تراشكاري به كمك ارتعاش اولتراسونيک يک جهته و دو جهته بر روي قطعه‌كار *Ud500*

سعيد اميني[i]، محمد جواد ناطق[ii] ⋆

چكيده

در اين تحقيق تراشكاري ارتعاشي (VC)، تراشكاري ارتعاشي بيضوي (EVC) و تراشكاري معمولي (OC) بر روي قطعه كار Ud500 مورد آزمايش قرار گرفته است. اين آزمايش‌ها با ابزار الماس تک كريستال و دستگاه تراش CNC بسيار دقيق انجام شد و علاوه بر بررسي نتايج نيروي ماشينكاري، زبري سطح و عمر ابزار در فرايندهاي فوق با تغيير عوامل ماشينكاري شامل سرعت برشي، پيش‌روي، دامنه ارتعاش و زاويه فاز بررسي و مقايسه شد. نتايج نشان مي‌دهند كه نيروي ماشينكاري در فرايند EVC بسيار كمتر از ديگر فرايندها است. در فرايند EVC زبري سطح هم در جهت برشي و هم در جهت پيشروي كمتر از ديگر فرايندها است. هم‌چنين عمر ابزار در فرايند EVC بيشتر از ديگر فرايندها است.

كلمات كليدي : تراشكاري ارتعاشي (VC)، تراشكاري ارتعاشي بيضوي (EVC)، سوپرآلياژ 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 سال‌هاي اخير مواد آلياژي و كامپوزيتي زيادي به‌وجود آمده‌اند كه ماشينكاري بيشتر آنها با روش‌هاي سنتي بسيار مشكل است. ماشينكاري سنتي سوپرآلياژهاي پايه نيكلي و پايه تيتانيمي باعث افزايش دما و فرسايش زياد سر ابزار (حتي در سرعت‌هاي برشي پايين) مي‌شود. تقاضاي ماشينكاري چنين موادي نياز به ابداع روش‌هاي تراشكاري پيشرفته را افزايش داده است. يكي از اين روش‌ها، اضافه شدن ارتعاش اولتراسونيك به حركت‌معمولي ابزاربرشي است.

تاريخ دريافت مقاله: ۱۳۸۹/٤/۲۰
تاريخ اصلاحات مقاله: ۱۳۹۰/۷/۳
i استاديار؛ دانشگاه كاشان؛ دانشكده مهندسي؛ گروه مكانيک.
ii ⋆ نويسنده مسئول و دانشيار؛ دانشگاه تربيت مدرس؛ دانشكده مهندسي مكانيک؛ nategh@modares.ac.ir.

روش ماشينكاري به كمک ارتعاش اولتراسونيک با اعمال ارتعاش يک‌جهته و يا با ارتعاش دو جهته استفاده مي شود. در ارتعاش يک جهته ارتعاش اولتراسونيک بصورت خطي در جهت سرعت برشي اعمال مي‌شود و در ارتعاش دوجهته ارتعاش بصورت حركت دايره‌اي يا بيضوي در جهات سرعت برشي و عمق برش اعمال مي‌شود.

مطالعه فرايند VC توسط كوماب [۱] در سال ۱۹۵۸ شروع شد. او نشان داد كه نيروي برشي متناوب مزيت‌هاي زيادي از جمله كاهش نيروي برشي، جابجايي گرماي برشي و افزايش عمر ابزار را دارد [۱][۲]. مطالعه فرايند EVC توسط شاموتو [۳] در سال ۱۹۹۳ شروع شد. او نشان داد كه اعمال ارتعاش بيضوي به ابزار مزيت‌هاي بيش‌تري نسبت به ارتعاش خطي از جمله كاهش بيشتر نيروي ماشينكاري و زبري سطح را دارد [۴][۵][۶]. ماشينكاري به كمک ارتعاش اولتراسونيک روش پيشرفته و مناسبي براي ماشينكاري مواد سخت‌برش از قبيل سوپرآلياژ، سراميک، تنگستن و شيشه است[۷][۸][۹][۱۰].

در تحقيقات قبلي توسط نويسنگان مقاله حاضر[۱۱] [۱۲] مطالعه فرايند ها توسط روش اجزاء محدود انجام شده است. در اين تحقيقات فرايندهاي EVC، VC و OC توسط روش اجزاء محدود شبيه‌سازي شد و نحوه درگيري ابزار و قطعه كار مورد مطالعه قرار گرفت و اثر تغيير عوامل ماشينكاري بر نيروي ماشينكاري و زاويه برش بررسي شد. آزمايش‌هاي كاملي بر روي فولاد۱,۱۱۹۲ و آلومينيوم ۷۰۷۵ انجام شده و تحليل آماري بر روي نيروي ماشينكاري و زبري سطح انجام شد و طرح نيرو و زبري سطح به‌دست آمد [۱۳][۱۴].

