

## تراشکاری ارتعاشی با اولتراسونیک یک جهته و بیضوی بر روی قطعه کار In738\*

سعید امینی<sup>(۱)</sup> محمد جواد ناطق<sup>(۲)</sup> امیر عبدا...<sup>(۳)</sup>

**چکیده** در این تحقیق تراشکاری ارتعاشی، تراشکاری ارتعاش بیضوی و تراشکاری معمولی بر روی قطعه کار سوپرآلیاژ In738 مورد آزمایش قرار گرفته است. این آزمایش‌ها با ابزار الماس تک کریستال و دستگاه تراش CNC انجام شد. جهت اعمال ارتعاش در فرآیند تراشکاری ارتعاشی در جهت سرعت برشی و در فرآیند تراشکاری ارتعاش بیضوی در جهت سرعت برشی و عمق برش می‌باشد. فرکانس ارتعاشی 36.16 KHz و دامنه 4µm می‌باشد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح در تراشکاری ارتعاش بیضوی، کمتر از تراشکاری ارتعاشی و تراشکاری معمولی است. در فرآیند تراشکاری ارتعاش بیضوی، زبری سطح هم در جهت برشی و هم در جهت پیشروی، کمتر از دو فرآیند دیگر می‌باشد. سپس با تغییر پارامترهای ماشین‌کاری شامل، سرعت برشی، پیشروی و دامنه ارتعاش، نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح در فرآیندهای فوق بررسی و مقایسه گردید.

**واژه‌های کلیدی** تراشکاری ارتعاشی (VC)، تراشکاری ارتعاش بیضوی (EVC)، ماشین‌کاری In738

### Vibration Cutting and Elliptical Ultrasonic Vibration Assisted Turning of In738 Work-Pieces

S. Amini M.J. Nategh A. Abdollah

**Abstract** Vibration cutting (VC), elliptical vibration cutting (EVC) and ordinary cutting (OC) of In738 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. Vibration frequency is 36.16KHz and the amplitude is 4µm. 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 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.

**Key Words** Vibration cutting (VC), elliptical vibration cutting (EVC), In738 machining

\* نسخه نخست مقاله در تاریخ ۹۰/۱/۲۹، اولین پذیرش آن در تاریخ ۹۰/۱۰/۱۴ و نسخه آماده چاپ آن در تاریخ ۹۱/۵/۹ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) نویسنده‌ی مسؤول: استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان

(۲) دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

(۳) دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## مقدمه

فرآیند ماشین کاری ارتعاشی با اولتراسونیک یکی از روش های ماشین کاری پیشرفته می باشد. در این روش به ابزار برشی حین عملیات ماشین کاری، ارتعاشی تحت فرکانس و دامنه ثابت، اعمال می گردد. اگر ارتعاش اولتراسونیک در یک جهت (در جهت سرعت برشی) اعمال گردد، ماشین کاری ارتعاشی (Vibration Cutting-VC) و اگر در دو جهت (در جهت های سرعت برشی و عمق برش) اعمال گردد، ماشین کاری ارتعاش بیضوی (Elliptical Vibration Cutting-EVC) می باشد.

مطالعه فرآیند EVC توسط شاموتو [1] در سال ۱۹۹۳ انجام شد. او نشان داد که اعمال ارتعاش بیضوی به ابزار، مزیت های بهتری نسبت به ارتعاش خطی از جمله، کاهش بیشتر نیروی ماشین کاری و زبری سطح را داراست [2-3].

شاموتو و موریواکی [4] فرآیند برش ارتعاشی را در دو جهت، با عنوان ماشین کاری ارتعاشی بیضوی انجام دادند. این نوع فرآیند باعث حرکت ارتعاش بیضوی ابزار می شود که ضخامت براده و نیروی برشی را کاهش می دهد. آنان توسط عمل کننده پیزوالکتریک، ابزار تراشکاری را در دو جهت (با فرکانس 19KHz) مرتعش کردند و در تحلیل تئوری و عملی نشان دادند که نیروهای ماشین کاری بسیار کمتر از حالتی است که ارتعاش اولتراسونیک در یک جهت اعمال گردد. بابیتسکی و همکاران [5] تحلیل غیر خطی به صورت Vibro-impact بر روی فرآیند ماشین کاری ارتعاشی با اولتراسونیک را انجام دادند. آنها نشان دادند که با اعمال مود Vibro-impact بر قطعه کار، تغییرات زیادی بر ویژگی های دینامیکی ماشین کاری حاصل می شود و پاسخ دامنه غیر خطی ابزار برشی را به دست آوردند. ترانگ و همکاران [6] با نصب یک پیزوالکتریک بر

روی ابزار تراشکاری و انجام آزمایش VC، نشان دادند که ابزار ارتعاشی، می تواند تابع پاسخ فرکانسی را بهینه کند. بنابراین پایداری ماشین کاری در عملیات تراشکاری بهینه می گردد. ماشین کاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک روش پیشرفته و مناسبی به منظور ماشین کاری مواد سخت برش از قبیل سوپر آلیاژ، سرامیک، تنگستن و شیشه می باشد [7-10].

