن در حین ماشین کاری می‌توان در خواص قطعه‌کار تغییر ایجاد کرد.

حرارت بالای ایجاد شده در حین ماشین کاری تیتانیوم که در مجاورت لبه اصلی برشی ابزار اتفاق می‌افتد، مهم‌ترین عامل سایش ابزار می‌باشد. گاهی اوقات بهدلیل ایجاد حرارت و تنفس بالا یک تغییر شکل دائمی در لبه ابزار برش و یا تسريع در سایش ابزار صورت می‌گیرد.

آلیاژهای تیتانیوم کاربرد وسیعی در صنایع هوا فضا جهت ساخت سازه‌ها، لوله‌های هیدرولیک، کمپرسورها و موتورها با توربین گازی دارند [4]. این آلیاژها همچنین در ساخت خودروها، صنایع دریایی، صنایع شیمیایی و صنعت نفت و نیز تجهیزات پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند [6,5]. مهمترین دلایل استفاده از این آلیاژها عبارتند از [7]:

(۱) مقاومت بسیار بالا نسبت به وزن

(۲) حفظ خواص مکانیکی در درجه حرارت‌های بالا

(۳) مقاومت به خوردگی بسیار بالا

(۴) قابلیت استفاده در ساخت مواد کامپوزیت

ماشین کاری سرعت با لا¹ (HSM) یکی از روش‌های پیشرفته ماشین کاری می‌باشد که منجر به نرخ براده برداری بیشتر، نیروی برش کمتر و مصرف کمتر ارزشی می‌گردد [9,8]. از مزایای این روش ماشین کاری می‌توان به بازدهی بیشتر، کیفیت سطح مطلوب قطعه‌کار تولیدی و همچنین کاهش زمان و هزینه ماشین کاری اشاره کرد.

HSM یک مفهوم نسبی است که بسته به جنس قطعه‌کار مورد ماشین کاری تعریف می‌گردد [10]. تحقیقات بسیار زیادی بر روی ماشین کاری سنتی آلیاژ تیتانیوم انجام گرفته است، سرعت ۳۰ تا ۱۰۰ (m/min) بازه سرعت ماشین کاری سنتی این آلیاژ محاسبه می‌شود [11]. لذا سرعت‌های بالای (m/min) ۱۰۰ برای آلیاژهای تیتانیوم HSM محاسبه می‌شود.

مطالعات بسیاری در خصوص طول عمر ابزار در ماشین کاری آلیاژهای تیتانیوم صورت گرفته است [14-12]. اما در هیچ یک از این مطالعات توجهی به اندازه تیغچه‌های به کار برده شده در آزمایش‌ها نشده است که این موضوع خود یکی از دلایل گزارش طول عمرهای متفاوتی از ابزارها در زمان ماشین کاری آلیاژهای تیتانیوم می‌باشد. لذا در این پژوهش سعی بر آن شده تا طول عمر ابزار در ماشین کاری سرعت بالای فرزکاری آلیاژ تیتانیوم (Ti-6Al-4V) با در نظر گرفتن اندازه‌های متفاوت آن مورد بررسی قرار گیرد.

۲- روش تحقیق

مطالعات فرزکاری سرعت بالا بدون استفاده از مایع خنک کننده و به روش فرزکاری موافق بر روی آلیاژ تیتانیوم (Ti-6Al-4V) انجام گرفت. جدول ۱ و ۲ خواص مکانیکی و ترکیب شیمیایی این آلیاژ را مطابق مستندات فروشنده

²PVD
³Tool Makers

در "شکل 6" آورده شده است. نمودار حاکی از آن است که اندازه بزرگتر ابزار تاثیر بسزایی در دوام آن دارد. ابزار میکرو توربو که از نظر ابعادی تنها 50% بزرگتر از نوع نانو توربو می‌باشد در حالی که باعث افزایش طول عمر ابزار به میزان 150% گردیده است. این اختلاف فاحش در طول عمر ابزار را می‌توان به حرارت فروکش بیشتر ابزار بزرگتر نسبت داد (بحث انتقال حرارت). زیرا هرچند ابزار بزرگتر باشد حرارت جذب شده در لبه ابزار را می‌تواند در بدنه بزرگتر خود دفع نماید.

