

تراشکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک یک جهته و دو جهته بر روی قطعه کار Ud500

سعید امینی^۱؛ محمد جواد ناطق^{۲*}

چکیده

در این تحقیق تراشکاری ارتعاشی (VC)، تراشکاری ارتعاشی بیضوی (EVC) و تراشکاری معمولی (OC) بر روی قطعه کار Ud500 مورد آزمایش قرار گرفته است. این آزمایش‌ها با ابزار الماس تک کریستال و دستگاه تراش CNC بسیار دقیق انجام شد و علاوه بر بررسی نتایج نیروی ماشینکاری، زبری سطح و عمر ابزار در فرایندهای فوق با تغییر عوامل ماشینکاری شامل سرعت برشی، پیشروی، دامنه ارتعاش و زاویه فاز بررسی و مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهند که نیروی ماشینکاری در فرایند EVC بسیار کمتر از دیگر فرایندها است. در فرایند EVC زبری سطح هم در جهت برشی و هم در جهت پیشروی کمتر از دیگر فرایندها است. همچنین عمر ابزار در فرایند EVC بیشتر از دیگر فرایندها است.

کلمات کلیدی: تراشکاری ارتعاشی (VC)، تراشکاری ارتعاشی بیضوی (EVC)، سوپرآلیاژ Ud500

One-Directional and Elliptical Ultrasonic Vibration Assisted Turning of Ud500 Work-pieces

S. Amini and M. J. Nategh

ABSTRACT

Vibration cutting (VC), elliptical vibration cutting (EVC) and conventional cutting (OC) of Ud500 work-pieces have been experimentally investigated in the present research. The experiments were carried out by using single crystal diamond tool and ultra-precision CNC lathe. The influence of various cutting parameters including cutting speed, feed-rate, vibration amplitude and phase angle on the cutting force, surface roughness and tool life have been studied and the results obtained in the aforementioned processes have been compared. The results indicate that the cutting force in EVC is much less than the two other processes. The surface roughness in both the cutting and feed directions was also less than those in other processes. In addition, far longer tool life was observed in EVC compared with the two other processes.

KEYWORDS: Vibration cutting (VC), elliptical vibration cutting (EVC), super-alloy Ud500

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر مواد آلیاژی و کامپوزیتی زیادی به وجود آمده‌اند که ماشینکاری بیشتر آنها با روش‌های سنتی بسیار مشکل است. ماشینکاری سنتی سوپرآلیاژهای پایه نیکلی و پایه تیتانیومی باعث افزایش دما و فرسایش زیاد سر ابزار (حتی در سرعت‌های برشی پایین) می‌شود. تقاضای ماشینکاری چنین موادی نیاز به ابداع روش‌های تراشکاری پیشرفته را افزایش داده است. یکی از این روش‌ها، اضافه شدن ارتعاش اولتراسونیک به حرکت معمولی ابزار برشی است.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۴/۲۰

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۹۰/۷/۳

۱ استادیار؛ دانشگاه کاشان؛ دانشکده مهندسی؛ گروه مکانیک.

۲ * نویسنده مسئول و دانشیار؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ دانشکده مهندسی مکانیک؛ nategh@modares.ac.ir

روش ماشینکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک با اعمال ارتعاش یک‌جهته و یا با ارتعاش دو‌جهته استفاده می‌شود. در ارتعاش یک‌جهته ارتعاش اولتراسونیک بصورت خطی در جهت سرعت برشی اعمال می‌شود و در ارتعاش دو‌جهته ارتعاش بصورت حرکت دایره‌ای یا بیضوی در جهات سرعت برشی و عمق برش اعمال می‌شود.

مطالعه فرایند VC توسط کوماب [۱] در سال ۱۹۵۸ شروع شد. او نشان داد که نیروی برشی متناوب مزیت‌های زیادی از جمله کاهش نیروی برشی، جابجایی گرمای برشی و افزایش عمر ابزار را دارد [۱][۲]. مطالعه فرایند EVC توسط شاموتو [۳] در سال ۱۹۹۳ شروع شد. او نشان داد که اعمال ارتعاش بیضوی به ابزار مزیت‌های بیش‌تری نسبت به ارتعاش خطی از جمله کاهش بیشتر نیروی ماشینکاری و زبری سطح را دارد [۴][۵][۶]. ماشینکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک روش پیشرفته و مناسبی برای ماشینکاری مواد سخت‌برش از قبیل سوپرآلیاژ، سرامیک، تنگستن و شیشه است [۷][۸][۹][۱۰].

در تحقیقات قبلی توسط نویسندگان مقاله حاضر [۱۱] [۱۲] مطالعه فرایند‌ها توسط روش اجزاء محدود انجام شده است. در این تحقیقات فرایند‌های EVC، VC و OC توسط روش اجزاء محدود شبیه‌سازی شد و نحوه درگیری ابزار و قطعه کار مورد مطالعه قرار گرفت و اثر تغییر عوامل ماشینکاری بر نیروی ماشینکاری و زاویه برش بررسی شد. آزمایش‌های کاملی بر روی فولاد ۱۰۱۹۲ و آلومینیوم ۷۰۷۵ انجام شده و تحلیل آماری بر روی نیروی ماشینکاری و زبری سطح انجام شد و طرح نیرو و زبری سطح به دست آمد [۱۳][۱۴].