در اين تحقيق به بررسي ماشينكاري سوپر آلياژ Ud500 در فرايندهاي EVC، VC و OC پرداخته مي‌شود. نيروي ماشينكاري توسط دينامومتر و زبري سطح درجهت‌هاي برشي و پيشروي با زبري‌سنج اندازه‌گيري شد. با تغيير عوامل ماشينكاري شامل سرعت برشي، پيشروي، دامنه ارتعاش و زاويه فاز ، تاثير تغيير اين عوامل بر نيروي ماشينكاري و زبري سطح در فرايندهاي EVC و VC بررسي شد. در ادامه آزمايش‌هاي لازم براي بررسي عمر ابزار در فرايندها انجام شد. تفاوت اين تحقيق با تحقيقات قبلي، توانايي اجراي فرايند EVC و VC بر روي سوپر آلياژ و بهبود توانايي ماشينكاري سوپر آلياژ است.

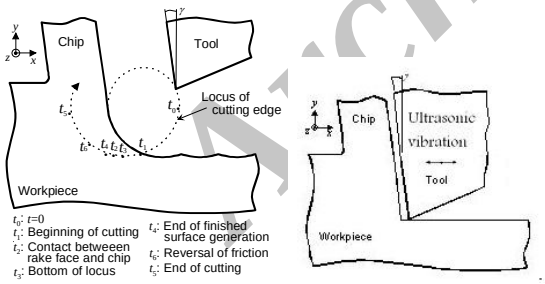
۲- فرايند هاي VC و EVC

شكل (۱) نماي كلي فرايندهاي VC و EVC را نشان مي‌دهد [۶]. در فرايند VC (شكل ۱- الف) ابزار برشي بصورت خطي در جهت سرعت برشي ارتعاش مي‌نمايد كه در اين فرايند:

$$x = a\sin(2\pi ft)\,,\text{Vibration Speed} = 2\pi fa\cos(2\pi ft) \quad (۱)$$

كه در آن x موقعيت لحظه‌اي نوک ابزار، a دامنه ارتعاش، f فركانس ارتعاش و t زمان است.

شكل (۱- ب) فرايند EVC را در زمان‌هاي مختلف نشان مي‌دهد [۶]. شروع برش در زمان t_1 است كه پس از گذشت زمان كمي تا t_2، ابزار بر سطح قطعه‌كار مي‌نشيند. در اين فاصله كوتاه ممكن است عمليات كشيدن بر روي قطعه كار يا برنيشينگ باشد و اين به علت داشتن شعاع نوک ابزار است. بعد از زمان t_2، قطعه كار برش خورده و براده شكل مي‌گيرد. t_6 زماني است كه مماس بر مسير برش، هم‌راستا با جهت برشي مي‌شود و در اين لحظه راستاي اصطكاک برعكس مي‌شود. در نزديک زمان t_6، ابزار با براده در جهت برش با هم حركت مي‌نموده بدون اين‌كه اصطكاک يک‌باره تغيير جهت دهد و اين به علت وجود الاستيسيته است. ابزار، در زمان t_5 از قطعه كار جدا مي‌شود و اين زماني است كه مماس بر منحني حركت، منطبق با سطح براده ابزار مي‌شود. نيروي اصطكاک كاهش يافته يا برعكس شده كه باعث كاهش نيروي برشي، انرژي و تمركز حرارت مي‌شود. از t_1 تا t_6 تراشكاري معمولي است و مثل ابزار ثابت، براده بر روي سطح براده ابزار حركت مي‌نمايد. اختلاف سرعت ابزار و براده مانند تراشكاري معمولي است. از t_6 تا t_5 ابزار با براده به سمت بالا حركت نموده و اختلاف سرعت ابزار و براده و جهت نيروي اصطكاک تغيير مي‌نمايد. در EVC زاويه برشي ϕ بزرگتر مي‌شود و اين باعث كاهش نيروي اصلي در جهت سرعت برشي مي‌شود [۶].



(ب) (الف)

شكل (۱): فرايندهاي الف) VC و ب)EVC [۶]

در فرايند EVC داريم:

$$x = a\sin(2\pi ft)\,,\ y = b\sin(2\pi ft+\varphi)$$
$$\text{Horizontal vibration Speed} = 2\pi fa\cos(2\pi ft) \quad (۲)$$

كه در آن a,b دامنه‌هاي ارتعاش بيضوي و φ زاويه فاز است.

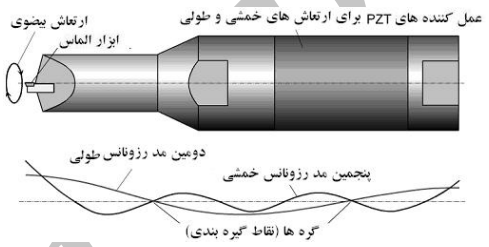
در فرايندهاي EVC و VC، حداكثر سرعت ارتعاش افقي بايستي بيشتر از سرعت برشي باشد يعني:

$$2\pi fa > v_w \qquad (۳)$$

بطوريكه v_w سرعت برشي است.

۳- طراحي و آماده‌سازي فرايندها

ابزار ارتعاشي ماشينكاري ارتعاش بيضوي است كه با طراحي حالت ارتعاش خمشي و طولي ساخته شده است. با طراحي ابزار ارتعاشي توسط نرم‌افزار انسيس و تحليل مودال و بدست آوردن بهترين شرايط حالت خمشي و طولي در فركانس مورد نظر، ابعاد و هندسه ابزار ارتعاشي بدست مي‌آيد. شكل (۲) ابزار و تداخل مود خمشي و طولي آن را نشان مي‌دهد[۱۰].



