



## بررسی لبه انباشته در ماشین‌کاری چرخشی ارتعاشی آلومینیوم ۷۰۷۵

عماد حکیمی<sup>۱</sup>، سعید امینی<sup>۲\*</sup>، محسن آقایی<sup>۱</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان، کاشان

۲- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان، کاشان

\* کاشان، صندوق پستی ۸۷۳۱۷۵۱۱۶۷، amini.s@kashanu.ac.ir

### چکیده

فرآیند ماشین‌کاری چرخشی به همراه ارتعاش التراسونیک یکی از روش‌های جدید مورد استفاده در فرآیندهای ماشین‌کاری است. این فرآیند سبب کاهش نیروهای ماشین‌کاری، زبری سطح و لبه انباشته می‌شود. در این تحقیق به روش تجربی به بررسی لبه انباشته ابزار کاربایدی گرد به قطر ۱۰ با ماشین‌کاری برروی آلومینیوم گروه ۷۰۰۰ پرداخته شد. برای این منظور ابتدا فرآیند برروی ماشین تراش آماده گردید. در حین انجام آزمایش‌ها نتایج نیروی ماشین‌کاری، زبری سطح و لبه انباشته ابزار توسط وسایل اندازه‌گیری ثبت و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد استفاده از ارتعاش التراسونیک سبب بهبود کیفیت سطح و نیروی ماشین‌کاری می‌شود و همچنین فرآیند ماشین‌کاری چرخشی ارتعاشی حالت پهنه لبه انباشته نسبت به فرآیندهای دیگر را دارا می‌باشد.

کلید واژگان: لبه انباشته، آلومینیوم، ماشین‌کاری ارتعاشی چرخان

## Investigation of Built-up edge in rotary vibration-assisted turning of aluminum 7075

Emad Hakimi, Saeed Amini\*, Mohsen Aghaei

Department of Mechanical Engineering, University of kashan, kashan, Iran

\* P.O.B. 8731751167, kashan, Iran, amini.s@kashanu.ac.ir

### ABSTRACT

Rotary machining process with ultrasonic vibration is one of the new methods used in machining processes. This process reduces the machining forces, surface roughness and built-up edge. This experimental study investigates the built-up edge in machining with rounded carbide tool in vibratory rotary process on 7000 AL. For this purpose, the process was performed on a lathe machine. During the tests, the results of machining forces, surface roughness and built-up edge were recorded. The results obtained from this study showed that ultrasonic vibrations can improve surface quality and reduce machining forces. It was proved that the vibratory rotary machining process has less built-up edge compared to the other processes.

**Keywords:** Aluminum, Built-up Edge, Rotary Vibration Turning

افزایش دما و غیره [۷]. لی و همکارانش در سال ۲۰۰۲ در مورد ماشین‌کاری با سرعت بالا بر روی آلیاژ تیتانیوم با استفاده از ابزار چرخان، شاهد کاهش نیرو در مرتبه‌های زیاد و در نتیجه افزایش عمر ابزار نسبت به حالت بدون چرخش ابزار بودند [۸]. به طور کلی در مورد ابزار چرخشی می‌توان مقاومت به سایش بیشتر و دمای برش کمتر را شاهد بود [۹-۱۱]. در دو دهه اخیر از ارتعاش التراسونیک، جهت به‌کارگیری آن در یک فرکانس معین، در هنگام حرکت نسبی بین ابزار و قطعه کار جهت بهبود فرآیند تراش‌کاری استفاده می‌شود [۱۲]. محققان مختلف در زمینه ماشین‌کاری به کمک ارتعاشات التراسونیک تحقیق نموده‌اند و کاهش نیروها، بهبود دقت ابعادی، بهبود صافی سطح و افزایش عمر ابزار و پایداری ماشین‌کاری را در هنگام به‌کارگیری این فرآیند، گزارش نموده‌اند [۱۳-۱۵].

