



## ابزار چرخان ارتعاشی در فرایند تراشکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک

نصیرالدین محققیان<sup>۱</sup>، سعید امینی<sup>۲\*</sup>

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

۲- استادیار مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان، کاشان

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

## چکیده

## اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۲۸ خرداد ۱۳۹۲

پذیرش: ۰۲ مرداد ۱۳۹۲

ارائه در سایت: ۲۴ دی ۱۳۹۲

کلید واژگان:

ابزار چرخان ارتعاشی

ارتعاش اولتراسونیک

نیروهای ماشینکاری

زبری سطح، تراشکاری

در این مقاله به طراحی، ساخت ابزار چرخان ارتعاشی و انجام آزمایش‌ها در فرایند تراشکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک پرداخته می‌شود. ابزار چرخان ارتعاشی ترکیبی از ابزار چرخان تراشکاری و تراشکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک می‌باشد. این ابزار در حین تراشکاری چرخانده و توسط مولد امواج اولتراسونیک به همراه ترانسدیوسر ۲۰ کیلو هرتز در جهت سرعت برشی مرتعش می‌شود. برای ارتعاش ابزار، یک هورن از جنس فولاد ضدزنگ با فرکانس تشدید ۲۰۶۱۸ هرتز توسط نرم‌افزار آباکوس تحلیل و سپس ساخته شد. اینسرت مورد استفاده در این ابزار از نوع گرد با قطر ۱۰ میلی‌متر می‌باشد. برای چرخش ابزار از یک موتور الکتریکی و چرخ زنجیر استفاده شد. قید و بند برای مونتاژ قطعات طوری طراحی شد که بتوان آن را بر روی دستگاه تراش نصب کرد. پس از طراحی و ساخت ابزار آزمایش‌هایی برای بررسی نیروهای ماشینکاری و زبری سطح قطعه تراشیده شده با این ابزار انجام و مقایسه آن با ابزار چرخان معمولی بر روی آلومینیوم ۷۰۷۵ انجام شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که ارتعاش اولتراسونیک در این فرایند باعث کاهش نیروهای ماشینکاری و بهبود کیفیت سطح می‌شود.

## Rotary vibration tool in ultrasonic vibration-assisted turning process

Nasroddin Mohagheghian<sup>1</sup>, Saeid Amini<sup>2\*</sup>

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

2- Department of Mechanical Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran

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

## ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper  
Received in Revised Form 18 June 2013  
Accepted 24 July 2013  
Available Online 14 January 2014

## Keywords:

Rotary Vibration Tool  
Ultrasonic Vibration  
Machining Forces  
Surface Roughness  
Turning

## ABSTRACT

In this paper an innovative vibration rotary tool was designed and manufactured. Vibration turning tool is a compound of turning rotary tool and ultrasonic assistant turning. In this tool, an ultrasonic wave generator with power equal to 20 KHz transducer that has a rotational motion during the process was used. For tool vibration, a stainless horn with resonance frequency equal to 20618 Hz, were designed and manufactured. Round insert with 10 millimeter diameter were used. One of the most important key points in this setup is that the simultaneous rotation and vibration has to be achieved. For rotational motion a motor power and a rack and pinion were used. Also a structure with ability to mount on turning machine were designed and manufactured. Cutting force and surface roughness for each experiment were measured and compared with data collected from conventional rotary tool on 7075 aluminum material. Results shows that ultrasonic vibration cause decreasing in cutting tools and surface roughness, tremendously.