شكل (۲): ابزار ارتعاشي و تداخل حالت خمشي و طولي آن [۱۰]

شكل (۳) ابزار ارتعاشي ساخته شده به همراه سامانه هدايت آن را نشان مي‌دهد. اين ابزار داراي فركانس ارتعاشي ۳۶/۱۶KHz و دامنه صفر تا ۴ ميكرون و سامانه هدايتي با دو ژنراتور و يک هدايت‌كننده مركزي است. با هدايت هركدام از ژنراتورها يک حالت ارتعاشي تحت هدايت قرار مي‌گيرد و شكل ارتعاش موردنظر بصورت خطي، دايره‌اي و بيضوي بوجود مي‌آيد.

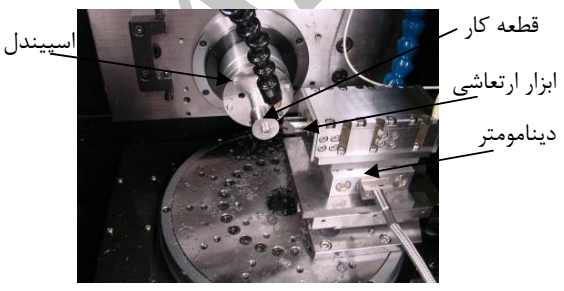
شكل (۳): ابزار ارتعاش بيضوي همراه سامانه كنترل

تجهيزات لازم براي انجام آزمايش‌ها عبارتست از:

- دستگاه تراش ۴ محوره CNC (AHN05-Toyoda Co.) با وضوح حركتي يک نانومتري براي انجام آزمايش‌هاي VC، EVC و OC
- ابزار ارتعاشي كه قابليت اعمال ارتعاش يک جهته و دو جهته را دارد، با فركانس ارتعاشي ۳۶/۱۶KHz و دامنه صفر تا ۴ ميكرون است.
- دستگاه اندازه‌گيري زبري سطح (ET4000A شركت كوساكا) براي اندازه‌گيري زبري سطح در جهت پيشروي و در جهت سرعت برشي.
- دستگاه ارتعاش‌سنج ليزري (AT0042 شركت گرافتك) براي اندازه‌گيري فركانس، دامنه و شكل ارتعاش (دايره‌اي، بيضوي و خطي) ابزار.
- دستگاه ميكروسكوپ نوري (شركت نيكون) براي ديدن و تصويربرداري سطوح ماشينكاري.
- دستگاه ميكروسكوپ الكتروني (S-3600N شركت هيتاچي) براي ديدن و تصويربرداري براده در فرايندها.
- دينامومتر با تحمل نيرويي ۲۵۰ نيوتن ساخت شركت كيستلر.
- اينسرت الماس تک كريستال با كد PF-۵۷۰۴۷ ساخت شركت آ-ال-ام-تي
- سوپر آلياژ Ud500 با قطر ۲۴ ميلي متر و طول ۲۲ ميلي متر

٤- آزمايش‌ها

پس از آماده‌سازي قطعه كار و انجام عمليات پيش-ماشينكاري بر روي آن و بستن ابزار و ديگر تجهيزات بر روي ماشين تراش CNC چهار محوره شرايط كار براي انجام آزمايش‌ها آماده شد. شكل (۴) آماده‌سازي آزمايش‌ها پس از نصب ابزار ارتعاشي و قطعه كار بر روي دستگاه تراش را نشان مي‌دهد.

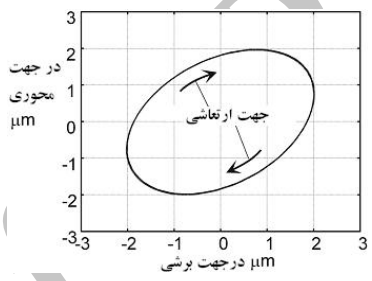


شكل (۴): آماده‌سازي آزمايش‌ها

طبق شكل ۴ ابزار ارتعاشي بر روي دينامومتر و محور B دستگاه تراش نصب شده است و زاويه ۹۰ درجه نسبت به سطح قطعه كار دارد. با هدايت ابزار ارتعاشي مي‌توان شكل

موردنظر حرکت ابزار را بصورت خطي، دايره‌اي و بيضوي بدست آورد. با اين ابزار مي‌توان هم ارتعاش يک جهته (در جهت سرعت برشي) و هم ارتعاش دو جهته (بيضوي) اعمال نمود. اين ابزار دو ژنراتور دارد که هر کدام ارتعاش را در يک جهت اعمال و کنترل مي‌نمايد. در صورتي که يک ژنراتور مشغول بکار باشد ارتعاش يک جهته، اگر دو ژنراتور مشغول بکار باشد ارتعاش دو جهته و اگر ژنراتورها خاموش باشند فرايند تراشکاري معمولي است.