در این تحقیق به بررسی ماشین کاری سوپر آلیاژ In738 در فرآیندهای EVC، VC و تراشکاری معمولی (Ordinary Cutting-OD) پرداخته می شود. این آزمایش ها با استفاده از ابزار ارتعاشی دو جهته (که قابلیت ارتعاش در یک جهت را دارد)، دستگاه تراش CNC انجام می شود. نیروی ماشین کاری توسط دینامومتر و زبری سطح در جهت های برشی و پیشروی اندازه گیری می شود. با تغییر پارامترهای ماشین کاری شامل سرعت برشی، پیشروی، دامنه ارتعاش و زاویه فاز، تأثیر تغییر این پارامترها بر نیروی ماشین کاری و زبری سطح در فرآیندهای EVC و VC بررسی می گردد.

## فرآیندهای VC و EVC

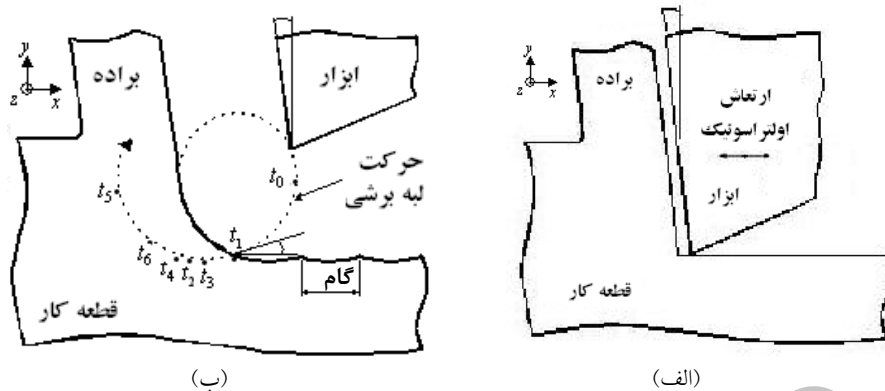
شکل (۱) نمای کلی فرآیندهای VC و EVC را نشان می دهد.

شکل (۱-الف) فرآیند VC را نشان می دهد. ابزار برشی به صورت خطی در جهت سرعت برشی، ارتعاش می کند در این فرآیند:

$$x = a \sin(2\pi ft),$$

$$\text{Vibration Speed} = 2\pi fa \cos(2\pi ft) \quad (1)$$

a دامنه ارتعاش، f فرکانس ارتعاش و t زمان می باشد.



شکل ۱ فرآیندهای الف (VC) و ب (EVC)

شکل (۱-ب) فرآیند EVC را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. شروع برش در زمان  $t_1$  می‌باشد. پس از گذشت مدت کمی تا زمان  $t_2$ ، براده بر سطح براده ابزار می‌نشیند. این قسمت کم ممکن است عملیات کشیدن بر روی قطعه کار یا Burnishing باشد که به دلیل داشتن شعاع نوک ابزار می‌باشد. بعد از زمان  $t_2$ ، قطعه کار، برش می‌یابد و براده شکل می‌گیرد.  $t_6$  زمانی است که مماس بر مسیر برش و هم‌راستا با جهت برشی می‌شود؛ که در این لحظه، جهت اصطکاک عکس می‌شود. در نزدیک زمان  $t_6$ ، ابزار با براده در جهت برش با هم حرکت می‌کنند بدون این که اصطکاک یک دفعه تغییر جهت بدهد که به دلیل وجود الاستیسیته می‌باشد. ابزار در زمان  $t_5$ ، زمانی که مماس بر منحنی حرکت منطبق با سطح براده ابزار گردد، از قطعه کار جدا می‌شود. نیروی اصطکاک کاهش یافته یا عکس شده 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 می‌کند. اختلاف سرعت ابزار و براده مثل تراشکاری معمولی است. از  $t_6$  تا  $t_5$  ابزار با براده به سمت بالا حرکت می‌کند و اختلاف سرعت ابزار و براده تغییر می‌کند و جهت نیروی اصطکاک تغییر می‌کند. پس در EVC زاویه  $\varphi$  بزرگتر می‌شود و این باعث کاهش نیروی اصلی در جهت

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

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

در فرآیندهای EVC و VC، حداکثر سرعت ارتعاش افقی باید بیشتر از سرعت برشی باشد یعنی:

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

به طوری که  $v_w$  سرعت برشی می‌باشد.

### آماده سازی فرآیندها

ابزار ارتعاشی ماشین‌کاری ارتعاش بیضوی با طراحی مود ارتعاش خمشی و طولی ساخته شده است. با طراحی ابزار ارتعاشی توسط نرم افزار Ansys و تحلیل مودال و به دست آوردن بهترین شرایط مود خمشی و طولی در فرکانس مورد نظر، ابعاد و هندسه ابزار ارتعاشی به دست می‌آید. شکل (۲) ابزار و تداخل مود خمشی و طولی آن را نشان می‌دهد [11].

ساخت شرکت (A.L.M.T.Corp).

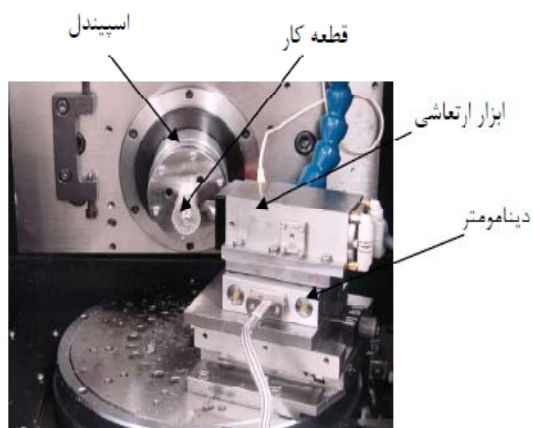
- قطعه کار: سوپر آلیاژ In738 با قطر 24 میلی متر و طول 22 میلی متر.