امینی و همکارانش [۱۶] در سال ۲۰۱۴ اثر سوراخ‌کاری ارتعاشی آلومینیوم را بر لبه انباشته و شکل‌گیری براده کیفیت سطح و سایش لبه ابزار بررسی نمودند و کیفیت سطح بهتر و لبه انباشته کمتر را در حالت ارتعاشی گزارش دادند. در تحقیق که در کار قبلی نویسنده ارائه شده است [۱۷، ۱۸] به

Please cite this article using:

E. Hakimi, S. Amini, M. Aghaei, Investigation of Built-up edge in Rotary vibration turning for aluminum 7075, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 223-227, 2015 (in Persian فارسی)

### ۱- مقدمه

کاهش هزینه یکی از اهداف استفاده از فرآیندهای نوین ماشین‌کاری می‌باشد که بخشی از این هزینه مربوط به ابزار است [۱]. یکی از عوامل آسیب ابزار تشکیل لبه انباشته می‌باشد که هنگام جدا شدن موجب جدایی لایه‌ای از سطح ابزار می‌شود. لبه انباشته در ابزارهای برش توسط تراشه‌هایی از قطعه کار که تا حدی ذوب شده‌اند و اتصال آن به ابزار به وجود می‌آید. لبه انباشته به طور معمول در سرعت برشی پایین تا متوسط، عمق زیاد برش، نرخ زیاد پیشروی، زاویه براده کم یا در هنگام برش مواد انعطاف پذیر نظیر فولادهای کم کربن، آلیاژهای آلومینیوم و مس به وجود می‌آید. وقوع لبه انباشته دارای اثر قابل توجهی بر روی نیروهای برش، عمر ابزار، درجه حرارت برش و دقت ابعادی پایانی قطعه کار می‌باشد و به طوری که در ۴ دهه گذشته مورد مطالعه قرار گرفته است [۲-۶]. تشکیل لبه انباشته ماهیتی پویا دارد و پیش-بینی آن امری دشوار است. در طول ماشین‌کاری لبه انباشته به تدریج افزایش می‌یابد، می‌شکند و دوباره شکل می‌گیرد. اثر ایجاد لبه انباشته را می‌توان از سیگنال تولید شده در حین برش فهمید، مانند کاهش اولیه در نیروی برش و برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

**جدول ۱** خواص مکانیک مواد برای طراحی هورن

مدل	چگالی (Kg/m <sup>3</sup> )	مدول الاستیسیته (GPa)	ضریب پواسون
هورن	۸۰۰۰	۱۹۳	۰/۲۹
ابزار	۱۴۰۰۰	۸۰۰	۰/۱۲
بیچ	۶۵۰۰	۲۰۰	۰/۱۳

همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است. مجموعه ارتعاشی چرخشی بر روی دستگاه ماشین تراش TN50A ساخت ماشین‌سازی تبریز نصب گردید. همچنین قسمت‌های مختلف مورد استفاده در این مجموعه در شکل ۲ مشخص می‌باشد. به منظور انجام آزمایش‌ها از شفت آلومینیومی گروه ۷۰۰۰ استفاده گردید. برای ثبت و اندازه‌گیری داده‌های خروجی در مجموع آزمایش‌ها از دینامومتر مدل 9257B ساخت شرکت کیستلر به منظور اندازه‌گیری نیروها و زبری‌سنج مدل PS1 ساخت شرکت ماهر و برای بررسی لبه انباشته از VMM استفاده گردید. جدول ۲ پارامترهای ماشین‌کاری مورد استفاده در آزمایش را نشان می‌دهد.

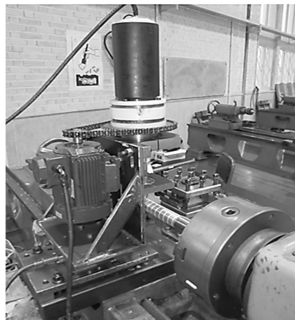
به منظور مقایسه میزان لبه انباشته در این تحقیق ۴ حالت ماشین‌کاری: ارتعاشی چرخان (VRT)، چرخان (RT)، ارتعاشی (VT) و معمولی (CT) با ابزار کاربیدی گرد به قطر ۱۰ مورد آزمایش قرار گرفت.