علت اصلی دیگر بالا بودن طول عمر ابزار بزرگتر این است که در طراحی ابزارهای برشی، شعاع گردی لبه‌های برند ابزار و همچنین شعاع نوک ابزار برشی را نسبت به اندازه ابزار در نظر می‌گیرند زیرا ابزار با اندازه‌های بزرگتر تحت بارهای بزرگتر قرار می‌گیرند، به همین دلیل شعاع گردی لبه آن‌ها بزرگتر است لذا بزرگتر بودن شعاع‌های قوسی لبه‌ها و نوک ابزار سبب افزایش استحکام ابزار برش و افزایش طول عمر آن می‌گردد.

"شکل 7" نرخ سایش ابزار برشی را بحسب طول عمر آن در ماشین-کاری سرعت بالا هنگامی که از ابزار با اندازه‌های متفاوت در سرعت 200 m/min و نرخ پیشروی ثابت 0.06 mm/tooth استفاده شده است را نشان می‌دهد. نمودار حاکی از آن است که طول عمر ابزار با اندازه بزرگتر به میزان قابل توجهی بیشتر از ابزار با همان گرید ولی اعاده کوچکتر است. این میزان افزایش طول عمر ابزار که بیش از هفت برابر است، ملاحظات ماشین‌کاران در انتخاب اندازه ابزار و پارامترهای ماشین‌کاری را می‌طلبد. مقایسه "شکل 6 و 7" نشان می‌دهد که انتخاب اندازه ابزار و پارامترهای ماشین‌کاری بایستی متناسب با شرایط ماشین‌کاری باشد. یعنی هنگامی که ابزار با اندازه کوچکتر استفاده می‌شود بایستی پارامترهای ماشین‌کاری از جمله نرخ پیشروی کمتر جهت طول عمر بیشتر ابزار انتخاب گردد. در غیر این صورت با انتخاب نرخ پیشروی بیشتر طول عمر ابزار به شدت کاهش می‌یابد.

آستانه فرسایش و منطقه سایش ابزار میکرو توربو در سرعت 200m/min و نرخ پیشروی متفاوت در "شکل 8(a-d)" نشان داده شده است. "شکل 8-a" سایش در سطح آزاد اصلی را در نرخ پیشروی 0.03mm/tooth نشان می‌دهد. سایش در سطح آزاد اصلی یکنواخت بوده، هیچ‌گونه سایش غیریکنواخت پوسته شدگی یا کندگی در ناحیه سایش مشاهده نشده است و شکل مبین یک فرسایش تدریجی کاملاً یکنواخت است.

جدول 1 خواص مکانیکی آلیاژ تیتانیوم (Ti-6Al-4V) در دمای محیط

Table 1 Mechanical Properties of Ti-6Al-4V in ambient Temperature

Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Elasticity Modulus (GPa)	Elongation (%)	Area Reduction(%)	Hardness (HV)
960-1270	885	100-130	8	25	330-370

جدول 2 ترکیب شیمیایی آلیاژ تیتانیوم (Ti-6Al-4V)

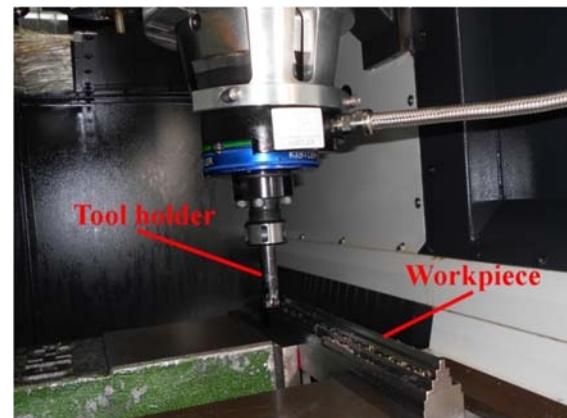
Table 2 Chemical Composition of Ti-6Al-4V