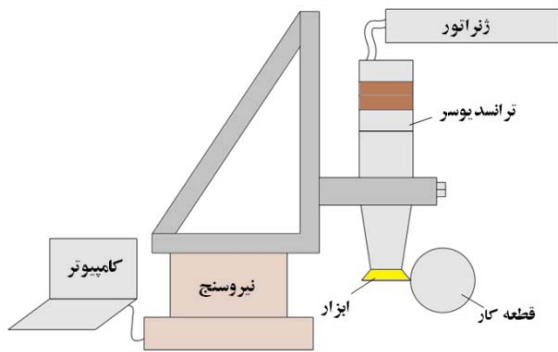
## ۱- مقدمه

همکارانش بر روی سایش ابزار چرخان کاربردی در تراشکاری نوعی کامپوزیت<sup>۱</sup> تحقیق کردند [۲]. نتیجه آنکه با افزایش سرعت برشی و سرعت پیشروی و زاویه ابزار مقدار سایش ابزار افزایش می‌یابد. در سال ۲۰۰۲، لی و همکارانش بر روی ماشینکاری با سرعت بالا بر روی آلیاژهای تیتانیوم با استفاده از ابزار چرخان تحقیق کردند [۳]. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که، با افزایش زمان برش، مقدار نیروها در ابزار چرخان مقداری کمتر از نیروها در حالت ابزار ثابت هستند.

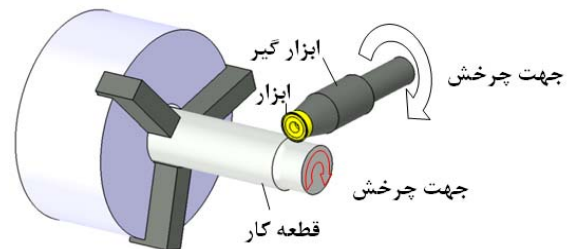
در سال ۲۰۰۴، کیشاوی و همکارانش بر روی عملکرد ابزار و کیفیت سطح در طول تراشکاری آلیاژ تیتانیوم، با استفاده از ابزار خودچرخان، تحقیق کردند [۴].

نحوه حرکت نسبی بین ابزار و قطعه کار می‌تواند توانایی برش را تغییر دهد. استفاده از ابزار چرخان در فرایند تراشکاری یکی از روش‌های ماشینکاری است که حرکت نسبی بین ابزار و قطعه کار، علاوه بر حرکت برشی، حرکت چرخان هم دارد. شکل ۱ نمای کلی ابزار چرخان در فرایند تراشکاری را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۱، ابزار شامل یک اینسرت گرد می‌باشد که همزمان با گردش قطعه کار می‌چرخد. چرخش ابزار در این روش باعث افزایش عمر ابزار می‌شود که علت آن خنک‌شدن ابزار در هنگام چرخش می‌باشد، اما زبری سطح با چرخش ابزار افزایش می‌یابد [۱].

در این مورد تحقیقات متعددی انجام شده است. در سال ۱۹۹۹ جوشی و



شکل ۲ تراشکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک



شکل ۱ نمای کلی ابزار چرخان

شکل براده‌ها در روش تراشکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک ملایم‌تر از روش تراشکاری معمولی می‌باشد. در سال ۲۰۱۱ ژانگ و همکارانش یک مطالعه تجربی روی تراش اولتراسونیک بیضوی<sup>۴</sup> فولاد سخت با استفاده از ابزار الماسه چندکریستاله انجام دادند [۱۳]. در این تحقیق نشان داده شد که با افزایش مقدار سرعت برش و عمق برش مقدار نیرو زیاد می‌شود، ولی با افزایش مقدار سرعت پیشروی نیروی مماسی افزایش و نیروی محوری کاهش می‌یابد. نویسنده اصلی مقاله در تحقیق‌های قبلی خود، با استفاده از ابزار تک‌لبه تراشکاری و ارتعاش آن در یک جهت و دو جهت، فرایند تراشکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک را مورد تحقیق قرار داده است. در این تحقیق‌ها، تحلیل اجزاء محدود تراشکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک [۱۰]، مدل آماری نیرو برای تراشکاری به کمک ارتعاشات اولتراسونیک با به‌دست آوردن پارامترهای موثر [۱۲-۱۴]، تراشکاری ارتعاشی با اولتراسونیک یک‌جهته و بیضوی بر روی قطعه کار اینکونل ۷۳۸ [۱۵] و تحلیل اجزاء محدود و آزمایش در فرایند ماشینکاری با ارتعاش اولتراسونیک یک‌جهته و بیضوی بر روی قطعه کار اینکونل ۷۳۸ بررسی شدند [۱۶].