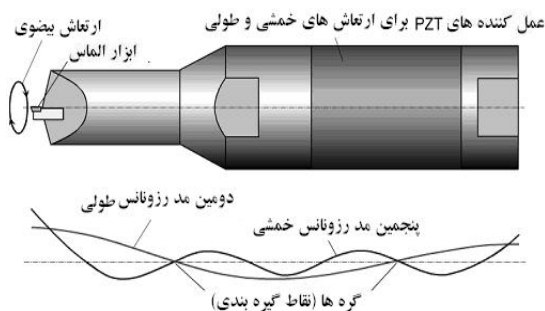
شکل ۲ ابزار ارتعاش بیضوی به همراه سیستم کنترل آن

### آزمایش‌ها

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



شکل ۴ آماده سازی آزمایش‌ها



شکل ۳ ابزار ارتعاشی و تداخل مود خمشی و طولی آن [11]

شکل (۳) ابزار ارتعاشی ساخته شده به همراه سیستم کنترل آن را نشان می‌دهد. این ابزار دارای فرکانس ارتعاشی 36.16 KHz و دامنه 0-4μm می‌باشد. سیستم کنترل، شامل دو ژنراتور و یک کنترل کننده مرکزی می‌باشد. با کنترل هر کدام از ژنراتورها یک مود ارتعاشی تحت کنترل قرار می‌گیرد و شکل ارتعاش مورد نظر به صورت خطی، دایروی و بیضوی حاصل می‌گردد.

تجهیزات استفاده شده برای انجام آزمایش‌ها عبارتند از:

- دستگاه تراش ۴ محوره CNC (AHN05-Toyoda) (co. برای انجام آزمایش‌های VC, EVC و OC).
- ابزار ارتعاشی که قابلیت اعمال ارتعاش یک جهته و دو جهته را دارد، این ابزار دارای فرکانس ارتعاشی 36.16 Khz و دامنه 0-4μm(p-p) می‌باشد.
- دستگاه اندازه‌گیری زبری سطح (ساخت شرکت Kosaka با مدل ET4000A) به منظور اندازه‌گیری زبری سطح در جهت پیشروی و در جهت سرعت برشی.
- دستگاه Laser Vibrometer (مدل AT0042) به منظور اندازه‌گیری فرکانس، دامنه و شکل ارتعاش (دایره‌ای، بیضوی و خطی) ابزار.
- دینامومتر با تحمل نیروی 250 N (ساخت شرکت Kistler مدل 9050).
- اینسرت الماس تک کریستال (با کد PF-57047)

تنظیمات لازم بر روی ژنراتورهای دستگاه ابزار ارتعاشی طوری صورت می‌گیرد که ارتعاش مورد نظر مطابق شکل (۵) حاصل گردد. این کار با تنظیم سه ولوم که دو ولوم برای ارتعاش دو جهته و یک ولوم برای تغییرات فاز می‌باشد، انجام می‌شود. سپس شرایط آماده سازی آزمایش به ترتیب زیر انجام شد:

- ماشین کاری اولیه بر روی قطعه کار، به منظور به دست آوردن شرایط هندسی مناسب قطعه کار متناسب با دقت دستگاه تراش CNC.

- تنظیمات بر روی دینامومتر (۲۵۰ نیوتنی) به منظور اندازه‌گیری نیرو.

- تنظیمات بر روی ژنراتور ابزار ارتعاشی متناسب با دامنه ارتعاش و نحوه حرکت ابزار (خطی، دایروی یا بیضوی).

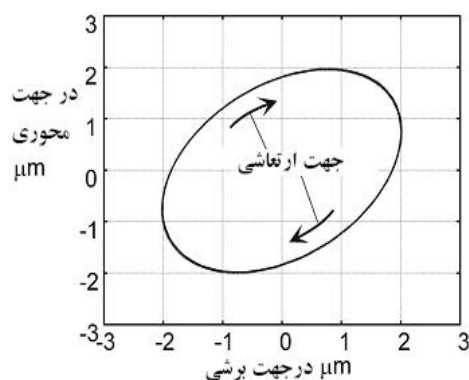
- تنظیم دقیق مرکز ابزار با مرکز سه نظام دستگاه.

پارامترهای مورد نظر برای انجام آزمایش‌های EVC و VC شامل سرعت برشی، سرعت پیشروی، عمق برش، فاز ارتعاشی و دامنه ارتعاش در جدول‌های (۱-۳) آورده شده است.

طول ماشین‌کاری روی قطعه کار برای هر مرحله آزمایش حدود 0.7 mm است و پارامترهای ماشین‌کاری فوق توسط برنامه نویسی CNC به ماشین معرفی شد. برای آزمایش‌هایی که نیاز به تغییر دامنه یا فاز ارتعاشی دارند، توسط دستگاه Laser Vibrometer شرایط تنظیم کنترلر ابزار ارتعاشی برای به دست آوردن دامنه و شکل ارتعاشی مورد نظر به دست می‌آید و موقع آزمایش همان شرایط به دست آمده توسط دستگاه Laser Vibrometer بر روی کنترلر ابزار ارتعاشی تنظیم می‌شود. نیروی ماشین‌کاری در حین آزمایش، توسط دینامومتر مربوطه اندازه‌گیری شد.