Element	Al	V	Fe	N ₂ +O ₂ (Max)	H ₂ (Max)	Ti
Wt.%	5.5-6.75	3.5-4.5	0.03	0.25	0.012	Balance

جدول 3 طراحی آزمایش

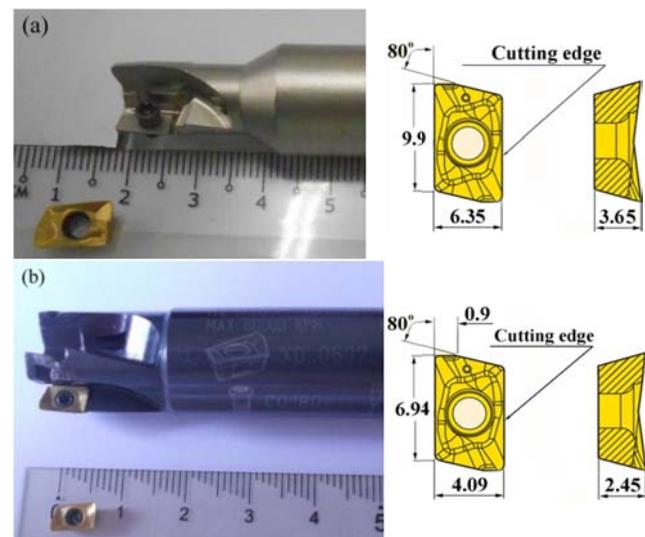
Table 3 Design of experiments

سرعت برشی (Vc) (m/min)	پیش روی (mm/tooth)	بار محوری 5 mm	بار شعاعی 1.5 mm	نوع ابزار Micro & Nano Turbo
200(m/min)	0.03 & 0.06 (mm/tooth)			



شکل 1 تنظیمات فرآیند ماشین‌کاری

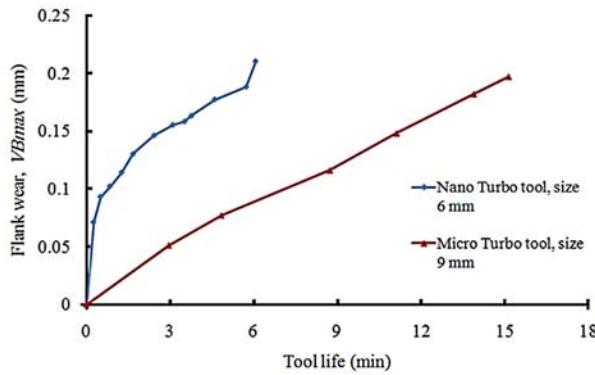
شکل 2 تصویر ابزار و ابزار گیر استفاده شده a) میکرو توربو اینسربت b) نانو توربو اینسربت



شکل 2 تصویر ابزار و ابزار گیر استفاده شده a) میکرو توربو اینسربت b) نانو توربو اینسربت

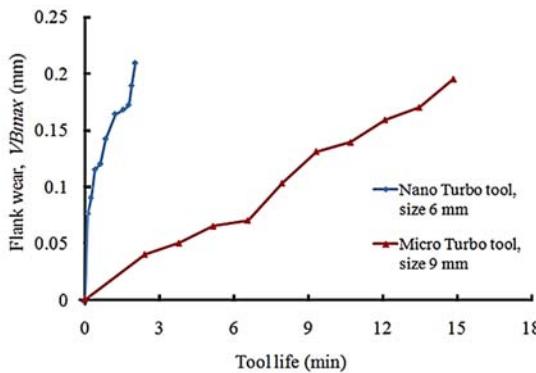
زمانی است که نرخ پیشروی کمتر در عملیات ماشین‌کاری استفاده شود. علت کاهش عمر ابزار افزایش بارهای ماشین‌کاری ناشی از نرخ پیشروی بالا است. این امر سبب افزایش دما در منطقه ماشین‌کاری شده که عامل اصلی کاهش استحکام ابزار است و باعث ایجاد سایش سریع در سطح آزاد ابزار و در نتیجه کاهش طول عمر آن شده است.