مطابق تحقیق‌های انجام شده، بررسی فرایند ماشینکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک بر روی ابزار تک‌لبه تراشکاری انجام شده است، ولی استفاده از فرایند اولتراسونیک بر روی ابزار گرد چرخان در تحقیق‌های قبلی انجام نشده است و یک نوآوری در فرایند تراشکاری به حساب می‌آید. در این تحقیق، طراحی و ساخت ابزار چرخان ارتعاشی و بررسی و مقایسه نیروها و زبری سطح در تراشکاری به‌وسیله ابزار گرد چرخان انجام می‌شود. برای اعمال ارتعاش به ابزار، از یک ژنراتور تولید جریان الکتریسیته به‌صورت فرکانسی و یک ترانسدیوسر طولی استفاده شد. برای انتقال ارتعاش تولید شده توسط این دستگاه یک قطعه متمرکزکننده مطابق با ابزار گرد طراحی شد. هورنی از جنس استیل و با فرکانس طولی ۲۰۶۱۸ هرتز طراحی و ساخته شد. پس از آن به طراحی ابزار چرخان پرداخته شد. برای این منظور، از یک سیستم یاتاقان‌بندی و گیربندی مناسب استفاده شد. با آماده‌سازی فرایند، آزمایش‌ها بر روی قطعه کار آلومینیومی انجام و نتایج آزمایش شامل نیرو و زبری سطح به‌دست آمد.

## ۲- طراحی ابزار ارتعاشی چرخان

در ابزار ارتعاشی چرخان<sup>۵</sup>، ابزار برشی شامل یک اینسرت گرد می‌باشد، که بر روی ابزارگیر مخصوص خود بسته می‌شود. این ابزار حین تراشکاری می‌چرخد و همچنین در حین چرخش در راستای سرعت برشی ارتعاش دارد (شکل ۳). در ابزار چرخان معمولی فقط نیاز است که ابزار با دقت خوبی بچرخد، اما در ابزار چرخان ارتعاشی، ابزار، علاوه بر چرخش، ارتعاش نیز دارد.

نتایج نشان‌دهنده بهبود کیفیت سطح و عمر ابزار در فرایند تراشکاری با ابزار چرخان است. در سال ۲۰۰۶، کیشاوی و همکارانش بر روی پیشگویی جهت جریان براده در طول ماشینکاری با ابزار خودچرخان تحقیق کردند [۵]. نتایج نشان داد که زاویه مطلق جریان براده با افزایش سرعت پیشروی حدود ۱۰ درصد تغییر می‌کند و بین ۲۲/۶ تا ۲۶/۶ درجه می‌باشد. ساساهارا و همکارانش در سال ۲۰۰۸ بر روی تراشکاری با سرعت بالا و با ابزار چرخان بر روی اینکونل ۷۱۸ و با دستگاه تراش چندکاره تحقیق کردند [۶]. دمای سطح براده، در زمان تراشکاری با ابزار چرخان، ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. همچنین، مقدار سایش ابزار اندازه‌گیری شد، که مقدار آن نسبت به حالت ابزار ثابت کمتر می‌باشد. در سال ۲۰۰۹ اسماعیلی و همکارانش بر روی بهینه‌سازی پارامترهای ماشینکاری ابزار تراشکاری خودچرخان بر روی آلومینیوم، با استفاده از روش تاگوچی، تحقیق کردند [۷]. آن‌ها بر روی فاکتورهای موثر در بهبود صافی سطح تحقیق کردند. تحلیل آزمایش‌ها را با روش S/N انجام شده و مقادیر بهینه پارامترهای ماشینکاری شامل سرعت پیشروی، عمق تراش و سرعت چرخش ابزار به‌دست آمد. در سال ۲۰۱۱، کیشاوی و همکارانش در مورد مدلسازی سایش ابزار در هنگام تراشکاری با ابزار خودچرخان بر روی فولاد<sup>۱</sup> تحقیق کردند [۸]. نتیجه آنکه ابزار خودچرخان پس از ۱۰۰۰۰ متر طول برش به اندازه ۰/۳ میلی‌متر سایش می‌یابد، در حالی که ابزار معمولی پس از حدود ۱۰۰۰ متر طول برش به اندازه ۰/۳ میلی‌متر سایش می‌یابد.