حرکت‌هاي ابزار به صورت دايره‌اي و خطي و فرکانس ارتعاشي توسط دستگاه ارتعاش‌سنج ليزري بدست آمد. نمونه‌اي از نتيجه اين اندازه‌گيري در شکل (۵) آورده شده است.



شکل (۵): نمودار شکل ارتعاش ابزار ارتعاشي

تنظيمات لازم بر روي ژنراتورهاي دستگاه ابزار ارتعاشي طوري انجام مي‌شود که ارتعاش موردنظر طبق شکل (۵) ايجاد شود. اين کار با تنظيم سه کليد که دو کليد براي ارتعاش دو جهته و يک کليد براي تغييرات فاز مي‌باشد، انجام مي‌شود.

سپس شرايط آماده‌سازي آزمايش به ترتيب زير انجام شد:

- ماشينکاري اوليه بر روي قطعه کار براي بدست آوردن شرايط هندسي مناسب قطعه کار متناسب با دقت دستگاه تراش CNC
- تنظيمات بر روي دينامومتر (۲۵۰ نيوتني) براي اندازه‌گيري نيرو.
- تنظيمات بر روي ژنراتور ابزار ارتعاشي متناسب با دامنه ارتعاش و نحوه حرکت ابزار (خطي، دايره‌اي يا بيضوي)
- برنامه‌نويسي ماشين CNC براي حرکت ابزار متناسب با شرايط آزمايش.
- تنظيم دقيق مرکز ابزار با مرکز سه نظام دستگاه.

عوامل موردنظر براي انجام آزمايش‌هاي EVC و VC شامل سرعت برشي، سرعت پيشروي، عمق برش، فاز ارتعاشي و دامنه ارتعاش در جدول‌هاي ۱، ۲ و ۳ آورده شده است.

جدول (۱): پارامترهاي آزمايش EVC

شماره	سرعت برشي m/min	سرعت پيشروي $\mu m/rev$	عمق برش μm	زاويه 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): پارامترهاي آزمايش VC

شماره	سرعت برشي m/min	سرعت پيشروي $\mu m/rev$	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): پارامترهاي آزمايش ماشينکاري معمولي

شماره	سرعت برشي m/min	سرعت پيشروي $\mu m/rev$	عمق برش μm
۱	۲۸	20	۱۰

با توجه به اينکه حداکثر سرعت ارتعاشي در فرايندهاي VC و EVC طبق رابطه $2\pi fa$ حدود ۲۸ m/min مي‌شود. مقدار سرعت برشي در OC برابر با اين مقدار در نظر گرفته شده است. در انجام آزمايش OC به علت سايش شديد ابزار محدوديت در تعداد آزمايش وجود داشت. هدف نشان‌دادن تفاوت زياد نيرو در فرايند OC با ديگر فرايندهاست و درنمودارهاي بعدي فقط مقايسه فرايندهاي VC و EVC انجام شده است.

طول ماشينکاري روي قطعه کار براي هر مرحله آزمايش حدود ۰/۷ ميلي متر است و عوامل ماشينکاري توسط برنامه نويسيCNC به ماشين معرفي شد. براي آزمايش‌هايي که نياز

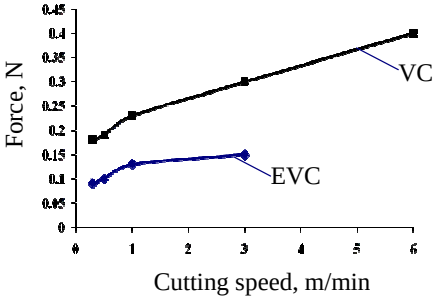
به تغییر دامنه یا فاز ارتعاشي دارند، توسط دستگاه ارتعاش-سنج ليزري شرايط تنظيم هدايت گر ابزار ارتعاشي براي بدست آوردن دامنه و شكل ارتعاشي موردنظر بدست مي‌آيد و هنگام آزمايش همان شرايط بدست آمده توسط دستگاه ارتعاش‌سنج ليزري بر روي كنترلر ابزار ارتعاشي تنظيم مي‌شود. نيروي ماشينكاري در حين آزمايش توسط ديناموتر و اسيلوسكوپ مربوطه اندازه گيري شد.

۵- نتايج آزمايش‌ها

پس از انجام آزمايش‌ها و بدست آوردن داده‌هاي خام، نيروهاي ماشينكاري آزمايش‌ها توسط برنامه‌اي كه با نرم افزار مطلب نوشته شده، بدست آمد. سپس توسط دستگاه اندازه‌گيري زبري، زبري سطح (در جهت هاي سرعت برشي و پيشروي) مناطق آزمايش شده از قطعه كار اندازه‌گيري شد. با منظم نمودن نتايج آزمايش و بدست آوردن نمودارهاي مربوطه، نتايج آزمايش به شرح زير به‌دست آمد:

۵-۱- بررسي نيروي ماشينكاري

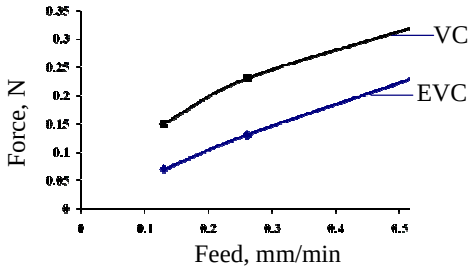
مقايسه نيرو در فرايندهاي EVC و VC در شكل (۶) آورده شد. در اين آزمايش‌ها سرعت پيشروي $20\ \mu m/rev$ و دامنه ارتعاش ۴ ميكرون است.