"شکل 5" نرخ سایش ابزار بحسب طول عمر آن در ماشین‌کاری سرعت بالا هنگامی که از ابزار کاربیدی میکرو توربو با گرید F40M در سرعت 200m/min و نرخ پیشروی متفاوت استفاده شده است را نشان می‌دهد. این نمودار هنگامی که از نرخ پیشروی بالاتر استفاده شده است تفاوت قابل توجهی در کاهش طول عمر ابزار دیده نمی‌شود و ابزار طول عمر نسبتاً پیکسانی در هر یک از نرخ‌های پیشروی مورد استفاده دارد. با توجه به این که نرخ پیشروی بالاتر باعث کاهش زمان ماشین‌کاری و افزایش راندمان آن می‌گردد، لذا استفاده از نرخ پیشروی بیشتر توصیه می‌شود تا جایی که تاثیر منفی بر طول عمر ابزار نداشته و زیری سطح محدود کننده آن نباشد. نمودار نرخ سایش ابزار در ماشین‌کاری سرعت بالا، هنگامی که از اندازه‌های مختلف ابزار کاربیدی در سرعت 200m/min و نرخ پیشروی ثابت 0.03 mm/tooth است.



شکل 6 سایش ابزار در ماشین کاری سرعت بالا با ابزار کاربیدی گرید F40M با اندازه های متفاوت و سرعت 200 m/min و نرخ پیشروی 0.03 mm/tooth

Fig. 6 Tool wears versus tool life when high speed machining using different size of F40M grade type carbide tool at cutting speed 200 m/min and feed rate 0.03 mm/tooth.



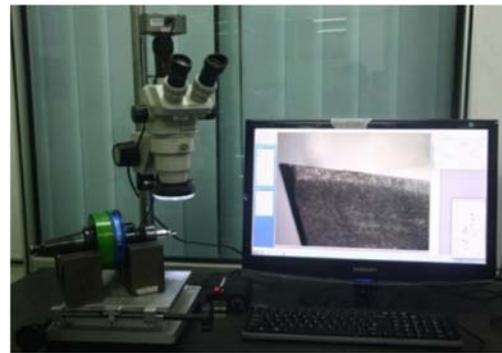
شکل 7 سایش ابزار در ماشین کاری سرعت بالا با اندازه های مختلف ابزار کاربیدی گرید F40M در سرعت 200 m/min و نرخ پیشروی ثابت 0.06 mm/tooth

Fig. 7 Tool wears versus tool life when high speed machining using different size of F40M grade type carbide tool at cutting speed 200 m/min and feed rate 0.06 mm/tooth.

می خورد که می تواند نتیجه یک کندگی در لبه برش ابزار در مراحل مختلف ماشین کاری باشد. که از جمله عوامل موثر در ایجاد این کندگی ها میتوان به پارامترهای ماشین کاری، جنس و ابعاد ابزار اشاره کرد. با طولانی شدن عملیات ماشین کاری و تشکیل ناحیه سایش در ابزار، درجه حرارت منطقه ماشین کاری بر اثر اصطکاک زیاد بین ابزار و قطعه کار افزایش می یابد [16]. از دیگر درجه حرارت باعث ایجاد تغییراتی در ترکیب شیمیایی ابزار کاربیدی از طریق انتشار کبالت می شود. با کم شدن مقدار کبالت در ترکیب کاربید تنجستن، استحکام ابزار در آن منطقه کم شده و سبب کندگی در ابزار برش می گردد.

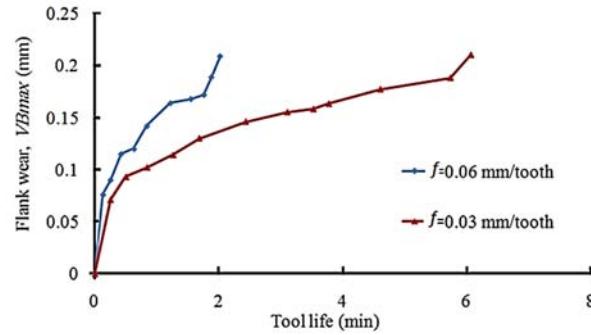
شکل 4-8" سطح آزاد فرعی همان ابزار را نشان می دهد که همان گونه که مشاهده می شود، فقط سایش یکنواختی وجود دارد و میزان این سایش بسیار کمتر از معیار خروج ابزار از فرآیند تولید است.