امروزه، با پیشرفت مواد جدید، روش‌های جدیدی برای ماشینکاری این گونه مواد ابداع گردیده است. یکی از این روش‌ها، تراشکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک می‌باشد (شکل ۲).

در این روش، ابزار تراشکاری توسط عمل‌کننده پیزوالکتریک (که ارتعاش اولتراسونیک با دامنه کم ایجاد می‌کند) به‌ارتعاش درمی‌آید. این سیستم شامل یک ژنراتور مولد الکتریسیته به‌صورت فرکانسی و یک ترانسدیوسر می‌باشد، که با داشتن مجموعه پیزوالکتریک جریان فرکانسی به ارتعاش مکانیکی تبدیل می‌شود. در این فرایند، با توجه به قطع و وصل شدن تماس ابزار با قطعه کار در حین عملیات تراشکاری، نیروهای ماشینکاری و دمای ابزار، نسبت به ماشینکاری سنتی، کاهش می‌یابد که از ویژگی‌های این روش می‌باشد. از دیگر مزیت‌های این روش افزایش عمر ابزار، افزایش دقت ابعادی، افزایش صافی سطح قطعات، امکان تراشکاری مواد سخت‌برش با ابزارهای ساده‌تر و غیره می‌باشد [۹، ۱۰]. در این مورد نیز تحقیقات متعددی انجام شده است. در سال ۲۰۰۷ چاندرارحمان و همکارانش در مورد تراشکاری فولاد کم‌آلیاژ<sup>۲</sup> به کمک اولتراسونیک<sup>۳</sup> تحقیق کردند [۱۱]. نیروی برش و زبری سطح در روش تراشکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک کمتر است.

1- AISI 4340  
2- DF2  
3- Ultrasonic vibration cutting

4- Ultrasonic elliptical vibration cutting  
5- Vibration rotary turning

جدول ۱ خواص مکانیکی هورن طراحی شده با فرکانس ۲۰۶۱۸ هرتز و دیگر اجزاء آن

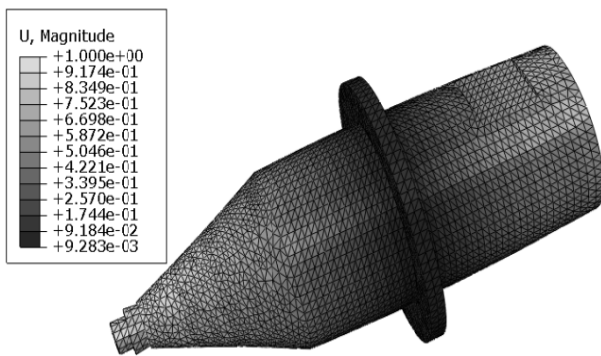
نام قطعه	جنس	چگالی (kg/m <sup>3</sup> )	مدول الاستیسیته (GPa)	ضریب پواسون
هورن	استیل	۸۰۰۰	۱۹۳	۰/۲۹
ابزار	تنگستن کارباید	۱۴۰۰۰	۸۰۰	۰/۲
پیچ	فولاد	۶۵۰۰	۲۰۰	۰/۳

پس از اتمام تحلیل تعدادی مود فرکانسی به دست آمد که باید اولاً این مودها مود طولی باشند، دوماً فرکانس ارتعاش آن‌ها در حد ۲۰ کیلو هرتز باشد. پس از تحلیل‌های اجزاء محدود متعدد و تغییر ابعاد و ابزارها نتیجه مطلوب به دست آمد.