شكل (٦): مقايسه نيرو در EVC و VC

در ماشينكاري معمولي نيروي اصلي ۵ نيوتن اندازه گيري شد. مطابق شكل (۶) و نيروي به‌دست آمده از ماشينكاري معمولي، نيروي ماشينكاري به ترتيب در فرايندهاي EVC، VC و OC كمتر است. افزايش سرعت برشي باعث افزايش نيروي ماشينكاري در فرايندهاي EVC و VC مي‌شود و علت آن افزايش زمان درگيري ابزار با قطعه‌كار است.

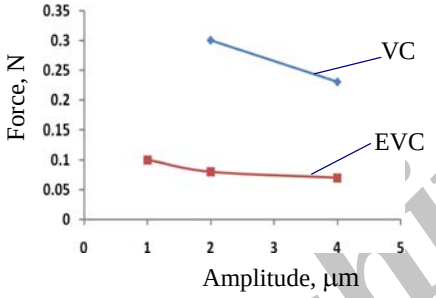
شكل (۷) اثر سرعت پيشروي را بر نيروي ماشينكاري در فرايندهاي EVC و VC نشان مي‌دهد. در اين آزمايش‌ها سرعت برشي ۰/۳ m/min و دامنه ارتعاش ۴ ميكرون است.



شكل (۷): اثر سرعت پيشروي بر نيروي ماشينكاري در فرايندهاي EVC و VC (سرعت برشي ۰/۳m/min و دامنه ارتعاش ٤ ميكرون)

طبق شكل (۷)، افزايش سرعت پيشروي باعث افزايش نيروي ماشينكاري در فرايندها مي‌شود كه بر اساس مكانيک برش فلز، افزايش سرعت پيشروي سطح، درگيري ابزار و قطعه كار را زياد نموده و در نتيجه نيروي ماشينكاري را افزايش مي‌دهد.

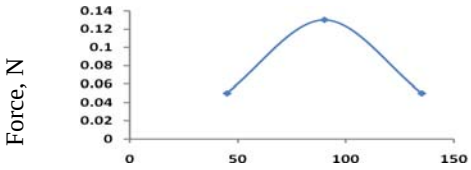
شكل ۸ اثر تغيير دامنه ارتعاش بر نيروي ماشينكاري را در فرايندهاي EVC و VC نشان مي‌دهد. در اين آزمايش‌ها سرعت برشي ۱m/min و سرعت پيشروي $20\ \mu m/rev$ است.



شكل (۸): اثرتغيير دامنه ارتعاش بر نيروي ماشينكاري در فرايندهاي EVC و VC (سرعت برشي ۱m/min و سرعت پيشروي ($20\ \mu m/rev$)

طبق شكل (۸) افزايش دامنه ارتعاش باعث كاهش نيروي ماشينكاري مي شود و اين بعلت آن است كه افزايش دامنه ارتعاش، زمان درگيري بين ابزار و قطعه كار را كاهش داده و در نتيجه نيروي ماشينكاري كاهش مي‌يابد.

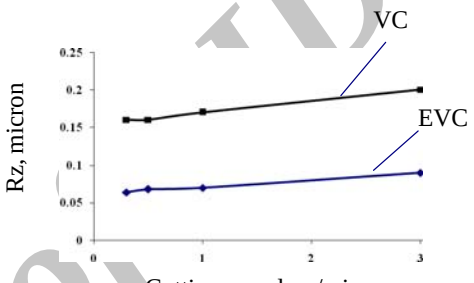
شكل (۹) اثر تغيير زاويه فاز حركت ارتعاش بيضوي را بر نيروي ماشينكاري نشان مي‌دهد. در اين آزمايش‌ها سرعت برشي ۱m/min، دامنه ارتعاش ۴ ميكرون و سرعت پيشروي $20\ \mu m/rev$ است.



شکل(۹):تاثیرتغییرزاویه فازحرکت ارتعاش بیضوي برنیروي ماشینکاري (سرعت برشي ۱m/min و دامنه ارتعاش ۴ میکرون)

۲-۵- بررسي زبري سطح

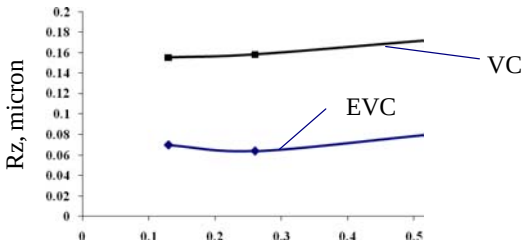
مقایسه زبري سطح در فرایند هاي EVC، VC و OC در شکل‌هاي (۱۰) و (۱۱) در جهت‌هاي پیشروي و سرعت برشي آورده شده است. در این آزمایش‌ها سرعت پیشروي $\mu m / rev$ ۲۰، دامنه ارتعاش ۴ میکرون است.