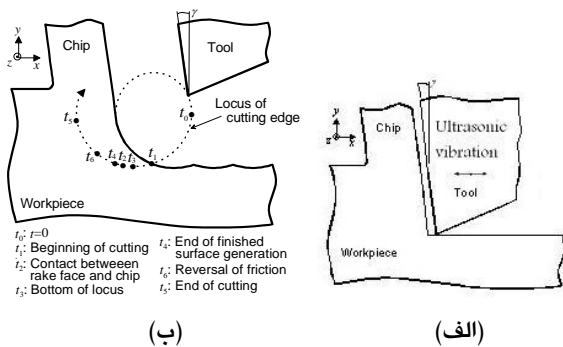
در این تحقیق به بررسی ماشینکاری سوپر آلیاژ Ud500 در فرایند‌های EVC، VC و OC پرداخته می‌شود. نیروی ماشینکاری توسط دینامومتر و زبری سطح درجهت‌های برشی و پیشروی با زبری‌سنج اندازه‌گیری شد. با تغییر عوامل ماشینکاری شامل سرعت برشی، پیشروی، دامنه ارتعاش و زاویه فاز، تاثیر تغییر این عوامل بر نیروی ماشینکاری و زبری سطح در فرایند‌های EVC و VC بررسی شد. در ادامه آزمایش‌های لازم برای بررسی عمر ابزار در فرایندها انجام شد. تفاوت این تحقیق با تحقیقات قبلی، توانایی اجرای فرایند EVC و VC بر روی سوپر آلیاژ و بهبود توانایی ماشینکاری سوپر آلیاژ است.

۲- فرایند‌های VC و EVC

شکل (۱) نمای کلی فرایند‌های VC و EVC را نشان می‌دهد [۶]. در فرایند VC (شکل ۱-الف) ابزار برشی بصورت خطی در

جهت سرعت برشی ارتعاش می‌نماید که در این فرایند:
 $x = a \sin(2\pi ft)$, $Vibration\ Speed = 2\pi fa \cos(2\pi ft)$ (۱)
 که در آن x موقعیت لحظه‌ای نوک ابزار، a دامنه ارتعاش، f فرکانس ارتعاش و t زمان است.

شکل (۱-ب) فرایند EVC را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد [۶]. شروع برش در زمان t_1 است که پس از گذشت زمان کمی تا t_2 ، ابزار بر سطح قطعه کار می‌نشیند. در این فاصله کوتاه ممکن است عملیات کشیدن بر روی قطعه کار یا برنیشینگ باشد و این به علت داشتن شعاع نوک ابزار است. بعد از زمان t_2 ، قطعه کار برش خورده و براده شکل می‌گیرد. t_6 زمانی است که مماس بر مسیر برش، هم‌راستا با جهت برشی می‌شود و در این لحظه راستای اصطکاک برعکس می‌شود. در نزدیک زمان t_6 ، ابزار با براده در جهت برش با هم حرکت می‌نماید بدون این‌که اصطکاک یک‌باره تغییر جهت دهد و این به علت وجود الاستیسیته است. ابزار، در زمان t_5 از قطعه کار جدا می‌شود و این زمانی است که مماس بر منحنی حرکت، منطبق با سطح براده ابزار می‌شود. نیروی اصطکاک کاهش یافته یا برعکس شده که باعث کاهش نیروی برشی، انرژی و تمرکز حرارت می‌شود. از t_1 تا t_6 تراشکاری معمولی است و مثل ابزار ثابت، براده بر روی سطح براده ابزار حرکت می‌نماید. اختلاف سرعت ابزار و براده مانند تراشکاری معمولی است. از t_6 تا t_5 ابزار با براده به سمت بالا حرکت نموده و اختلاف سرعت ابزار و براده و جهت نیروی اصطکاک تغییر می‌نماید. در EVC زاویه برشی ϕ بزرگتر می‌شود و این باعث کاهش نیروی اصلی در جهت سرعت برشی می‌شود [۶].



شکل (۱): فرایند‌های الف) VC و ب) EVC [۶]

در فرایند EVC داریم:

$$x = a \sin(2\pi ft), y = b \sin(2\pi ft + \phi)$$

$$\text{Horizontal vibration Speed} = 2\pi fa \cos(2\pi ft) \quad (2)$$

که در آن a, b دامنه‌های ارتعاش بیضوی و ϕ زاویه فاز است.

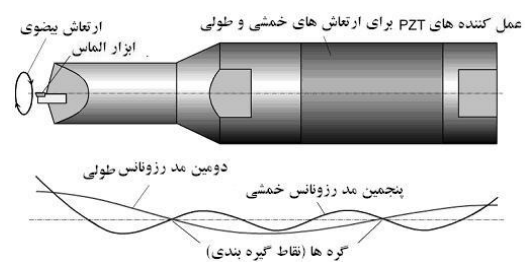
در فرایندهای EVC و VC، حداکثر سرعت ارتعاش افقی بایستی بیشتر از سرعت برشی باشد یعنی:

$$2\pi fa > v_w \quad (3)$$

بطوریکه v_w سرعت برشی است.

۳- طراحی و آماده‌سازی فرایندها

ابزار ارتعاشی ماشینکاری ارتعاش بیضوی است که با طراحی حالت ارتعاش خمشی و طولی ساخته شده است. با طراحی ابزار ارتعاشی توسط نرم‌افزار انسیس و تحلیل مودال و بدست آوردن بهترین شرایط حالت خمشی و طولی در فرکانس مورد نظر، ابعاد و هندسه ابزار ارتعاشی بدست می‌آید. شکل (۲) ابزار و تداخل مود خمشی و طولی آن را نشان می‌دهد [۱۰].



شکل (۲): ابزار ارتعاشی و تداخل حالت خمشی و طولی آن [۱۰]

شکل (۳) ابزار ارتعاشی ساخته شده به همراه سامانه هدایت آن را نشان می‌دهد. این ابزار دارای فرکانس ارتعاشی ۳۶/۱۶KHz و دامنه صفر تا ۴ میکرون و سامانه هدایتی با دو ژنراتور و یک هدایت‌کننده مرکزی است. با هدایت هرکدام از ژنراتورها یک حالت ارتعاشی تحت هدایت قرار می‌گیرد و شکل ارتعاش موردنظر بصورت خطی، دایره‌ای و بیضوی بوجود می‌آید.