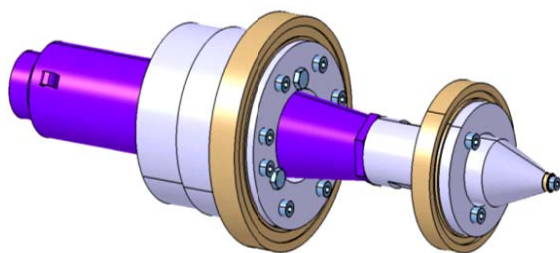
هورن مورد نظر از جنس فولاد ضدزنگ ۳۰۴ و ابزار گرد (با قطر ۱۰ میلی‌متر) می‌باشد. پس از اتمام تحلیل فرکانس طولی، ۲۰۶۱۸ هرتز به دست آمد که در شکل ۵ نشان داده شده است. این هورن به صورت مخروطی-استوانه‌ای می‌باشد به طوری که فلانج وسط آن در محل گره ارتعاشی است و حداکثر ارتعاش در سر هورن و در محل قرار گرفتن اینسرت می‌باشد. هورن فوق ساخته شده و توسط دستگاه ژنراتور مولد امواج اولتراسونیک تست شد که جواب مطلوبی از لحاظ فرکانس تشدید به دست آمد.

### ۲-۲- یاتاقان‌بندی ابزار

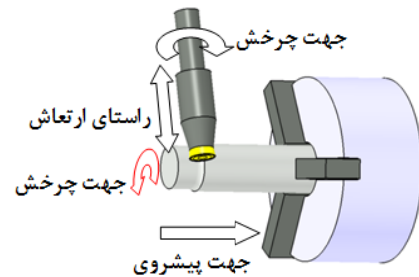
به منظور چرخش ابزار نیاز به یک سیستم یاتاقان‌بندی بود که برای این امر از دو عدد بلبرینگ شیار عمیق استفاده شد. یکی از آن‌ها برای یاتاقان‌بندی ترانسدیوسر و دیگری برای یاتاقان‌بندی هورن مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای اتصال بلبرینگ‌ها و ترانسدیوسر و هورن و جلوگیری از جدا شدن آن‌ها در حین تراشکاری در اثر نیروهای تراش از رابط هورن و ترانسدیوسر و قطعات دیگر استفاده شد. در شکل ۶ و شکل ۷ کل مجموعه ابزار و سیستم یاتاقان‌بندی به صورت مونتاژ شده و دمونتاژ نشان داده شده است.



شکل ۵ هورن طراحی شده با فرکانس ۲۰۶۱۸ هرتز از جنس استیل و با ابزار به قطر ۱۰ میلی‌متر



شکل ۶ مجموعه مونتاژ شده یاتاقان‌بندی ابزار



شکل ۳ فرایند تراشکاری چرخان ارتعاشی

بنابراین، طراحی ابزار در این فرآیند، متفاوت با ابزار چرخان معمولی می‌باشد و باید طوری طراحی شود که ارتعاش به سایر قسمت‌ها منتقل نشود.

ابزار ارتعاشی چرخان از قسمت‌های زیر تشکیل می‌شود:

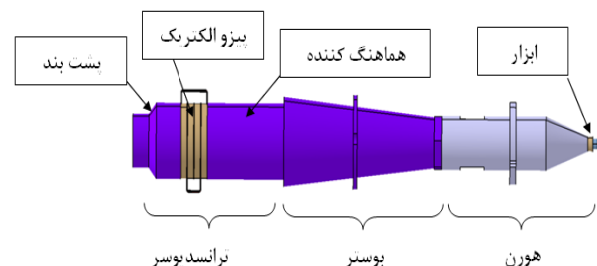
- ابزار ارتعاشی (که شامل ترانسدیوسر<sup>۱</sup>، هورن<sup>۲</sup> و ابزار می‌باشد).
- سیستم یاتاقان‌بندی ابزار
- سیستم انتقال جریان الکتریسیته به ترانسدیوسر در هنگام چرخش ابزار
- سیستم چرخش ابزار و انتقال قدرت
- قید و بند