مطابق شکل (۴) ابزار ارتعاشی بر روی دینامومتر و محور B دستگاه تراش نصب شده است. با کنترل ابزار ارتعاشی می‌توان شکل مورد نظر حرکت ابزار را به صورت خطی، دایروی و بیضوی به دست آورد. توسط این ابزار می‌توان هم ارتعاش یک جهته (در جهت سرعت برشی) و هم ارتعاش دو جهته (بیضوی) اعمال کرد. این ابزار دارای دو ژنراتور می‌باشد که هر کدام ارتعاش را در یک جهت اعمال و کنترل می‌کند. در صورتی که یک ژنراتور مشغول به کار باشد ارتعاش یک جهته، اگر دو ژنراتور مشغول به کار باشد ارتعاش دو جهته و اگر ژنراتورها خاموش باشند، فرآیند تراشکاری، معمولی می‌باشد.

حرکت‌های ابزار به صورت دایره‌ای و خطی و فرکانس ارتعاشی توسط دستگاه Laser Vibrometer به دست آمد. این دستگاه ارتعاشات ابزار را در قسمت تحلیل‌گر آن مورد پردازش و خروجی آن بر روی صفحه نمایش دستگاه فانکشن ژنراتور نشان می‌دهد. نمونه‌ای از نتیجه حاصل از این اندازه‌گیری در شکل (۵) آورده شده است. زاویه فاز بین دو جهت ارتعاشی، شکل ارتعاش را مشخص می‌کند؛ به طوری که اگر زاویه فاز ۹۰ درجه باشد، شکل ارتعاش دایروی و در زوایای دیگر شکل ارتعاش بیضوی خواهد بود. در شکل (۵) زاویه فاز ۱۳۵ درجه می‌باشد.



شکل ۵ نمودار شکل ارتعاش ابزار ارتعاشی

جدول ۱ پارامترهای آزمایش EVC

شماره	سرعت برشی m/min	سرعت پیشروی $\mu\text{m} / \text{rev}$	عمق برش $\mu\text{m}$	زاویه فاز (درجه)	دامنه ارتعاش $\mu\text{m}$
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	۰/۳	۱۰	۴	۹۰	۴
۶	۰/۳	۳۰	۴	۹۰	۴
۷	۰/۳	۲۰	۴	۴۵	۴
۸	۰/۳	۲۰	۴	۱۳۵	۴
۹	۰/۳	۲۰	۴	۹۰	۱
۱۰	۰/۳	۲۰	۴	۹۰	۲
۱۱	۰/۳	۲۰	۴	۹۰	a=۱, b=۰/۵
۱۲	۰/۳	۲۰	۴	۹۰	a=۲, b=۰/۵
۱۳	۰/۳	۲۰	۴	۹۰	a=۰/۵, b=۱
۱۴	۰/۳	۲۰	۴	۹۰	a=۰/۵, b=۲

جدول ۲ پارامترهای آزمایش VC

شماره	سرعت برشی m/min	سرعت پیشروی $\mu\text{m} / \text{rev}$	عمق برش $\mu\text{m}$	دامنه ارتعاش (p-p) $\mu\text{m}$
۱	۳	۲۰	۴	۴
۲	۱	۲۰	۴	۴
۳	۰/۵	۲۰	۴	۴
۴	۰/۳	۲۰	۴	۴
۵	۰/۳	۱۰	۴	۴
۶	۰/۳	۳۰	۴	۴
۷	۰/۳	۲۰	۴	۲

جدول ۳ پارامترهای آزمایش ماشین کاری معمولی

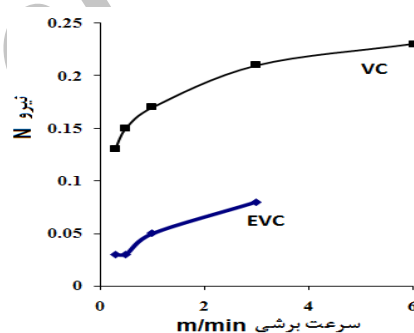
شماره	سرعت برشی m/min	سرعت پیشروی $\mu\text{m} / \text{rev}$	عمق برش $\mu\text{m}$
۱	۲۸	۲۰	۴

### نتایج آزمایش‌ها

پس از انجام آزمایش‌ها، نیروهای ماشین‌کاری آزمایش‌ها توسط دینامومتر به دست آمد. سپس توسط دستگاه اندازه‌گیری زبری، زبری سطح (در جهت‌های سرعت برشی و پیشروی) مناطق آزمایش شده از قطعه کار اندازه‌گیری شد. با به دست آوردن نمودارهای مربوطه توسط نرم افزار Excel، نتایج آزمایش به شرح زیر حاصل گردید:

#### بررسی نیروی ماشین‌کاری

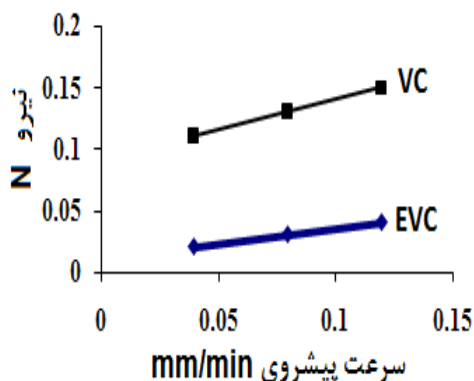
مقایسه نیرو در فرآیندهای VC و EVC در شکل (۶) آورده شد. در این آزمایش‌ها سرعت پیشروی  $20 \mu\text{m/rev}$  و دامنه ارتعاش  $4 \mu\text{m}$  می‌باشد.