شکل (۱۰): مقایسه زبري سطح در فرایندها

(سرعت پیشروي $\mu m / rev$ ۲۰ و دامنه ارتعاش ۴ میکرون)

مقدار زبري سطح در فرایند OC، μm ۰/۷ اندازه‌گیري شد. طبق شکل (۱۰) زبري سطح به ترتیب در فرایندهاي EVC، VC و OC کمتر است. و این به علت اثر فرایند تراشکاري ارتعاشي بر زبري سطح است که بر اساس روابط تئوري آن باعث پایداري بیشتر فرایند تراشکاري و در نتیجه کاهش زبري سطح مي‌شود. اثر سرعت پیشروي بر زبري سطح در فرایندهاي EVC و VC در شکل (۱۱) آورده شده است. در این آزمایش‌ها سرعت برشي ۱m/min و دامنه ارتعاش میکرون است.

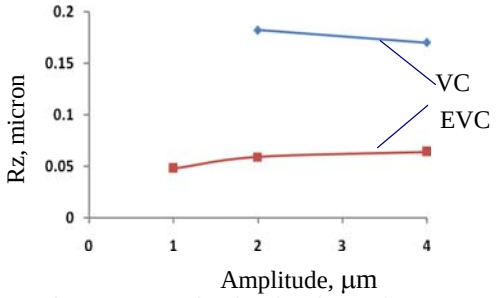


شکل (۱۱): اثر سرعت پیشروي بر زبري سطح

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

طبق شکل (۱۱) با افزایش سرعت پیشروي، زبري سطح در فرایندهاي EVC و VC افزایش مي‌یابد. علت این موضوع آن است که با افزایش سرعت برشي درگیري بین ابزار و قطعه کار بیشتر شده و فرایند به سمت تراشکاري معمولي سوق مي‌یابد و در نتیجه زبري سطح بیشتر مي‌شود.

اثر تغییر دامنه ارتعاش بر زبري سطح در شکل (۱۲) آورده شده است. در این آزمایش سرعت برشي ۱m/min و سرعت پیشروي $\mu m / rev$ ۲۰ است.

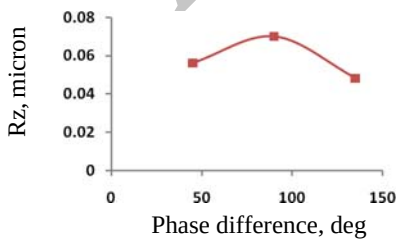


شکل (۱۲): اثر دامنه ارتعاش بر زبري سطح

(سرعت برشي ۱m/min و سرعت پیشروي $\mu m / rev$ ۲۰)

طبق شکل (۱۲)، در فرایند EVC افزایش دامنه ارتعاش باعث افزایش زبري سطح مي‌شود و به سمت مقدار ثابتي میل مي‌نماید و در فرایند VC افزایش دامنه ارتعاش باعث کاهش زبري سطح مي‌شود. این بدان علت است که در فرایند VC با افزایش دامنه ارتعاش درگیري بین ابزار و قطعه کار کمتر مي‌شود و در فرایند EVC با افزایش دامنه ارتعاش دامنه عمودي نیز افزایش مي‌یابد که باعث اثر خنثي‌کننده دامنه افقي دارد که باعث افزایش زبري مي شود و در پایان اثر آنها در دامنه‌هاي بالاتر با هم همپوشاني دارند و زبري سطح به مقدار ثابتي مي‌رسد.

اثر تغییر زاویه فاز حرکت ارتعاش بیضوي در فرایند EVC در شکل (۱۳) آورده شده است. در این آزمایش‌ها سرعت برشي ۱m/min و دامنه ارتعاش ۴ میکرون و سرعت پیشروي $\mu m / rev$ ۲۰ است.



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

طبق شکل (۱۳) افزايش زاويه فاز باعث افزايش زبري سطح مي‌شود و پس از زاويه ۹۰ درجه، زبري سطح کاهش مي‌يابد. در حالتي که زاويه ۹۰ درجه، فاز حالت ارتعاش دايره‌اي است که شرايط زبري سطح حداکثري را حاصل مي دهد. در ديگر شرايط زاويه فاز چون ارتعاش بصورت بيضوي است زبري نسبت به حالت ارتعاش دايره اي کمتر است.

شکل ۱۴ تصاوير براده در فرايندهايي که توسط دستگاه ميکروسکوپ الکتروني گرفته شده است، را نشان مي‌دهد.

(ج) (ب) (الف)

شکل (۱۴): تصوير براده در فرايند الف) EVC، ب)VC و ج)CT

پارامترهاي ماشينکاري در شکل (۱۴الف) مطابق شماره آزمايش ۲ در جدول (۱) است و عوامل ماشينکاري در شکل (۱۴ب) طبق شماره آزمايش ۲ در جدول (۲) است و عوامل ماشينکاري در شکل (۱۴ج) طبق جدول (۳) است. با توجه به شکل (۱۴) براده در فرايندهاي EVC و VC بلندتر از فرايند OC است. علت بلندتر شدن طول براده در فرايند EVC، افزايش زاويه برش (مطابق مکانيک برش در اين فرايند) است افزايش زاويه برش باعث بلندتر و پيوسته شدن براده مي‌شود. به همين نسبت طول براده در فرايند VC بلندتر از فرايند OC است.