شکل (۳): ابزار ارتعاش بیضوی همراه سامانه کنترل

تجهیزات لازم برای انجام آزمایش‌ها عبارتست از:

- دستگاه تراش ۴ محوره (AHN05-Toyoda CNC) با وضوح حرکتی یک نانومتری برای انجام آزمایش‌های VC، EVC و OC

- ابزار ارتعاشی که قابلیت اعمال ارتعاش یک جهته و دو جهته را دارد، با فرکانس ارتعاشی ۳۶/۱۶KHz و دامنه صفر تا ۴ میکرون است.

- دستگاه اندازه‌گیری زبری سطح (ET4000A شرکت کوساکا) برای اندازه‌گیری زبری سطح در جهت پیشروی و در جهت سرعت برشی.

- دستگاه ارتعاش‌سنج لیزری (AT0042 شرکت گرافتک) برای اندازه‌گیری فرکانس، دامنه و شکل ارتعاش (دایره‌ای، بیضوی و خطی) ابزار.

- دستگاه میکروسکوپ نوری (شرکت نیکون) برای دیدن و تصویربرداری سطوح ماشینکاری.

- دستگاه میکروسکوپ الکترونی (S-3600N شرکت هیتاچی) برای دیدن و تصویربرداری براده در فرایندها.

- دینامومتر با تحمل نیرویی ۲۵۰ نیوتن ساخت شرکت کیستلر.

- اینسرت الماس تک کریستال با کد PF-۵۷۰۴۷ ساخت شرکت آل-ام-تی

- سوپر آلیاژ Ud500 با قطر ۲۴ میلی‌متر و طول ۲۲ میلی‌متر

۴- آزمایش‌ها

پس از آماده‌سازی قطعه کار و انجام عملیات پیش-ماشینکاری بر روی آن و بستن ابزار و دیگر تجهیزات بر روی ماشین تراش CNC چهار محوره شرایط کار برای انجام آزمایش‌ها آماده شد. شکل (۴) آماده‌سازی آزمایش‌ها پس از نصب ابزار ارتعاشی و قطعه کار بر روی دستگاه تراش را نشان می‌دهد.



شکل (۴): آماده‌سازی آزمایش‌ها

طبق شکل ۴ ابزار ارتعاشی بر روی دینامومتر و محور B دستگاه تراش نصب شده است و زاویه ۹۰ درجه نسبت به سطح قطعه کار دارد. با هدایت ابزار ارتعاشی می‌توان شکل

جدول (۱): پارامترهای آزمایش EVC

شماره	سرعت برشی m/min	سرعت پیشروی $\mu\text{m}/\text{rev}$	عمق برش μm	زاویه فاز (درجه)	دامنه ارتعاش μm
۱	۳	۲۰	۴	۹۰	۴
۲	۱	۲۰	۴	۹۰	۴
۳	۰/۵	۲۰	۴	۹۰	۴
۴	۰/۳	۲۰	۴	۹۰	۴
۵	۱	۱۰	۴	۹۰	۴
۶	۱	۴۰	۴	۹۰	۴
۷	۱	۲۰	۴	۴۵	۴
۸	۱	۲۰	۴	۱۳۵	۴
۹	۱	۲۰	۴	۹۰	۱
۱۰	۱	۲۰	۴	۹۰	۲

جدول (۲): پارامترهای آزمایش VC

شماره	سرعت برشی m/min	سرعت پیشروی $\mu\text{m}/\text{rev}$	عمق برش μm	دامنه ارتعاش μm
۱	۶	۲۰	۱۰	۴
۲	۳	۲۰	۱۰	۴
۳	۱	۲۰	۱۰	۴
۴	۰/۵	۲۰	۱۰	۴
۵	۰/۳	۲۰	۱۰	۴
۶	۱	۱۰	۱۰	۴
۷	۱	۴۰	۱۰	۴
۸	۱	۲۰	۱۰	۲

جدول (۳): پارامترهای آزمایش ماشینکاری معمولی

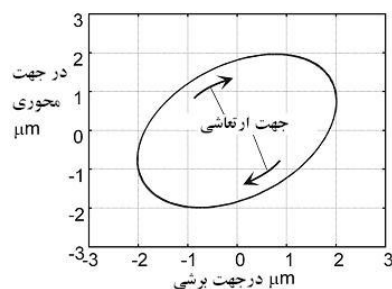
شماره	سرعت برشی m/min	سرعت پیشروی $\mu\text{m}/\text{rev}$	عمق برش μm
۱	۲۸	20	۱۰

با توجه به اینکه حداکثر سرعت ارتعاشی در فرایندهای VC و EVC طبق رابطه $2\pi f a$ حدود 28 m/min می‌شود. مقدار سرعت برشی در OC برابر با این مقدار در نظر گرفته شده است. در انجام آزمایش OC به علت سایش شدید ابزار محدودیت در تعداد آزمایش وجود داشت. هدف نشان دادن تفاوت زیاد نیرو در فرایند OC با دیگر فرایندهاست و در نمودارهای بعدی فقط مقایسه فرایندهای VC و EVC انجام شده است.