شکل ۶ مقایسه نیرو در VC و EVC

در ماشین‌کاری معمولی نیروی اصلی  $1.9 \text{ N}$  اندازه‌گیری شد. مطابق شکل (۶) و نیروی حاصل از ماشین‌کاری معمولی، نیروی ماشین‌کاری به ترتیب در فرآیندهای VC، EVC و OC کمتر است، افزایش سرعت برشی باعث افزایش نیروی ماشین‌کاری در فرآیندهای VC و EVC می‌شود و علت آن افزایش زمان درگیری ابزار با قطعه کار می‌باشد. هر چه سرعت برشی افزایش یابد، زمان درگیری بین ابزار و قطعه کار بیشتر شده و فرآیندهای VC و EVC به سمت فرآیند ماشین‌کاری معمولی پیش می‌رود و در نتیجه، نیروی ماشین‌کاری افزایش می‌یابد.

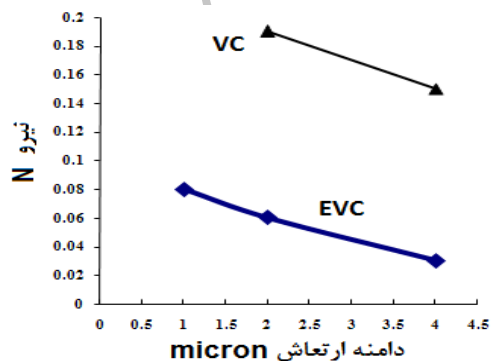
شکل (۷) تأثیر سرعت پیشروی را بر نیروی ماشین‌کاری در فرآیندهای VC و EVC نشان می‌دهد. در این آزمایش‌ها سرعت برشی  $0.3 \text{ m/min}$  و دامنه ارتعاش  $4 \mu\text{m}$  می‌باشد.



شکل ۷ تأثیر سرعت پیشروی را بر نیروی ماشین‌کاری در فرآیندهای VC و EVC

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

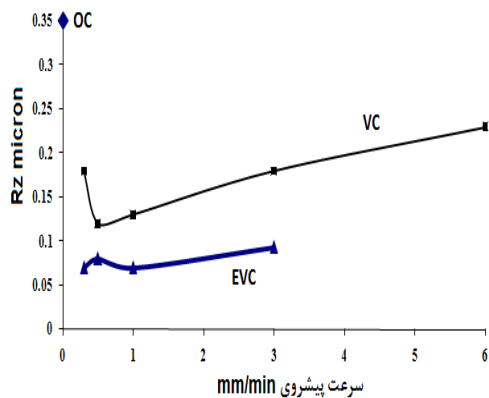
شکل (۸) تأثیر تغییر دامنه ارتعاش بر نیروی ماشین‌کاری در فرآیندهای VC و EVC را نشان می‌دهد. در این آزمایش‌ها، سرعت برشی،  $0.3 \text{ m/min}$  و سرعت پیشروی،  $20 \mu\text{m/rev}$  می‌باشد.



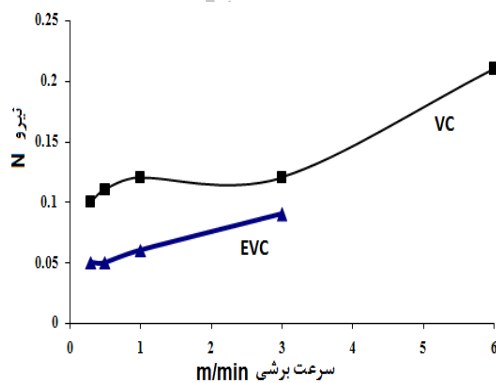
شکل ۸ تأثیر تغییر دامنه ارتعاش بر نیروی ماشین‌کاری در فرآیندهای VC و EVC

مطابق شکل (۸) افزایش دامنه ارتعاش باعث کاهش نیروی ماشین کاری می‌گردد و این به دلیل آن است که افزایش دامنه ارتعاش، زمان درگیری بین ابزار و قطعه کار را کاهش می‌دهد؛ در نتیجه نیروی ماشین کاری کاهش می‌یابد. شکل (۹) تأثیر تغییر زاویه فاز حرکت ارتعاش بیضوی را بر نیروی ماشین کاری نشان می‌دهد. در این آزمایش‌ها سرعت برشی  $0.3\text{m/min}$ ، دامنه ارتعاش  $4\ \mu\text{m}$  و سرعت پیشروی  $20\ \mu\text{m/rev}$  می‌باشد.