**۴- انجام آزمایش‌ها و نتایج**

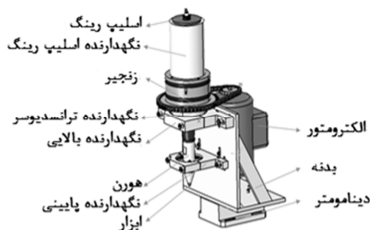
برای انجام این آزمایش به منظور بهینه‌سازی مقادیر ورودی فرایند که شامل: سرعت برشی، پیشروی، عمق برش و سرعت چرخشی ابزار بود، با توجه به

**جدول ۲** پارامترهای ماشین‌کاری

عمق برش (mm)	سرعت پیشروی (mm/min)	سرعت برشی (m/min)
۶	۰/۲۴	۱۲



(الف)



(ب)

شکل ۲ الف) ابزار ارتعاشی چرخشی نصب‌شده بر روی دستگاه تراش ب) جزئیات مورد استفاده در دستگاه

منظور بهره‌گیری از اثرات هر دو فرایند چرخشی ابزار در حین فرایند و اعمال ارتعاش التراسونیک مجموعه‌ای بدین منظور طراحی و بر روی دستگاه ماشین تراش نصب گردید و مشخص گردید که با استفاده از اعمال ارتعاش در فرایند چرخش زبری سطح و نیرو کاهش می‌یابد.

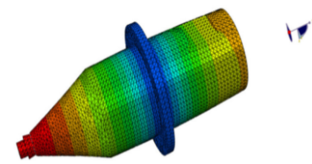
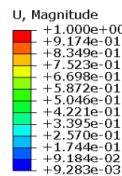
در تحقیق حاضر پس از اطمینان از نتایج حاصل از مجموعه ابزار چرخان ارتعاشی مجموعه آزمایش‌هایی در چهار حالت سنتی، سنتی همراه با ارتعاش التراسونیک، چرخش ابزار و چرخش ابزار همراه با التراسونیک با استفاده از ابزار گرد با قطر ۱۰ میلی‌متر به منظور مطالعه لبه انباشته در این چهار حالت و مقایسه نیروی ماشین‌کاری، زبری سطح و کیفیت لبه انباشته به‌منظور بررسی حالت بهینه مورد مطالعه قرار گرفت. ابتدا آماده‌سازی فرایند شامل طراحی و ساخت ابزار و قید و بندهای مربوطه، آماده‌سازی دستگاه‌های اندازه‌گیری و نصب مجموعه بر روی دستگاه تراش انجام گرفت. آزمایش‌های اولیه انجام و شرایط بهبود یافته برای پارامترهای مورد نیاز برای اجرای آزمایش بدست آمد.

**۲- شبیه‌سازی فرآیند**

برای بدست آوردن هندسه هورن مورد استفاده در این تحقیق از شبیه‌سازی آن در نرم‌افزار اجزا محدود آباکوس استفاده شده و با تحلیل مودال شکل موردنظر برای ابزار ارتعاشی، هندسه ابزار به گونه‌ای انتخاب می‌شود تا فرکانس طبیعی آن در مود طولی در حدود ۲۰ کیلو هرتز باشد (شکل ۱).

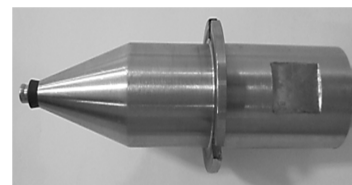
**۳- آماده‌سازی فرآیند**

دلیل اصلی انتخاب قطعه کار آلومینیومی تقاضای روز افزون صنایع برای استفاده از آلومینیوم به منظور سبک‌سازی قطعات می‌باشد. بعلاوه آلیاژ گروه ۷۰۰۰ به علت داشتن استحکام بالا یکی از پر کاربردترین آلیاژهای مهندسی در صنعت هوافضا و صنایع حمل و نقل محسوب می‌شود. به منظور ایجاد ارتعاش التراسونیک در فرایند از سیستم ترانس‌دیوسر پیزوالکتریکی استفاده گردید که ارتعاشات از طریق هورن به ابزار منتقل می‌گردد. هندسه مورد نیاز برای هورن در نرم‌افزار آباکوس و توسط آنالیز مودال صورت گرفته و فرم هندسی مشاهده شده در شکل ۱ ساخته شده و مورد استفاده قرار گرفت. هورن از جنس فولاد زنگ نزن می‌باشد و خواص مورد استفاده در تحلیل آباکوس به شرح جدول ۱ می‌باشد.



ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 6.10-1 Sun Dec 16 18:01:22 Iran Standard Time 2012  
Step: Step-1  
Mode 3: Value = 1.67816E+10 Freq = 20618. (cycles/time)  
Primary Var: U, Magnitude

(الف)



(ب)

شکل ۱ الف) تحلیل مودال هورن با فرکانس ۲۰۶۱۸ ب) هورن ساخته شده از جنس M040 [۲۱]

سرعت چرخش قطعه کار است، برای این منظور باید یک حالت بهینه بدست آورد.