طول ماشینکاری روی قطعه کار برای هر مرحله آزمایش حدود 0.7 میلی متر است و عوامل ماشینکاری توسط برنامه نویسی CNC به ماشین معرفی شد. برای آزمایش‌هایی که نیاز

موردنظر حرکت ابزار را بصورت خطی، دایره‌ای و بیضوی بدست آورد. با این ابزار می‌توان هم ارتعاش یک جهته (در جهت سرعت برشی) و هم ارتعاش دو جهته (بیضوی) اعمال نمود. این ابزار دو ژنراتور دارد که هر کدام ارتعاش را در یک جهت اعمال و کنترل می‌نماید. در صورتی که یک ژنراتور مشغول بکار باشد ارتعاش یک جهته، اگر دو ژنراتور مشغول بکار باشد ارتعاش دو جهته و اگر ژنراتورها خاموش باشند فرایند تراشکاری معمولی است.

حرکت‌های ابزار به صورت دایره‌ای و خطی و فرکانس ارتعاشی توسط دستگاه ارتعاش‌سنج لیزری بدست آمد. نمونه‌ای از نتیجه این اندازه‌گیری در شکل (۵) آورده شده است.



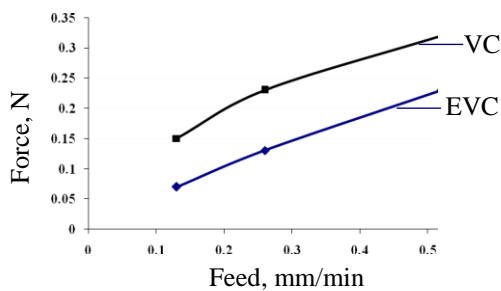
شکل (۵): نمودار شکل ارتعاش ابزار ارتعاشی

تنظیمات لازم بر روی ژنراتورهای دستگاه ابزار ارتعاشی طوری انجام می‌شود که ارتعاش موردنظر طبق شکل (۵) ایجاد شود. این کار با تنظیم سه کلید که دو کلید برای ارتعاش دو جهته و یک کلید برای تغییرات فاز می‌باشد، انجام می‌شود.

سپس شرایط آماده‌سازی آزمایش به ترتیب زیر انجام شد:
- ماشینکاری اولیه بر روی قطعه کار برای بدست آوردن شرایط هندسی مناسب قطعه کار متناسب با دقت دستگاه تراش CNC
- تنظیمات بر روی دینامومتر (۲۵۰ نیوتنی) برای اندازه‌گیری نیرو.

- تنظیمات بر روی ژنراتور ابزار ارتعاشی متناسب با دامنه ارتعاش و نحوه حرکت ابزار (خطی، دایره‌ای یا بیضوی)
- برنامه‌نویسی ماشین CNC برای حرکت ابزار متناسب با شرایط آزمایش.

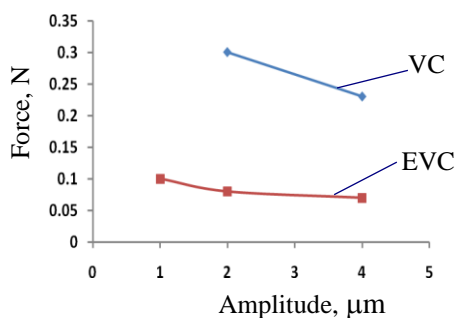
- تنظیم دقیق مرکز ابزار با مرکز سه نظام دستگاه.
عوامل موردنظر برای انجام آزمایش‌های EVC و VC شامل سرعت برشی، سرعت پیشروی، عمق برش، فاز ارتعاشی و دامنه ارتعاش در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ آورده شده است.



شکل (۷): اثر سرعت پیشروی بر نیروی ماشینکاری در فرایندهای VC و EVC (سرعت برشی 0.3 m/min و دامنه ارتعاش 4 میکرون)

طبق شکل (۷)، افزایش سرعت پیشروی باعث افزایش نیروی ماشینکاری در فرایندها می‌شود که بر اساس مکانیک برش فلز، افزایش سرعت پیشروی سطح، درگیری ابزار و قطعه کار را زیاد نموده و در نتیجه نیروی ماشینکاری را افزایش می‌دهد.

شکل ۸ اثر تغییر دامنه ارتعاش بر نیروی ماشینکاری را در فرایندهای VC و EVC نشان می‌دهد. در این آزمایش‌ها سرعت برشی 1 m/min و سرعت پیشروی $20 \text{ } \mu\text{m/rev}$ است.



شکل (۸): اثر تغییر دامنه ارتعاش بر نیروی ماشینکاری در فرایندهای VC و EVC (سرعت برشی 1 m/min و سرعت پیشروی $20 \text{ } \mu\text{m/rev}$)

طبق شکل (۸) افزایش دامنه ارتعاش باعث کاهش نیروی ماشینکاری می‌شود و این بعلت آن است که افزایش دامنه ارتعاش، زمان درگیری بین ابزار و قطعه کار را کاهش داده و در نتیجه نیروی ماشینکاری کاهش می‌یابد.

شکل (۹) اثر تغییر زاویه فاز حرکت ارتعاش بیضوی را بر نیروی ماشینکاری نشان می‌دهد. در این آزمایش‌ها سرعت برشی 1 m/min ، دامنه ارتعاش 4 میکرون و سرعت پیشروی $20 \text{ } \mu\text{m/rev}$ است.

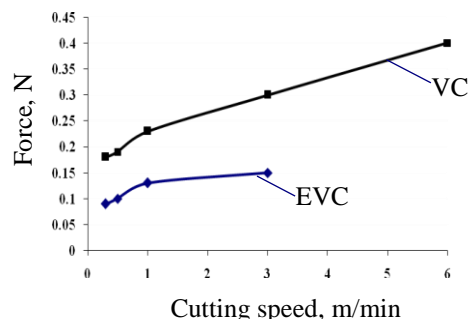
به تغییر دامنه یا فاز ارتعاشی دارند، توسط دستگاه ارتعاش-سنج لیزری شرایط تنظیم هدایت گر ابزار ارتعاشی برای بدست آوردن دامنه و شکل ارتعاشی موردنظر بدست می‌آید و هنگام آزمایش همان شرایط بدست آمده توسط دستگاه ارتعاش‌سنج لیزری بر روی کنترلر ابزار ارتعاشی تنظیم می‌شود. نیروی ماشینکاری در حین آزمایش توسط دینامومتر و اسیلوسکوپ مربوطه اندازه گیری شد.