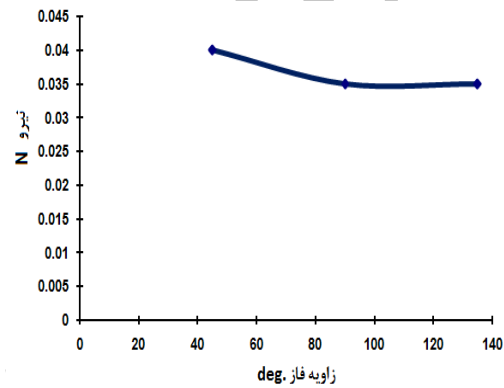
سرعت برشی آورده شده است. مطابق شکل (۱۰) زبری سطح به ترتیب در فرآیندهای VC، EVC و OC کمتر است و مطابق شکل‌های (۱۱ و ۱۰) افزایش سرعت برشی باعث افزایش زبری سطح در فرآیندها شده است که دلیل آن افزایش زمان درگیری ابزار با قطعه کار می‌باشد. هر چه سرعت برشی افزایش یابد، زمان درگیری بین ابزار و قطعه کار بیشتر شده و فرآیندهای VC و EVC به سمت فرآیند ماشین کاری معمولی پیش می‌رود و در نتیجه زبری سطح افزایش می‌یابد. تأثیر سرعت پیشروی بر زبری سطح در فرآیندهای VC و EVC در شکل‌های (۱۳ و ۱۲) آورده شده است. در این آزمایش‌ها سرعت برشی  $0.3\text{m/min}$  و دامنه ارتعاش  $4\ \mu\text{m}$  می‌باشد.



شکل ۱۰ مقایسه زبری سطح در جهت سرعت پیشروی



شکل ۱۱ مقایسه زبری سطح در جهت سرعت برشی



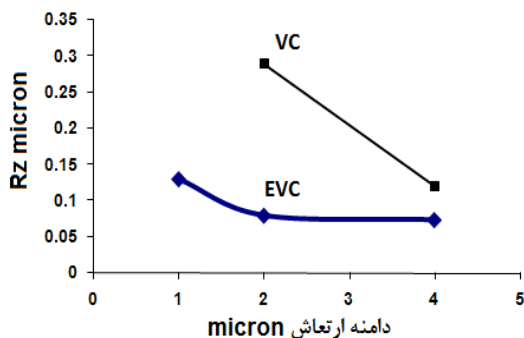
شکل ۹ تأثیر تغییر زاویه فاز حرکت ارتعاش بیضوی بر نیروی ماشین کاری

مطابق شکل (۹)، افزایش زاویه فاز تا مقدار  $90^\circ$  باعث کاهش نیروی اصلی ماشین کاری می‌شود و از  $90^\circ$  به بعد، مقدار نیروی اصلی ماشین کاری ثابت می‌ماند. از آنجایی که در فرآیند EVC، افزایش زاویه فاز از  $45^\circ$  تا  $90^\circ$ ، باعث کاهش زاویه ورودی ابزار می‌شود، نیروی لازم برای براده برداری مقداری کمتر می‌شود. ولی این کاهش زاویه از  $90^\circ$  به بعد متوقف می‌شود و در نتیجه نیروی ماشین کاری به سمت مقدار ثابتی میل می‌کند.

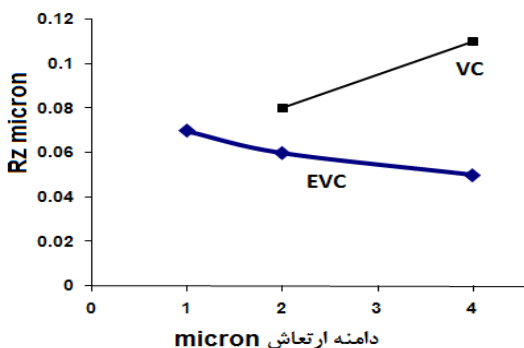
### بررسی زبری سطح

مقایسه زبری سطح در فرآیندهای VC، EVC و OC در شکل‌های (۱۰ و ۱۱) در جهت‌های پیشروی و



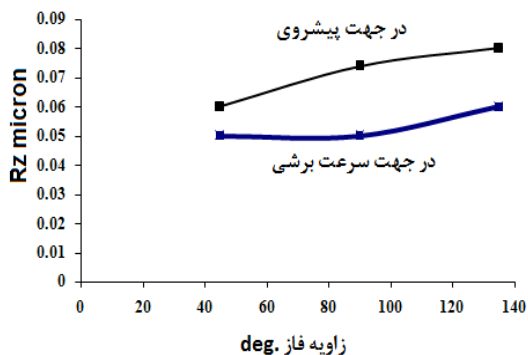


شکل ۱۴ تأثیر دامنه ارتعاش بر زبری سطح در جهت پیشروی

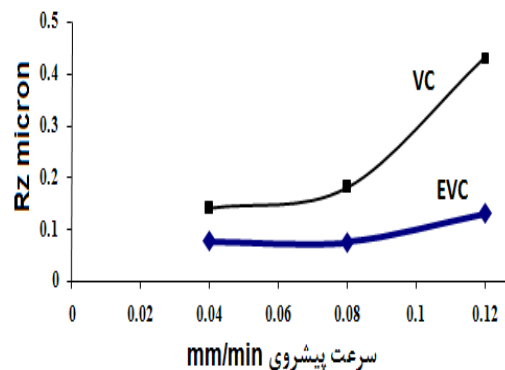


شکل ۱۵ تأثیر دامنه ارتعاش بر زبری سطح در جهت سرعت برشی

تأثیر تغییر زاویه فاز حرکت ارتعاش بیضوی در فرآیند EVC در شکل (۱۶) آورده شده است. در این آزمایش‌ها سرعت برشی  $0.3\text{m/min}$ ، دامنه ارتعاش  $4\ \mu\text{m}$  و سرعت پیشروی  $20\ \mu\text{m/rev}$  می‌باشد.