"شکل 9(a-d)" سایش ابزار برشی ناو توپو را در سرعت 200 m/min و نرخ پیشروی متفاوت نمایش می دهد. "شکل 9-a" سایش سطح آزاد اصلی ایجاد شده را با نرخ پیشروی 0.03 mm/tooth نشان می دهد. سایش ایجاد شده در این سطح یکنواخت بوده ولی با حرکت از سمت نوک ابزار به سمت انتهای آن، آستانه فرسایش کمی افزایش یافته و بالاخره در منطقه انتهایی عمق برش مکریم سایش اتفاق افتاده است. "شکل 9-b" سطح آزاد فرعی همان ابزار را نشان می دهد که البته در این مورد نیز معیار از کارافتادگی ابزار

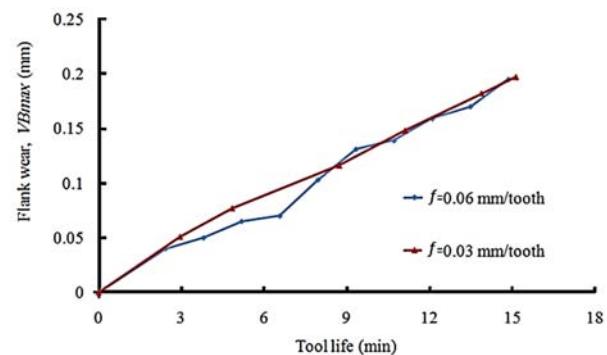


شکل 3 میکروسکوپ ابزارسازی

شکل 3 میکروسکوپ ابزارسازی



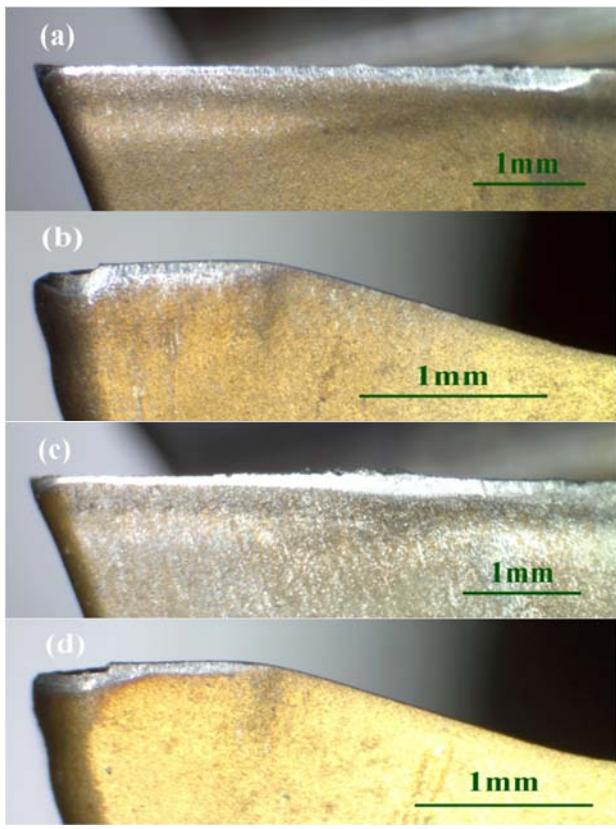
شکل 4 سایش بر حسب عمر ابزار، در ماشین کاری سرعت بالا با ابزار نانو توربو ایسرت گرید F40M و سرعت 200 m/min و نرخ پیشروی متفاوت



شکل 5 سایش بر حسب عمر ابزار، در ماشین کاری سرعت بالا با ابزار میکرو توربو ایسرت گرید F40M و سرعت 200 m/min و نرخ پیشروی متفاوت