۵- نتایج آزمایش‌ها

پس از انجام آزمایش‌ها و بدست آوردن داده‌های خام، نیروهای ماشینکاری آزمایش‌ها توسط برنامه‌ای که با نرم افزار مطلب نوشته شده، بدست آمد. سپس توسط دستگاه اندازه‌گیری زبری، زبری سطح (در جهت های سرعت برشی و پیشروی) مناطق آزمایش شده از قطعه کار اندازه‌گیری شد. با منظم نمودن نتایج آزمایش و بدست آوردن نمودارهای مربوطه، نتایج آزمایش به شرح زیر به دست آمد:

۵-۱- بررسی نیروی ماشینکاری

مقایسه نیرو در فرایندهای VC و EVC در شکل (۶) آورده شد. در این آزمایش‌ها سرعت پیشروی $20 \text{ } \mu\text{m/rev}$ و دامنه ارتعاش 4 میکرون است.



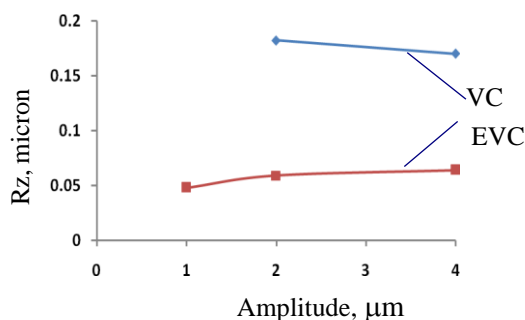
شکل (۶): مقایسه نیرو در VC و EVC

در ماشینکاری معمولی نیروی اصلی 5 نیوتن اندازه گیری شد. مطابق شکل (۶) و نیروی به دست آمده از ماشینکاری معمولی، نیروی ماشینکاری به ترتیب در فرایندهای VC، EVC و OC کمتر است. افزایش سرعت برشی باعث افزایش نیروی ماشینکاری در فرایندهای VC و EVC می‌شود و علت آن افزایش زمان درگیری ابزار با قطعه کار است.

شکل (۷) اثر سرعت پیشروی را بر نیروی ماشینکاری در فرایندهای VC و EVC نشان می‌دهد. در این آزمایش‌ها سرعت برشی 0.3 m/min و دامنه ارتعاش 4 میکرون است.

طبق شکل (۱۱) با افزایش سرعت پیشروی، زبری سطح در فرایندهای EVC و VC افزایش می‌یابد. علت این موضوع آن است که با افزایش سرعت برشی درگیری بین ابزار و قطعه کار بیشتر شده و فرایند به سمت تراشکاری معمولی سوق می‌یابد و در نتیجه زبری سطح بیشتر می‌شود.

اثر تغییر دامنه ارتعاش بر زبری سطح در شکل (۱۲) آورده شده است. در این آزمایش سرعت برشی ۱ m/min و سرعت پیشروی $20 \mu\text{m}/\text{rev}$ است.

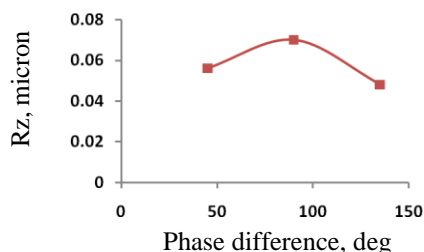


شکل (۱۲): اثر دامنه ارتعاش بر زبری سطح

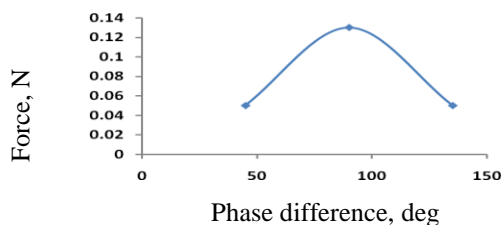
(سرعت برشی ۱ m/min و سرعت پیشروی $20 \mu\text{m}/\text{rev}$)

طبق شکل (۱۲)، در فرایند EVC افزایش دامنه ارتعاش باعث افزایش زبری سطح می‌شود و به سمت مقدار ثابتی میل می‌نماید و در فرایند VC افزایش دامنه ارتعاش باعث کاهش زبری سطح می‌شود. این بدان علت است که در فرایند VC با افزایش دامنه ارتعاش درگیری بین ابزار و قطعه کار کمتر می‌شود و در فرایند EVC با افزایش دامنه ارتعاش دامنه عمودی نیز افزایش می‌یابد که باعث اثر خنثی‌کننده دامنه افقی دارد که باعث افزایش زبری می‌شود و در پایان اثر آنها در دامنه‌های بالاتر با هم هم‌پوشانی دارند و زبری سطح به مقدار ثابتی می‌رسد.

اثر تغییر زاویه فاز حرکت ارتعاش بیضوی در فرایند EVC در شکل (۱۳) آورده شده است. در این آزمایش‌ها سرعت برشی ۱ m/min و دامنه ارتعاش ۴ میکرون و سرعت پیشروی $20 \mu\text{m}/\text{rev}$ است.