۵-۳- عمر ابزار

عمر ابزار يکي از مهم‌ترين عوامل اقتصادي در ماشينکاري است که بستگي به سايش ابزار دارد. براي بررسي عمر ابزار ماشينکاري به کمک ارتعاش بيضوي و مقايسه آن با ماشينکاري معمولي شرايط زير در نظر گرفته شد:

۱- در ماشينکاري به کمک ارتعاش بيضوي و ماشينکاري معمولي، حين عمليات ماشينکاري، نيروهاي ماشينکاري اندازه-گيري شد.

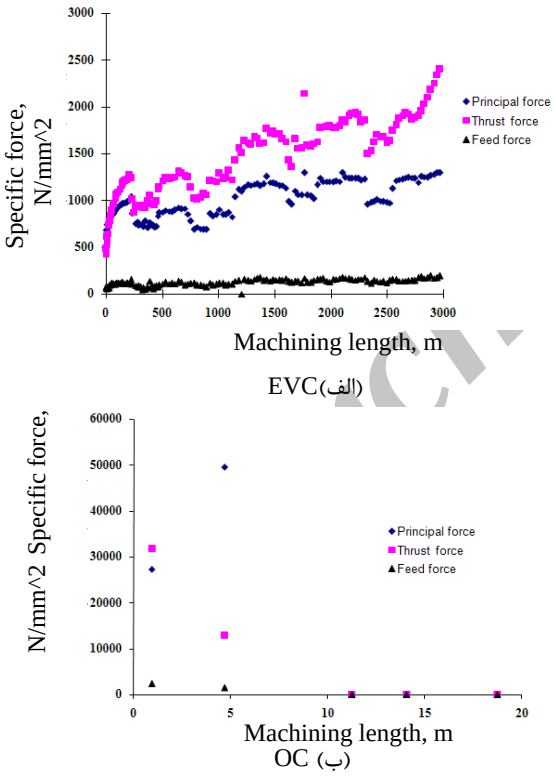
۲- پس از اتمام ماشينکاري، زبري سطوح ماشينکاري شده اندازه‌گيري شد.

۳- از ابزار (الماس تک کريستال) تصوير گرفته شد تا ميزان سايش ابزار مشخص شود.

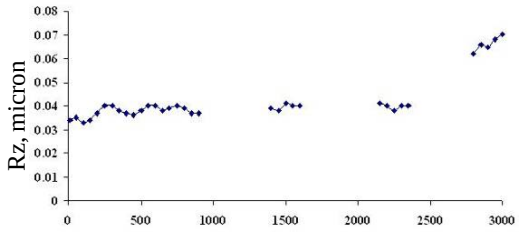
مشخصات ماشينکاري آزمايش عمر ابزار: سرعت برشي ۱m/min، پيشروي $\mu m/rev$ ۱۰ و عمق برش μm ۱۰

شکل ۱۵ نتايج فشار مخصوص ماشينکاري، شکل (۱۶) زبري سطح آزمايش را بر اساس طول ماشينکاري وشکل ۱۷ لبه ابزار برشي استفاده شده را در فرايندهاي EVC و OC نشان مي‌دهد. فشار مخصوص از تقسيم نيروي ماشينکاري بر سطح مقطع براده تغييرشکل‌نيافته بدست مي‌آيد.

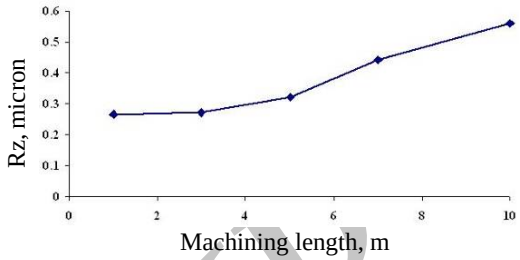
مطابق شکل ۱۵-الف نيروي اصلي ماشينکاري در EVC تا طول ۲۷۰۰ متر به طور تقريب ثابت است و نيروي محوري در EVC در ابتداي ماشينکاري افزايشي جهشي (به علت سايش اوليه ابزار) دارد و سپس تا طول ۲۷۰۰ متر با شيب خيلي کمي افزايش مي‌يابد و پس از طول ۲۷۰۰ متر افزايش آن با شيب تندتري مي‌شود. طبق شکل (۱۸-ب) نيروي ماشينکاري در فرايند OC در چند متر اول آزمايش سريع بالا مي‌رود که نشان مي‌دهد که در ابزار سايش شديدي ايجاد شده است. شکل‌هاي (۱۶-الف) و (۱۶-ب) نيز نشان مي‌دهند که در فرايند EVC زبري سطح تا ۲۷۰۰ متر ثابت بوده و پس از آن زبري سطح با شيب بيشتري افزايش مي‌يابد و در فرايند OC زبري سطح در چند متر اوليه شيب تندي در جهت افزايش دارد. طبق شکل (۱۷- الف و ب) سايش ابزار در OC بسيار بيشتر از فرايند EVC است.