در شکل ۴ با افزایش طول ماشین کاری، زبری سطح افزایش و سپس کاهش می‌یابد. علت این تغییرات در زبری سطح لبه انباشته به وجود آمده بر روی ابزار است. با افزایش زمان ماشین کاری، دما افزایش پیدا کرده و این موجب جوش خوردن براده‌های آلومینیوم به ابزار می‌شود. لبه انباشته با گذشت زمان از روی سطح ابزار جدا می‌شود. در اثر این جدا شدن تکه‌هایی از لبه انباشته به سطح ماشین کاری شده و تکه‌هایی دیگر به براده می‌چسبند. تکه‌هایی که به سطح ماشین کاری شده می‌چسبند باعث پایین آمدن سطح ماشین کاری شده می‌شوند. در جدول ۳ لبه انباشته ابزار در ماشین کاری VRT و RT مشاهده می‌شود.

تصاویر جدول ۳ نشان می‌دهد با افزایش طول ماشین کاری میزان لبه انباشته در فرآیند RT، بیشتر از VRT می‌باشد. در این آزمایش از آنجایی که استفاده از ارتعاش التراسونیک سبب افزایش دما می‌شود، این حرارت، به حرارت ناشی از ماشین کاری اضافه می‌شود. برای کنترل دما و ثابت نگه داشتن

اندازه‌گیری نیرو در دو فرآیند VT و CT میزان این مقادیر انتخاب شد. در مورد سرعت ابزار چرخشی، با توجه به سرعت برشی و قطر قطعه کار سرعت ابزار چرخشی باید به گونه‌ای تنظیم شود که بهترین اثر را در فرآیند التراسونیک چرخان بر روی کیفیت سطح داشته باشد. بدین منظور در این آزمایش از دو سرعت چرخشی ۷۰ و ۱۵۰ دور بر دقیقه استفاده شد.

در اثر ارتعاش التراسونیک دمای ابزار در حالت بدون درگیری با قطعه کار به صورت طبیعی افزایش پیدا می‌کند و در زمان درگیری این مقدار بیشتر نیز خواهد شد. برای رفع این مشکل و یکسان‌سازی آزمایش‌ها در حالت استفاده از التراسونیک و عدم استفاده از آن از جریان هوای تازه برای خنک کاری استفاده شده است تا تنها دمای ماشین کاری، بر روی لبه انباشته تأثیرگذار باشد.

برای بررسی لبه انباشته در چهار حالت ذکر شده، نیروهای ماشین کاری، میزان لبه انباشته بر روی ابزار و زبری سطح مورد نظر بود و مقادیر آن‌ها در هر چهار حالت ثبت گردیدند.

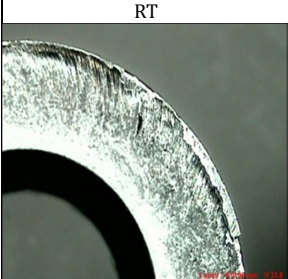







شکل ۳ مقایسه نیرو در راستای سرعت برشی براساس طول ماشین کاری در دو فرآیند VRT و RT را نشان می‌دهد.

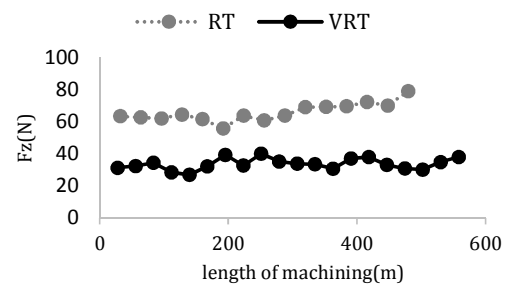
در شکل ۳ ملاحظه می‌شود نیرو ماشین کاری RT بیشتر از نیروی ماشین کاری در VRT می‌باشد. علت این تفاوت نیرو وجود یا عدم وجود ارتعاش التراسونیک در فرآیند است. ارتعاش التراسونیک سبب می‌شود ابزار در یک سیکل ماشین کاری دائم با قطعه کار درگیر نباشد. در زمانی که ابزار و با قطعه کار درگیر نیست نیروی برشی صفر است.

شکل ۴ مقایسه زبری سطح براساس طول ماشین کاری در دو فرآیند RT و VRT را نشان می‌دهد.