شکل 5 سایش بر حسب عمر ابزار، در ماشین کاری سرعت بالا با ابزار میکرو توربو ایسرت گرید F40M و سرعت 200 m/min و نرخ پیشروی متفاوت

که بیانگر انتخاب شرایط صحیح ماشین کاری از جمله پارامترهای ماشین کاری و ابزار با جنس و اندازه مناسب می باشد. "شکل 5-8" سایش در سطح آزاد فرعی یا همان صفحه نوک ابزار را نشان می دهد. همان طور که در شکل نیز مشخص است هیچ گونه کندگی، پوسته شدن یا سایش غیر یکنواخت در این سطح به چشم نمی خورد و آستانه فرسایش نیز بسیار کمتر از معیار تعیین شده برای رد ابزار است. یعنی علت خارج کردن ابزار از سرویس، سایش یکنواخت تدریجی در سطح آزاد اصلی بوده است. "شکل 5-8" سطح آزاد اصلی ابزار فرسوده را زمانی که نرخ پیشروی 0.06 mm/tooth بوده است نشان می دهد. در میانه سطح یک ناحیه سایش غیر یکنواخت به چشم



شکل ۹ حد نهایی سایش ابزار نانو توربو اینسربت در سرعت ۲۰۰ m/min و نرخ پیشروی متفاوت:

(a) سایش در سطح آزاد اصلی $f=0.03 \text{ mm/tooth}$, سایش در سطح آزاد فرعی $f=0.03 \text{ mm/tooth}$ (b)
 (c) سایش در سطح آزاد اصلی $f=0.06 \text{ mm/tooth}$, سایش در سطح آزاد فرعی $f=0.06 \text{ mm/tooth}$ (d)

Fig. 9 Tool wear land of Nano Turbo Insert under dry conditions at cutting speed 200 m/min and different feed rate, using coated carbide tools:

- (a) feed rate 0.03 mm/tooth, flank wear
- (b) feed rate 0.03 mm/tooth, nose wear
- (c) feed rate 0.06 mm/tooth, flank wear
- (d) feed rate 0.06 mm/tooth, nose wear

شرط استفاده شده در تحقیق انتخاب گردید.

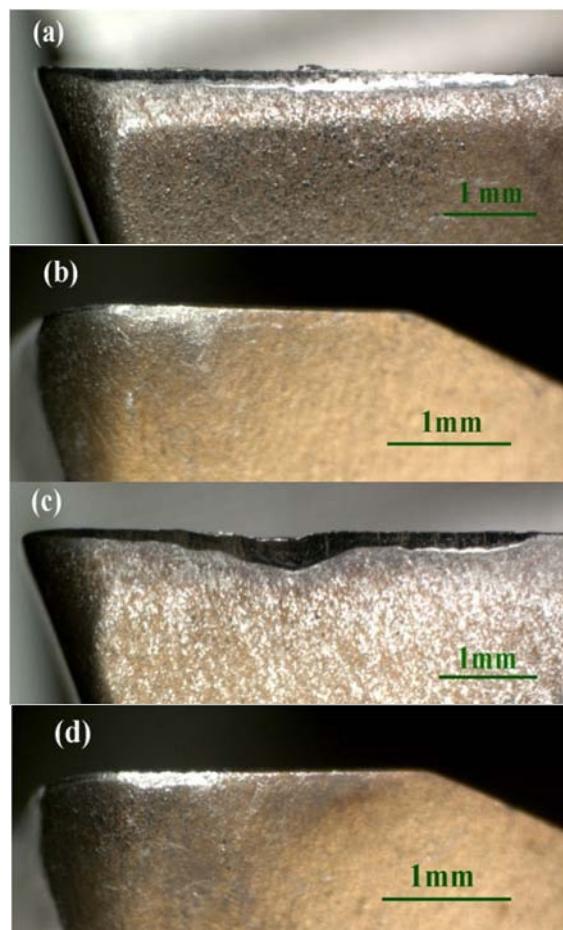
4- نتیجه گیری

سازندگان ابزارهای برش پیشنهاد استفاده از ابزار با در نظر گرفتن ابعاد آنها در ماشین کاری آلیاژهای مختلف را ارائه نموده اند اما این پیشنهادات در یک بازه وسیع اتفاق افتاده که برای رسیدن به یک انتخاب ایده‌آل نیاز به تحقیق و آزمایش‌های عملی می‌باشد. براساس مطالعات انجام شده در ماشین کاری سرعت بالای آلیاژ تیتانیوم با ابزارهای کاربیدی گرید F40M با دو اندازه مختلف نتایج نشان داد که ابعاد ابزار برشی تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر عمر ابزار دارد.