### ۲-۱- ابزار ارتعاشی

به منظور ایجاد ارتعاش در ابزار باید آن را به سیستم ارتعاشی متصل کرد. بنابراین، ابزار به قطعه هورن و سپس قطعه هورن به ترانسدیوسر متصل می‌شوند. وظیفه ترانسدیوسر تبدیل امواج الکتریکی به ارتعاش مکانیکی است و شامل پشت‌بند<sup>۳</sup>، پیزوالکتریک<sup>۴</sup>، هماهنگ‌کننده<sup>۵</sup> و بوستر<sup>۶</sup> می‌باشد. در شکل ۴ قسمت‌های مختلف ترانسدیوسر به همراه هورن را مشاهده می‌کنید.

قطعه هورن بسته به کاربرد و فرکانس مورد نظر طراحی می‌گردد. بنابراین برای هر فرآیندی که از ارتعاش اولتراسونیک استفاده می‌شود باید قطعه هورن متناسب با آن فرایند طراحی و ساخته شود.

برای طراحی و تحلیل هورن از نرم‌افزار آباکوس<sup>۷</sup> استفاده شد و هورن با مشخصات مورد نیاز، برای ابزار چرخان ارتعاشی به دست آمد. برای طراحی هورن در نرم‌افزار ابتدا خود قطعه هورن، به همراه ابزار و اجزاء دیگر آن، مدل‌سازی شده و پس از تعیین مشخصات هر قطعه از لحاظ خواص مکانیکی در نرم‌افزار، یک مسئله خطی فرکانسی برای آن تعریف شد. خواص مکانیکی مربوط به هورن تحلیل شده و اجزاء مربوطه در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۴ سیستم انتقال ارتعاش به ابزار (ابزار ارتعاشی)

- 1- Transducer
- 2- Horn
- 3- Backing
- 4- Piezoelectric
- 5- Matching
- 6- Booster
- 7- Abaqus



شکل ۹ اسلیپ رینگ استفاده شده برای انتقال جریان الکتریسیته در حین چرخش بدنه بیرونی آن از آلیاژهای آلومینیوم ساخته می‌شود. سطح سیگنال‌های انتقالی می‌تواند تا جریان ۳۰ آمپر باشد. همچنین، می‌توان سیگنال‌های فرکانس بالا را از طریق این دستگاه انتقال داد. در این حالت فقط کافی است این وسیله در مرکز چرخش ابزار قرار گیرد و کابل‌ها به درستی نصب شوند. به این ترتیب به سادگی و با اطمینان بالا جریان الکتریسیته حین چرخش به ترانسدیوسر منتقل می‌شود.