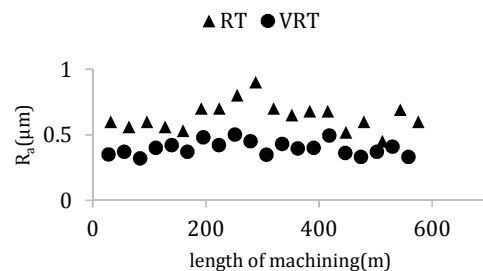
شکل ۴ نشان می‌دهد ارتعاش التراسونیک سبب بهبود کیفیت سطح به علت پایداری شرایط ماشین کاری می‌شود. البته عامل دیگری که در این فرآیند بر روی کیفیت سطح تأثیر می‌گذارد نسبت سرعت چرخش ابزار با

جدول ۳ لبه انباشته ابزار در ماشین کاری VRT و RT

RT	VRT
	
طول ماشین کاری: ۱۶۰ متر	طول ماشین کاری: ۱۶۰ متر
	
طول ماشین کاری: ۳۰۰ متر	طول ماشین کاری: ۳۰۰ متر
	
طول ماشین کاری: ۴۵۰ متر	طول ماشین کاری: ۴۵۰ متر
	
طول ماشین کاری: ۵۵۰ متر	طول ماشین کاری: ۵۵۰ متر



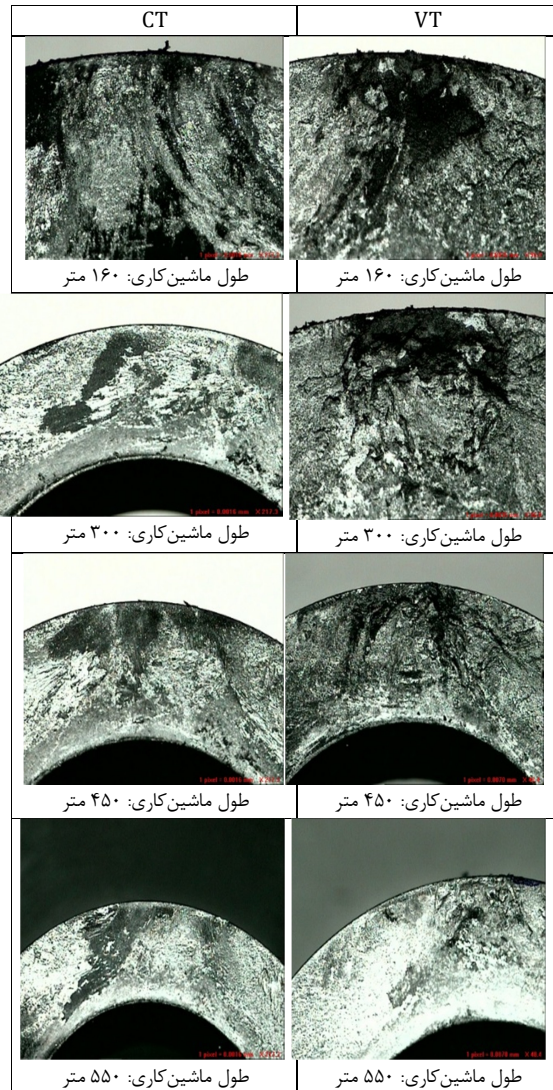
شکل ۲ مقایسه نیروها در دو فرآیند VRT و RT



شکل ۳ مقایسه زبری سطح براساس طول ماشین کاری در دو فرآیند VRT و RT



جدول ۴ لبه انباشته ابزار در ماشین کاری CT و VT



در این آزمایش نیز مانند فرآیند VRT و RT از خنک سازی توسط جریان هوای تازه برای ثابت نگه داشتن، دما استفاده شده است. فرآیندهای VT و CT از نظر میزان محدوده لبه انباشته تفاوت چندانی را در تصاویر جدول ۴ نشان نمی دهد که علت آن گرما ناشی از ارتعاش التراسونیک می باشد. در فرآیند VT ارتعاش التراسونیک به علت قطع و وصلی بین ابزار و قطعه کار سبب، کاهش حرارت می شود ولی از طرفی مجموعه ابزار به علت همین ارتعاش دچار افزایش دما شده همچنین به علت عدم چرخش ابزار در این فرآیند (بر خلاف VRT) ارتعاش التراسونیک اثر مثبت خود، در کاهش دما را خنثی می کند.