هنگامی که عملیات ماشین کاری سرعت بالا با ابزار اندازه بزرگتر انجام گرفت افزایش نرخ پیشروی تا سقف دو برابر، تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر طول عمر ابزار نداشت. اما در استفاده از ابزار با اندازه کوچکتر با دو برابر شدن نرخ پیشروی طول عمر ابزار به میزان سه برابر کاهش یافت. این اختلاف به علت مباحث توزیع حرارت بیشتر ابزار بزرگتر است. زیرا هر چند ابزار بزرگتر باشد حرارت جذب شده در لبه ابزار را می‌تواند در بدنه بزرگتر خود دفع نماید.

همان سایش اضافی در سطح آزاد اصلی می‌باشد و میزان سایش در سطح آزاد فرعی از معیار شکست بسیار کمتر است، ولی از دید بارهای ماشین کاری باعث کندگی در نوک ابزار شده است. این کندگی سبب از بین رفتن هندسه ابزار و در نتیجه افزایش نیروی برش در حین ماشین کاری می‌شود که سایش سریعتر ابزار و در نهایت شکست آن را به دنبال دارد.

کندگی در نوک ابزار گویای این واقعیت است که اگرچه ابزار به معیار شکست سایش نزدیک شده ولی علت اصلی شکست ابزار کندگی ایجاد شده در نوک ابزار است که نشان‌دهنده ابراداتی در انتخاب پارامترهای ماشین کاری و عدم تناسب آن با ابعاد و اندازه ابزار مورد استفاده است. "شکل (c, d)" نیز به ترتیب سایش در سطح آزاد اصلی و فرعی در نرخ پیشروی ۰.۰۶ mm/tooth را نشان می‌دهند. در این شکل‌ها نیز همان اتفاقات مربوط به نرخ پیشروی ۰.۰۳mm/tooth تکرار شده است و میین این موضوع می‌باشد که پارامترهای ماشین کاری و اندازه ابزار مورد استفاده می‌تواند مناسب‌تر از



شکل ۸ حد نهایی سایش ابزار میکرو توربو اینسربت در سرعت ۲۰۰ m/min و نرخ پیشروی متفاوت:

(a) سایش در سطح آزاد اصلی در پیشروی $f=0.03 \text{ mm/tooth}$
 (b) سایش در سطح آزاد فرعی در پیشروی $f=0.03 \text{ mm/tooth}$
 (c) سایش در سطح آزاد اصلی در پیشروی $f=0.06 \text{ mm/tooth}$
 (d) سایش در سطح آزاد فرعی در پیشروی $f=0.06 \text{ mm/tooth}$

Fig. 8 Tool wear land of Micro Turbo Insert under dry conditions at cutting speed 200 m/min and different feed rate, using coated carbide tools:

- (a) feed rate 0.03 mm/tooth, flank wear
- (b) feed rate 0.03 mm/tooth, nose wear
- (c) feed rate 0.06 mm/tooth, flank wear
- (d) feed rate 0.06 mm/tooth, nose wear;