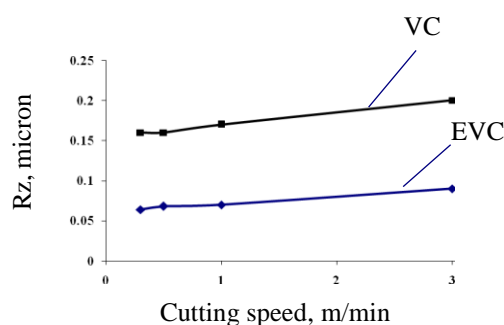
شکل (۱۳): اثر تغییر زاویه فاز حرکت ارتعاش بیضوی در فرایند EVC بر زبری سطح (سرعت برشی ۱ m/min و دامنه ارتعاش ۴ میکرون)



شکل (۹): تاثیر تغییر زاویه فاز حرکت ارتعاش بیضوی بر نیروی ماشینکاری (سرعت برشی ۱ m/min و دامنه ارتعاش ۴ میکرون)

۲-۵- بررسی زبری سطح

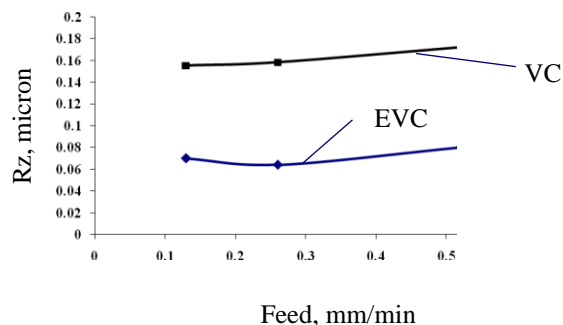
مقایسه زبری سطح در فرایندهای VC، EVC و OC در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) در جهت‌های پیشروی و سرعت برشی آورده شده است. در این آزمایش‌ها سرعت پیشروی $20 \mu\text{m}/\text{rev}$ ، دامنه ارتعاش ۴ میکرون است.



شکل (۱۰): مقایسه زبری سطح در فرایندها

(سرعت پیشروی $20 \mu\text{m}/\text{rev}$ و دامنه ارتعاش ۴ میکرون)

مقدار زبری سطح در فرایند OC، $0.7 \mu\text{m}$ اندازه‌گیری شد. طبق شکل (۱۰) زبری سطح به ترتیب در فرایندهای VC، EVC و OC کمتر است. و این به علت اثر فرایند تراشکاری ارتعاشی بر زبری سطح است که بر اساس روابط تئوری آن باعث پایداری بیشتر فرایند تراشکاری و در نتیجه کاهش زبری سطح می‌شود. اثر سرعت پیشروی بر زبری سطح در فرایندهای VC و EVC در شکل (۱۱) آورده شده است. در این آزمایش‌ها سرعت برشی ۱ m/min و دامنه ارتعاش میکرون است.

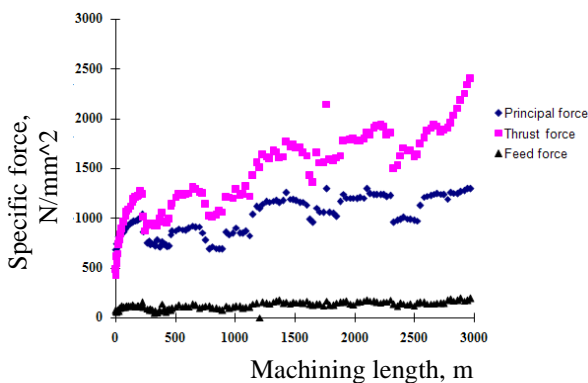


شکل (۱۱): اثر سرعت پیشروی بر زبری سطح

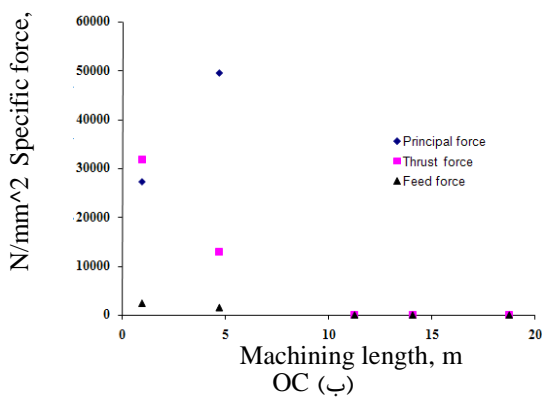
(سرعت برشی ۱ m/min و دامنه ارتعاش ۴ میکرون)

لبه ابزار برشی استفاده شده را در فرایندهای EVC و OC نشان می‌دهد. فشار مخصوص از تقسیم نیروی ماشینکاری بر سطح مقطع براده تغییر شکل نیافته بدست می‌آید.

مطابق شکل ۱۵-الف نیروی اصلی ماشینکاری در EVC تا طول ۲۷۰۰ متر به طور تقریب ثابت است و نیروی محوری در EVC در ابتدای ماشینکاری افزایشی جهشی (به علت سایش اولیه ابزار) دارد و سپس تا طول ۲۷۰۰ متر با شیب خیلی کمی افزایش می‌یابد و پس از طول ۲۷۰۰ متر افزایش آن با شیب تندتری می‌شود. طبق شکل ۱۸-ب) نیروی ماشینکاری در فرایند OC در چند متر اول آزمایش سریع بالا می‌رود که نشان می‌دهد که در ابزار سایش شدیدی ایجاد شده است. شکل‌های ۱۶-الف) و ۱۶-ب) نیز نشان می‌دهند که در فرایند EVC زبری سطح تا ۲۷۰۰ متر ثابت بوده و پس از آن زبری سطح با شیب بیشتری افزایش می‌یابد و در فرایند OC زبری سطح در چند متر اولیه شیب تندتری در جهت افزایش دارد. طبق شکل ۱۷-الف و ب) سایش ابزار در OC بسیار بیشتر از فرایند EVC است.