شکل (۱۵): فشار مخصوص ماشينکاري در آزمايش عمر ابزار

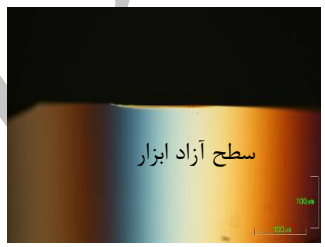


(الف)EVC



(ب)OC

شكل (۱۶): زبري سطح آزمايش عمر ابزار



(الف)

(ب)

شكل (۱۷) : لبه ابزار برشي در فرايند (الف)EVC بعد از۳۰۰۰ متر ماشينكاري ب) OC بعد از ۱۰ متر ماشينكاري

۶- نتيجه‌گيري و جمع‌بندي

در اين تحقيق آزمايش‌هايي بر روي سوپرآلياژ Ud500، با ابزار ارتعاشي دو جهته، ماشين تراش CNC و اينسرت تراشكاري الماس تك‌كريستال انجام شد. اثر عوامل ماشينكاري مثل سرعت برشي، پيشروي و دامنه ارتعاش بر نيرو و زبري سطح در فرايندها بررسي شد. در فرايند EVC اثر تغيير فاز بر نيرو و زبري نيز بررسي شد. هم‌چنين آزمايش‌هاي عمر ابزار در فرايندهاي EVC و OC انجام شد. از مجموعه بررسي‌هاي انجام‌شده نتايج زير به‌دست آمد:

كاهش نيروي ماشينكاري و بهبود زبري سطح به ترتيب در فرايندهاي EVC، VC و OC، در آلياژ Ud500 نيز مورد تاييد است. نيروي ماشينكاري با Ud500 در فرايند EVC بطور متوسط نصف فرايند VC و در فرايند VC، $\frac{۱}{۲}$ فرايند OC حاصل شد. همچنين زبري سطح بطور متوسط در فرايند EVC $\frac{۱}{۳}$، فرايند VC و در فرايند VC نيز $\frac{۱}{۵}$ فرايند OC بدست آمد. در فرايند EVC وVC افزايش سرعت برشي تا حدي باعث افزايش نيروي ماشينكاري مي‌شود. افزايش نرخ پيشروي نيز باعث افزايش نيروي ماشينكاري در فرايندهاي EVC و VC مي‌شود كه البته در مكانيک تراش نيز اين موضوع تاييد مي-شود. افزايش دامنه ارتعاش در فرايند EVC وVC باعث كاهش نيروي ماشينكاري مي‌شود.

نتايج آزمايش‌هاي انجام شده نشان داد كه فرايندهاي VC و EVC بر روي قطعه كار Ud500 قابل اجراست و نتايجي كه بر روي مواد ديگر مثل فولاد و آلومينيوم بدست آمده (كاهش نيرو و بهبود صافي سطح) بر روي سوپرآلياژفوق نيز صادق است. در آزمايش‌هاي زبري مشخص شد كه زبري سطح در جهت‌هاي برشي و پيشروي به ترتيب در فرايندهاي CT، VC و EVC كمتر است. افزايش سرعت برشي باعث افزايش زبري سطح در فرايندهاي EVC و VC مي‌شود. در فرايند EVC افزايش زاويه فاز تا ۹۰° باعث افزايش زبري سطح مي‌شود و پس از آن از زبري سطح كاسته مي‌شود.

با انجام آزمايش عمر ابزار در فرايندهاي EVC و OC بر روي سوپر آلياژ نشان داده شد كه عمر ابزار در فرايند EVC بهتر از فرايند OC است به خصوص در مورد سوپر آلياژ با ابزار الماس تك‌كريستال تاييد شد كه عمر ابزار در فرايند EVC حداقل ۶۰۰ برابر بهتر از فرايند OC است. اين نتيجه نشان داد كه بهترين روش براي ماشينكاري سوپر آلياژ با عمر طولاني ابزار استفاده از فرايند EVC است.

۷- تقدير و تشكر

نويسندگان لازم مي دانند از پروفسور شاموتو به دليل استفاده از آزمايشگاه ايشان تشكر نمايند.

۸ - مراجع

[۱] Kumabe, J.;Masuko, M.; " Study on the ultrasonic cutting (1st report)" Trns.JSME. Vol.24, p.p. 109-114, 1958, 109-114 (in Japanese).

[۲] Kumabe, J.; Fundamentals and applications of vibration cutting, Jikkyo publishing, Tokyo, 1979 (in Japanese).

[۳] Shamoto, E; Moriwaki, T.; Fundamental Study on Elliptical Vibration Cutting. Proc. of the 8th Annual Meeting, ASPE, p.p. 162-165, 1993.

[۴] 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.

[۵] Shamoto, E; Moriwaki, T.; Study on Elliptical Vibration Cutting, Ann. CIRP, Vol. 43/1, p.p. 35-38, 1994.

[۶] 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).

[۷] 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.

[۸] 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.

[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.