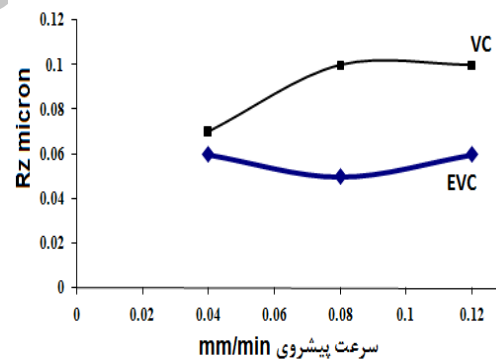


شکل ۱۶ تأثیر تغییر زاویه فاز حرکت ارتعاش بیضوی بر زبری سطح در فرآیند EVC



شکل ۱۲ تأثیر سرعت پیشروی بر زبری سطح در جهت پیشروی

مطابق شکل (۱۲) تأثیر افزایش زبری سطح با افزایش سرعت پیشروی در فرآیند EVC بیشتر است و مطابق شکل (۱۳) افزایش سرعت پیشروی تأثیر زیادی بر فرآیند EVC ندارد. تأثیر تغییر دامنه ارتعاش بر زبری سطح در شکل‌های (۱۴ و ۱۵) آورده شده است. در این آزمایش‌ها سرعت برشی  $0.3\text{m/min}$  و سرعت پیشروی  $20\ \mu\text{m/rev}$  می‌باشد.

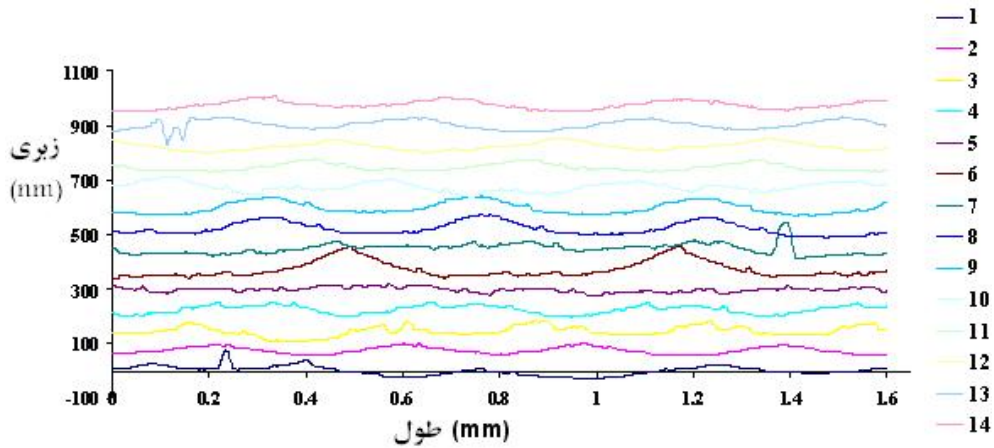


شکل ۱۳ تأثیر سرعت پیشروی بر زبری سطح در جهت سرعت برشی

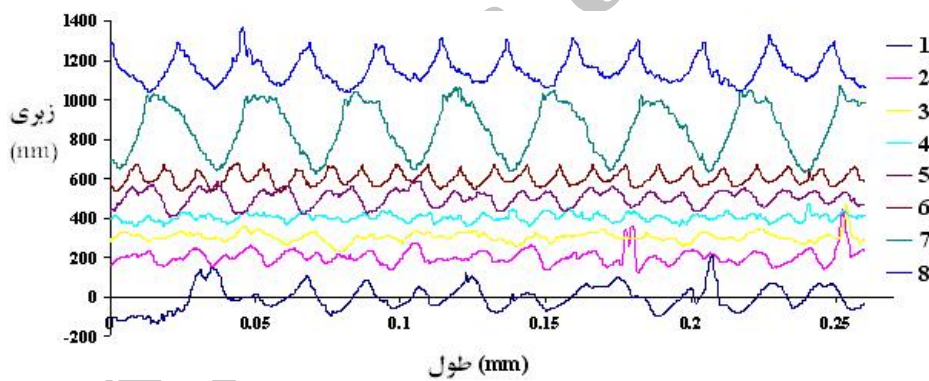
مطابق شکل (۱۴)، در فرآیند EVC افزایش دامنه ارتعاش، باعث کاهش کند زبری سطح در جهت پیشروی می‌شود؛ به طوری که به سمت مقدار ثابتی میل می‌کند. در فرآیند VC افزایش دامنه ارتعاش باعث کاهش شدید زبری سطح در جهت پیشروی می‌شود.

تأثیر زیادی بر زبری سطح در جهت برشی ندارد. شکل‌های صافی سطح اندازه‌گیری شده بر روی قطعه کار IN738 در شکل (۱۷-۱۹) آورده شده است.