- [5] ZA. Zoya, R. Krishnamurthy, The performance of CBN tools in the machining of titanium alloys, *Journal of materials processing technology*, Vol. 100, No. 1-3, pp. 80-86, 2000.
- [6] CH. Che-Haron, A. Jawaid, The effect of machining on surface integrity of titanium alloy Ti-6% Al-4% V, *Journal of materials processing technology*, Vol. 166, No. 2, pp. 188-192, 2005.
- [7] H. Safari, S. Sharif, S. Izman, H. Jafari, Surface Integrity Characterization of High Speed Dry End Milling Ti-6Al-4V Titanium Alloy, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 78, No. 1, pp. 651-657, 2015.
- [8] N. Fang, Q Wu, A comparative study of the cutting forces in high speed machining of Ti-6Al-4V and Inconel 718 with a round cutting edge tool, *Journal of materials processing technology*, Vol. 209, No. 9, pp. 4385-4389, 2009.
- [9] D. Dudzinski, A. Devillez, A. Moufki, D. Larrouquere, V. Zerrouki, J. Vigneau, A review of developments towards dry and high speed machining of Inconel 718 alloy, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 44, No. 4, pp. 439-456, 2004.
- [10] R. Hamade, F. Ismail, A case for aggressive drilling of aluminium, *Journal of materials processing technology*, Vol. 166, No. 1, pp. 86-97, 2005.
- [11] T. Kitagawa, A. Kubo, K. Maekawa, Temperature and wear of cutting tools in high-speed machining of Inconel 718 and Ti-6Al-6V-2Sn, *Wear*, Vol. 202, No. 2, pp. 142-148, 1997.
- [12] M.J. Bermingham, W.M. Sim, S. Gardiner, M.S. Dargusch, Tool life and wear mechanisms in laser assisted milling Ti-6Al-4V, *Wear*, Vol. 322-323, pp. 151-163, 2015.
- [13] S. Tirelli, E. Chiappini, M. Strano, M. Monno, Q. Semeraro, Experimental comparison between traditional and cryogenic cooling conditions in rough turning of Ti-6Al-4V, *Key Engineering Materials*, Vol. 611-612, pp. 1174-1185, 2014.
- [14] P. C. Priorone, S. Rizzuti, G. Rotella, L. Settimeni, Tool wear and surface quality in milling of a gamma-TiAl intermetallic, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 61, No. 1, pp. 25-33, 2012.
- [15] Tool life testing in milling part 2: end milling, switzerland: *International Standards Organization*, 1989.
- [16] A. Jawaid, S. Sharif, and S. Koksal, Evaluation of wear mechanisms of coated carbide tools when face milling titanium alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 99, No. 1, pp. 266-274, 2000.

علت دیگر بالا بودن طول عمر ابزار بزرگتر علاوه بر مباحث انتقال حرارت، اندازه شعاع گردی لبه‌های برنده ابزار و همچنین شعاع نوک ابزار برشی است. ابزار های بزرگتر دارای شعاع بزرگتری هستند که باعث افزایش عمر آنها می‌شود.

در عملیات ماشینکاری سرعت بالا هنگامی که از نرخ پیشروی کمتر استفاده می‌شود، انتخاب ابزار با اندازه بزرگتر باعث افزایش دو و نیم برابری طول عمر ابزار می‌گردد. در حالی که استفاده از ابزار با اندازه بزرگتر و نرخ پیشروی بیشتر، طول عمر ابزار را به میزان بیشتر از هفت برابر بهبود می‌بخشد.

استفاده از ابزار اندازه کوچکتر برای هر دو نرخ پیشروی مورد استفاده در این تحقیق منجر به کندگی بخش کوچکی از نوک ابزار شد که همین موضوع نمایانگر تاثیر اندازه ابزار در عملیات ماشینکاری و تسريع شکست ابزار برشی است.

5- مراجع

- [1] A. Jawaid, S. Koksal and S. Sharif, Cutting performance and wear characteristics of PVD coated and uncoated carbide tools in face milling Inconel 718 aerospace alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 116, No. 1, pp. 2-9, 2001.
- [2] X.Yang, R.Liu, Machining titanium and its alloys, *Machining Science and Technology*, Vol. 3, No. 1, pp. 107-139, 1999.
- [3] X. Yang, L. Richard, Machining titanium and its alloys, *Machining Science and Technology*, Vol. 3, No. 1, pp. 107-139, 1999.
- [4] RR. Boyer, An overview on the use of titanium in the aerospace industry, *Mater Science Enginerring*, Vol. 213, No. 1-3, pp. 103-114, 1996.