EVC (الف)

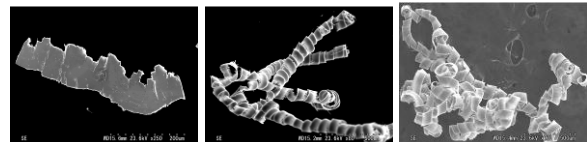


OC (ب)

شکل (۱۵): فشار مخصوص ماشینکاری در آزمایش عمر ابزار

طبق شکل (۱۳) افزایش زاویه فاز باعث افزایش زبری سطح می‌شود و پس از زاویه ۹۰ درجه، زبری سطح کاهش می‌یابد. در حالتی که زاویه ۹۰ درجه، فاز حالت ارتعاش دایره‌ای است که شرایط زبری سطح حداکثری را حاصل می‌دهد. در دیگر شرایط زاویه فاز چون ارتعاش بصورت بیضوی است زبری نسبت به حالت ارتعاش دایره‌ای کمتر است.

شکل ۱۴ تصاویر براده در فرایندهایی که توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی گرفته شده است، را نشان می‌دهد.



(الف) (ب) (ج)

شکل (۱۴): تصویر براده در فرایند الف) EVC، ب) VC، ج) OC

پارامترهای ماشینکاری در شکل (۱۴الف) مطابق شماره آزمایش ۲ در جدول (۱) است و عوامل ماشینکاری در شکل (۱۴ب) طبق شماره آزمایش ۲ در جدول (۲) است و عوامل ماشینکاری در شکل (۱۴ج) طبق جدول (۳) است. با توجه به شکل (۱۴) براده در فرایندهای EVC و VC بلندتر از فرایند OC است. علت بلندتر شدن طول براده در فرایند EVC، افزایش زاویه برش (مطابق مکانیک برش در این فرایند) است افزایش زاویه برش باعث بلندتر و پیوسته شدن براده می‌شود. به همین نسبت طول براده در فرایند VC بلندتر از فرایند OC است.

۵-۳- عمر ابزار

عمر ابزار یکی از مهم‌ترین عوامل اقتصادی در ماشینکاری است که بستگی به سایش ابزار دارد. برای بررسی عمر ابزار ماشینکاری به کمک ارتعاش بیضوی و مقایسه آن با ماشینکاری معمولی شرایط زیر در نظر گرفته شد:

۱- در ماشینکاری به کمک ارتعاش بیضوی و ماشینکاری معمولی، حین عملیات ماشینکاری، نیروهای ماشینکاری اندازه‌گیری شد.

۲- پس از اتمام ماشینکاری، زبری سطوح ماشینکاری شده اندازه‌گیری شد.

۳- از ابزار (الماس تک کریستال) تصویر گرفته شد تا میزان سایش ابزار مشخص شود.

مشخصات ماشینکاری آزمایش عمر ابزار: سرعت برشی

۱m/min، پیشروی ۱۰ μm/rev و عمق برش ۱۰ μm

شکل ۱۵ نتایج فشار مخصوص ماشینکاری، شکل (۱۶)

زبری سطح آزمایش را بر اساس طول ماشینکاری و شکل ۱۷

نیرو و زبری نیز بررسی شد. همچنین آزمایش‌های عمر ابزار در فرایندهای EVC و OC انجام شد. از مجموعه بررسی‌های انجام‌شده نتایج زیر به‌دست آمد:

کاهش نیروی ماشینکاری و بهبود زبری سطح به ترتیب در فرایندهای EVC، VC و OC، در آلیاژ Ud500 نیز مورد تایید است. نیروی ماشینکاری با Ud500 در فرایند EVC بطور

متوسط نصف فرایند VC و در فرایند VC، $\frac{1}{2}$ فرایند OC حاصل شد. همچنین زبری سطح بطور متوسط در فرایند EVC

، $\frac{1}{3}$ فرایند VC و در فرایند VC نیز $\frac{1}{5}$ فرایند OC بدست آمد.

در فرایند EVC و VC افزایش سرعت برشی تا حدی باعث افزایش نیروی ماشینکاری می‌شود. افزایش نرخ پیشروی نیز باعث افزایش نیروی ماشینکاری در فرایندهای EVC و VC می‌شود که البته در مکانیک تراش نیز این موضوع تایید می‌شود.

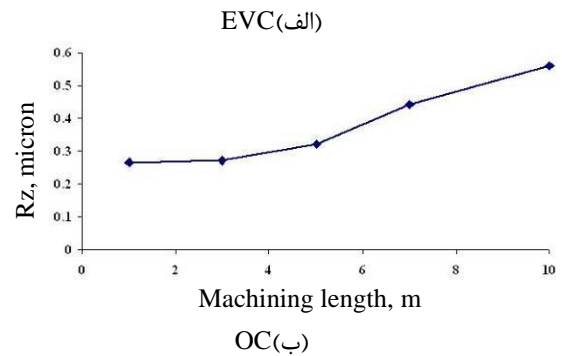
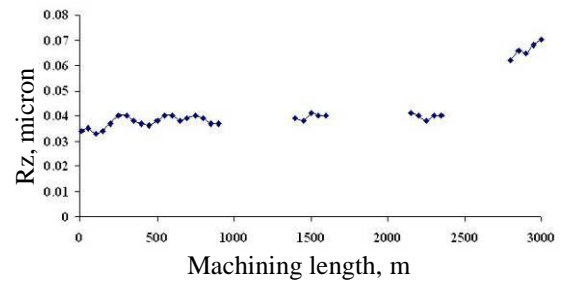
افزایش دامنه ارتعاش در فرایند EVC و VC باعث کاهش نیروی ماشینکاری می‌شود.

نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان داد که فرایندهای VC و EVC بر روی قطعه کار Ud500 قابل اجراست و نتایجی که بر روی مواد دیگر مثل فولاد و آلومینیوم بدست آمده (کاهش نیرو و بهبود صافی سطح) بر روی سوپرآلیاژ فوق نیز صادق است. در آزمایش‌های زبری مشخص شد که زبری سطح در جهت‌های برشی و پیشروی به ترتیب در فرایندهای CT، VC و EVC کمتر است. افزایش سرعت برشی باعث افزایش زبری سطح در فرایندهای EVC و VC می‌شود. در فرایند EVC افزایش زاویه فاز تا 90° باعث افزایش زبری سطح می‌شود و پس از آن از زبری سطح کاسته می‌شود.

با انجام آزمایش عمر ابزار در فرایندهای EVC و OC بر روی سوپر آلیاژ نشان داده شد که عمر ابزار در فرایند EVC بهتر از فرایند OC است به خصوص در مورد سوپر آلیاژ با ابزار الماس تک‌کریستال تایید شد که عمر ابزار در فرایند EVC حداقل 600 برابر بهتر از فرایند OC است. این نتیجه نشان داد که بهترین روش برای ماشینکاری سوپر آلیاژ با عمر طولانی ابزار استفاده از فرایند EVC است.

۷- تقدیر و تشکر

نویسندگان لازم می‌دانند از پروفسور شاموتو به دلیل استفاده از آزمایشگاه ایشان تشکر نمایند.



شکل (۱۶): زبری سطح آزمایش عمر ابزار



(الف)



(ب)

شکل (۱۷): لبه ابزار برشی در فرایند (الف) EVC بعد از ۳۰۰۰ متر ماشینکاری (ب) OC بعد از ۱۰ متر ماشینکاری

۶- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این تحقیق آزمایش‌هایی بر روی سوپرآلیاژ Ud500، با ابزار ارتعاشی دو جهته، ماشین تراش CNC و اینسرت تراشکاری الماس تک‌کریستال انجام شد. اثر عوامل ماشینکاری مثل سرعت برشی، پیشروی و دامنه ارتعاش بر نیرو و زبری سطح در فرایندها بررسی شد. در فرایند EVC اثر تغییر فاز بر

- [۹] Moriwaki, T.; Shamoto, E; Inoue, K.; Ultraprecision ductile cutting of glass by applying ultrasonic vibration, *Ann.CIRP* , Vol.41(1), p.p. 141-144, 1992.
- [۱۰] Suzuki, N.; Haritani, M.; Yang, J.; Hino, R.; Shamoto, E.; Elliptical Vibration Cutting of Tungsten Alloy Molds for Optical Glass Parts, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 56, p.p. 127-130, 2007.
- [۱۱] Amini, S.; Soleimanimehr, H.; Nategh, M. J.; Abudollah, A.; Sadeghi, M. H.; FEM analysis of ultrasonic-vibration-assisted turning and the vibratory tool , *Journal of Materials Processing Technology* , Vol. 201, p.p. 43-47, 2007.
- [۱۲] Amini, S.; Shamoto, E; Suzuki, N.; Nategh, M. J.; FE Analysis of One-Directional and Elliptical Vibration Cutting Processes, *Int. J. of Automation Technology*, Vol.4, p.p. 252-258, 2010.
- [۱۳] Amini, S.; Soleimanimehr, H.; Nategh, M. J.; Application of Design of Experiments for modeling surface roughness in ultrasonic vibration turning, *Proc. IMechE Vol. 223 Part B: J. Engineering Manufacture*, p.p. 641-652, 2009.
- [۱۴] Nategh, M. J.; Amini, S.; Soleimanimehr, H.; Abudollah, A.; A Machining Force Model Developed for Ultrasonic Vibration-assisted Turning, through Statistical Analysis of Influential Machining Parameters, *Mech. & Aerospace Eng. J.*, Vol. 4, p.p. 83-91, 2009.
- [۱۵] Kumabe, J.; Masuko, M.; “ Study on the ultrasonic cutting (1st report)” *Trns.JSME*. Vol.24, p.p. 109-114, 1958, 109-114 (in Japanese).
- [۱۶] Kumabe, J.; Fundamentals and applications of vibration cutting, *Jikkyo publishing*, Tokyo, 1979 (in Japanese).
- [۱۷] Shamoto, E; Moriwaki, T.; Fundamental Study on Elliptical Vibration Cutting. *Proc. of the 8th Annual Meeting, ASPE*, p.p. 162-165, 1993.
- [۱۸] Ma, CX; Shamoto, E; Moriwaki, T.; Wang, L.; Study of machining accuracy in ultrasonic elliptical vibration cutting, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol.44, p.p. 1305-1310, 2004.
- [۱۹] Shamoto, E; Moriwaki, T.; Study on Elliptical Vibration Cutting, *Ann. CIRP*, Vol. 43/1, p.p. 35-38, 1994.
- [۲۰] Shamoto, E; Morimoto, Y.; Moriwaki, T.; Elliptical Vibration Cutting (1st Report, Cutting Principle and Basic Performance) , *J. JSPE*, Vol.62/8, p.p. 1127-1131, 1996 (in Japanese).
- [۲۱] Babitsky, V.I.; Kalashnikov, A. N.; Meadows, A.; Ultrasonically assisted turning of aviation materials, *J. Mat. Proc. Tech* , Vol. 132, p.p. 157-167, 2003.
- [۲۲] Kumabe, J.; Fuchizawa, S.; Soutome, T.; Soutome, Y.; Nishimoto, Y.; Ultrasonic superposition vibration cutting of ceramics, *Precision Eng.*, Vol. 11, p.p. 71-77, 1989.