#### ۵- نتیجه گیری

در این پژوهش ماشین کاری بروی آلومینیوم گروه ۷۰۰۰ توسط ابزار کاربیدی در چهار فرآیند مختلف ماشین کاری بر روی دستگاه تراش مورد بررسی قرار گرفت.

پس از انجام آزمایش های لبه انباشته نتایج زیر حاصل گردید:

- تعیین پارامتر سرعت چرخش ابزار در حالت ماشین کاری چرخشی بر روی لبه انباشته ابزار تأثیر گذار می باشد.

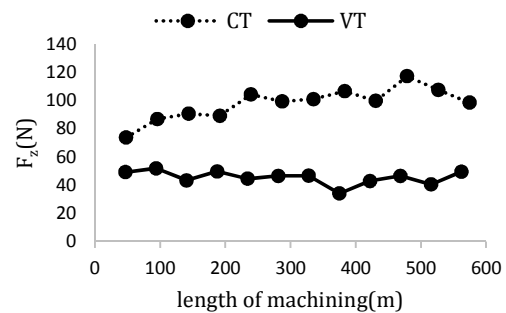
آن از خنک کاری توسط جریان هوا تازه استفاده شده است. در هر دو فرآیند به علت چرخش ابزار در طول مدت زمان ماشین کاری، حرارت از منطقه برش دور می شود. همچنین این کاهش حرارت، سبب کاهش میزان لبه انباشته و کاهش زبری سطح خواهد شد. در تصاویر مناطق روشن تر بر روی ابزار محدوده لبه انباشته را نشان می دهد.

شکل ۵ مقایسه نیرو برشی در راستای سرعت برشی براساس طول ماشین کاری در دو فرآیند VT و CT را نشان می دهد.

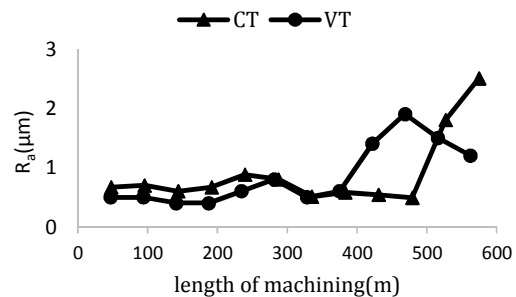
طبق نتایج بدست آمده از شکل ۵ نیروی برشی در VT کمتر از CT است. علت این واقع ارتعاش ناشی از التراسونیک در راستای سرعت برشی می باشد. در اثر این ارتعاش زمان های بسیار کوتاهی وجود دارد که ابزار با قطعه کار درگیر نمی باشد. می توان این گونه در نظر گرفت که در این زمان ها نیروی ماشین کاری صفر است. ولی در ماشین کاری CT ابزار به صورت پیوسته با قطعه کار درگیر می باشد، در نتیجه متوسط نیروی برشی در حضور التراسونیک کمتر خواهد شد.

شکل ۶ مقایسه زبری سطح براساس طول ماشین کاری در دو فرآیند VT و CT را نشان می دهد.

براساس شکل ۶ زبری سطح در هنگام استفاده از التراسونیک کمتر و علت آن پایداری شرایط ماشین کاری است. در VT قطع و وصل بین ابزار با قطعه کار سبب کاهش نیرو و این کاهش، پایداری ماشین کاری و بهبود کیفیت سطح را به همراه دارد. در فرآیند VT با گذشت زمان ماشین کاری نسبت به RT زبری سطح، سریع تر افزایش یافته و سپس کاهش می یابد که نشان می دهد لبه انباشته سریع تر تشکیل شده و جدا شده است. در جدول ۴ لبه انباشته ابزار در ماشین کاری VRT و RT را مشاهده می شود.



شکل ۵ مقایسه نیرو در دو فرآیند VT و CT



شکل ۶ زبری سطح براساس طول ماشین کاری در دو فرآیند VT و CT

- استفاده از ارتعاش التراسونیک سبب افزایش کیفیت سطح قطعه به علت پایداری ماشین کاری و سبب کاهش نیروی ماشین کاری با توجه به قطع و وصلی بین ابزار و قطعه کار در حین ماشین کاری می شود.
- لبه انباشته در فرآیندهای RT بیشتر از VRT است؛ که علت آن حرارت بیشتر در فرآیندهای RT می باشد.
- لبه انباشته در فرآیندهای CT و VT تقریباً یکسان می باشند که علت آن میزان حرارت تقریباً برابر، در حین فرآیند ماشین کاری است.
- روش بهینه برای کاهش میزان لبه انباشته فرآیند VRT است. VRT نسبت به سه حالت ماشین کاری مورد بررسی قرار گرفته شده در سه پارامتر نیرو، زبری سطح و ناحیه لبه انباشته حالت بهینه را دارا می باشد.