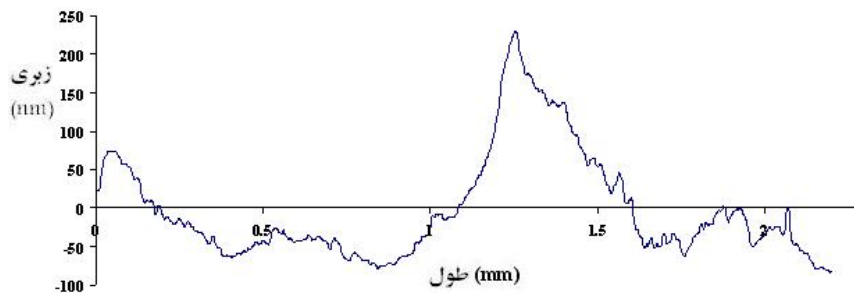
مطابق شکل (۱۶) افزایش زاویه فاز، باعث افزایش کم زبری سطح در جهت پیشروی می‌شود به طوری که به سمت مقدار ثابتی میل می‌کند و افزایش زاویه فاز،



شکل ۱۷. نمودارهای زبری سطح آزمایش‌های EVC



شکل ۱۸. نمودارهای زبری سطح آزمایش‌های VC



شکل ۱۹. نمودارهای زبری سطح آزمایش OC

ارتعاش بر نیرو و زبری سطح در فرایندها بررسی شد. در فرآیند EVC، تأثیر تغییر فاز بر نیرو و زبری بررسی گردید. از مجموعه تحقیق انجام شده نتایج زیر حاصل گردید:

- با انجام آزمایش‌ها بر روی سوپر آلیاژهای In738 نشان داده شد که کاهش نیروی ماشین‌کاری و بهبود زبری سطح به ترتیب در فرایندهای EVC، VC و OC، در مورد آلیاژ فوق نیز مورد تأیید است. نیروی ماشین‌کاری با قطعه کار In738 در فرآیند EVC کمتر از فرآیند VC و در فرآیند VC، کمتر از فرآیند OC می‌باشد. همچنین زبری سطح در فرآیند EVC کمتر از فرآیند VC و در فرآیند VC نیز کمتر از فرآیند OC به دست آمد. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان داد که فرایندهای VC و EVC بر روی قطعه کار In738 قابل اجراست و نتایجی که بر روی مواد دیگر مثل فولاد و آلومینیوم به دست آمده (کاهش نیرو و بهبود صافی سطح) بر روی سوپرآلیاژ نیز صادق است.

در شکل‌های (۱۷ و ۱۸) شماره هر زبری سطح مطابق شماره آزمایش انجام شده در جدول‌های (۱ و ۲) می‌باشد. شکل‌های فوق شرایط کمی زبری سطح هر آزمایش را به خوبی نشان می‌دهد و مقایسه تأثیر پارامترها و فرایندهای مختلف به خوبی قابل مشاهده می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، آزمایش‌ها بر روی قطعه کار سوپر آلیاژ In738 در فرایندهای EVC، VC و OC انجام شد. آزمایش‌های انجام شده بر روی قطعه کار سوپر آلیاژ In738، توسط ابزار ارتعاشی دو جهته، ماشین تراش CNC، اینسرت تراشکاری الماس تک کریستال و دینامومتر انجام شد. سپس توسط دستگاه زبری سنج، زبری سطح قطعه کار در جهات پیشروی و برشی اندازه‌گیری شد. در آزمایش‌ها، تأثیر پارامترهای ماشین‌کاری مثل سرعت برشی، پیشروی و دامنه

### مراجع

1. Shamoto, E. and Moriwaki, T., "Fundamental Study on Elliptical Vibration Cutting", *Proceeding of the 8<sup>th</sup> Annual Meeting, ASPE*, pp. 162-165, (1993).
2. Shamoto, E. and Moriwaki, T., "Study on Elliptical Vibration Cutting", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 43/1, pp. 35-38, (1994).
3. Ma, C.X., Shamoto, E., Moriwaki, T. and Wang, L., "Study of machining accuracy in ultrasonic elliptical vibration cutting", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 44, pp. 1305-1310, (2004).
4. Shamoto, E., Morimoto, Y. and Moriwaki, T., "Elliptical Vibration Cuttin (1<sup>st</sup> Report, Cutting Principle and Basic Performance) (in Japanese)", *Journal of Japanese Society Precision Engineering (JSPE)*, Vol. 62/8, pp. 1127-1131, (1996).
5. Astashev, V.K. and Babitsky, V.I., "Ultrasonic cutting as a nonlinear (vibro-impact) process", *Journal of Ultrasonics*, Vol. 36, pp. 89-96, (1998).

6. Tarng, Y.S., Kao, J.Y. and Lee, E.C., "Chatter Suppression in turning operations with a tuned vibration absorber", *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 105, pp. 55-60, (2000).
7. Babitsky, V.I., Kalashnikov, A.N. and Meadows, A., "Ultrasonically assisted turning of aviation materials", *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 132, pp. 157-167, (2003).
8. Suzuki, N., Haritani, M., Yang, J., Hino, R. and Shamoto, E., "Elliptical Vibration Cutting of Tungsten Alloy Molds for Optical Glass Parts", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 56, pp. 127-130, (2007).
9. Kumabe, J., Fuchizawa, S., Soutome, T., Soutome, Y. and Nishimoto, Y., "Ultrasonic superposition vibration cutting of ceramics", *Journal of Precision Engineering*, Vol. 11(2), pp. 71-77, (1989).
10. Shamoto, E. and Moriwaki, T., "Ultraprecision Diamond Cutting of Hardened Steel by Applying Elliptical Vibration Cutting", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 48, pp. 441-444, (1999).
11. Suzuki, N., Haritani, M., Yang, J., Hino, R. and Shamoto, E., "Elliptical Vibration Cutting of Tungsten Alloy Molds for Optical Glass Parts", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 56, pp. 127-130, (2007).