## ۶- مراجع

- [1] Al-Habaibeh, F. Zorriasatine, N. Gindy, Comprehensive experimental evaluation of a systematic approach for cost effective and rapid design of condition monitoring systems using Taguchi's method, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 124, No. 3, pp. 372-383, 2002.
- [2] K. Nakajima, K. Ohgo, T. Awano, Formation of a built up edge during cutting, *Wear*, Vol. 11, No. 5, pp.369-379, 1968.
- [3] M.S. Selvam, v. Radhakrishnan, Influence of side-flow and built-up edge on the roughness and hardness of the surface machined with a single point tool, *Wear*, Vol. 26, No.3, pp. 393-403, 1973.
- [4] K. Iwata, K. Ueda, Fundamental analysis of the mechanism of built-up edge formation based on direct scanning electron microscope observation, *Wear*, Vol. 60, No. 2, pp. 329 - 331, 1980.
- [5] K. Ohgo, The adhesion mechanism of the built up edge and the layer on the rake face of a cutting tool. *Wear* Vol. 51, No. 1, pp. 117-126, 1978.
- [6] H.Jonsson, turning of plain carbon steels with TiC coated and uncoated WC Co tools in the built up edge BUE speed range, *Wear*, Vol. 32, No. 2, pp. 151-166, 1975.
- [7] S. wong, I. Inasaki, Detection of built-up edge in turning process, *International Journal Machine Tools Manufacture*, Vol. 34, No. 6, pp. 829-840, 1994.
- [8] S. Lei, W. Liu, High-speed machining of titanium alloys using the driven rotary tool, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 42, No. 6, pp. 653-661, 2002.
- [9] P. Chen, Cutting Temperatures and Forces in Machining of High-Performance Materials with Self-Propelled Rotary Tool, *The Japan Society of Mechanical Engineers*, Vol.35, No. 1, pp.180-185, 1992.
- [10] V. Dessoly, S.N. Melkote, C. Lescalier, Modeling and Verification of Cutting Tool Temperatures in Rotary Tool Turning of Hardened Steel, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 44, No. 14 pp.1463-1470, 2004.
- [11] H. A. Kishawy, L. Pang, M. Balazinski Modeling of tool wear during hard turning with self-propelled rotary tools, *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 53, No. 11, pp. 1015-1021, 2011.
- [12] E.C. Shamato, X. Ma, T. Morowaki, Ultraprecision ductile cutting of glass by applying ultrasonic elliptical vibration cutting, *Precision Engineering Nanotechnology*, Vol. 1, pp. 408-411, 1999.
- [13] S. Amini, H. Soleimanimehr, M. J. Nategh, A. Abudollah, M. H. Sadeghi, FEM analysis of ultrasonic-vibration-assisted turning and the vibratory tool, *Journal of Materials Processing Technology*, No. 20, pp. 43-47, 2008.
- [14] S. Amini, M. J. Nategh, One directional and elliptical ultrasonic vibration assisted cutting of IN738, *Journal of Modares Mechanical Engineering*, Vol. 12, No. 6, pp. 117-123, 2013. (In Persian)
- [15] M. Mahdi, A. Zarchi, M. R. Razfar, A. Abdullah, The Effect of Cutting Parameters and Vibration Amplitude on Cutting Forces in Vibration-Assisted Side Milling Process of Al7022 Aluminum Alloy, *Journal of Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 5, July, pp. 392-396, 2015. (In Persian)
- [16] A. Barani, S. Amini, H. Paktinat, A. Fadaei Tehrani, Built-up edge investigation in vibration drilling of Al2024-T6, *Ultrasonics*, Vol. 54, No. 5, pp. 1300-1310, 2014.
- [17] N. Mohagheghian, S. Amini, Rotary vibration tool in Ultrasonic vibration-assisted turning process, *Journal of Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 1, pp. 51-58, 2014. (In Persian)
- [18] S. Amini, N. Mohagheghian, Vibratory Rotary Turning Process of Al 7075 Workpiece, *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 29, No.3 pp. 344-349, 2014.