#### ۲-۴- سیستم چرخش ابزار و انتقال قدرت

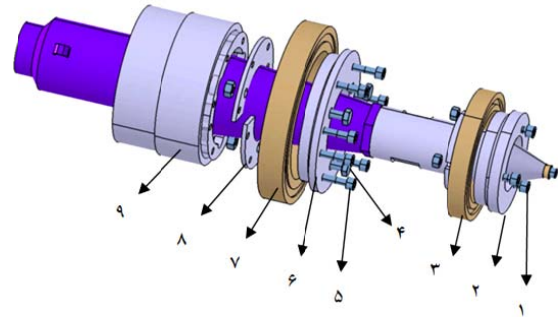
به منظور چرخش ابزار با قدرت کافی و دور مناسب از یک موتور تک‌فاز ۰/۵ اسب بخار و ۱۴۰۰ دور بر دقیقه استفاده شد تا بتوان از چرخش ابزار در شرایط مختلف اطمینان کامل داشت. همچنین، برای انتقال گشتاور از موتور به ابزار از یک سیستم چرخ زنجیر با نسبت ۱:۳ استفاده شد. چرخ زنجیر بزرگ‌تر به پوسته نگه‌دارنده ترانسدیوسر جوش داده شد تا از طریق این پوسته کل مجموعه ابزار ارتعاشی بتواند بچرخد. در ابتدا این سیستم در نرم‌افزار کتیا طراحی شده و سپس مشابه با آن ساخته شد. شکل ۱۰ مدل سه‌بعدی و سیستم انتقال قدرت ساخته شده را نشان می‌دهد. یکی از قابلیت‌های مهمی که ابزار چرخان باید داشته باشد قابلیت تغییر دور چرخش ابزار می‌باشد، تا بتوان در شرایط مختلف تراشکاری انجام داد. از طرف دیگر باید بتواند قابلیت چپ‌گرد و راست‌گرد کردن را نیز داشته باشد. برای این منظور از یک درایور مدل LS600 استفاده شد.

#### ۲-۵- بدنه اصلی

برای اینکه تمام موارد فوق در کنار هم قرار بگیرند و بتوانند به خوبی وظیفه خود را انجام دهند به یک سازه نیاز است. این سازه یا بدنه طوری طراحی شد که مزاحمتی برای عملیات تراشکاری ایجاد نکند و همه قطعات بتوانند به راحتی روی آن مونتاژ شوند. همچنین، بتواند بر روی دینامومتر سوار شود و نوک ابزار دقیقاً در مرکز اسپیندل دستگاه تراش قرار بگیرد. به این ترتیب برای ساخت آن از ورق فولادی به ضخامت ۱۰ میلی‌متر استفاده شد و پس از برش آن‌ها به شکل و اندازه مناسب، به صورت عمودی جوشکاری شد. برای استحکام بیشتر و کاهش ارتعاش اضافی نیز دو عدد تسمه باریک به صورت مورب جوش داده شد.

#### ۲-۶- مونتاژ دستگاه و آماده‌سازی برای انجام آزمایش

پس از ساخت قطعات و آماده‌سازی تجهیزات مورد نیاز این قطعات با دقت بر روی بدنه اصلی سوار شدند و دستگاه دینامومتر روی دستگاه تراش نصب گردید و پس از آن کل ابزار چرخان بر روی دینامومتر نصب شد. دینامومتر به صورتی نصب شد که نیروها در جهت پیشروی توسط محور  $X (F_x)$ ، نیروها در جهت شعاعی (عمق) توسط محور  $Y (F_y)$  و نیروها در جهت سرعت برشی توسط محور  $Z (F_z)$  اندازه‌گیری شود. شکل ۱۱ تصویر ابزار چرخان ارتعاشی ساخته شده و مونتاژ آن بر روی دستگاه تراش را نشان می‌دهد.



شکل ۷ مجموعه دمونتاژ شده یاتاقان‌بندی ابزار

قطعاتی که در این سیستم به کار رفته است (مطابق شکل ۸) در جدول ۲ آورده شده است.

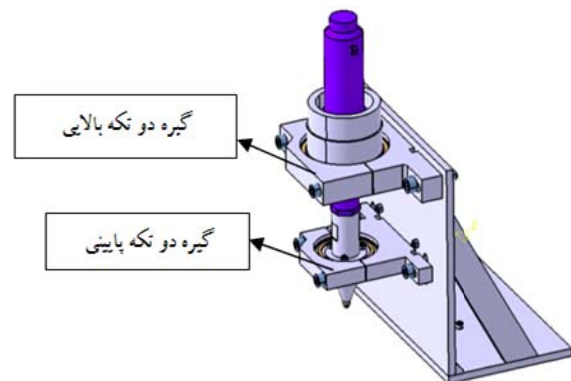
جدول ۲ قطعات به کار رفته در سیستم یاتاقان‌بندی

نام قطعه	قطعه
پیچ اتصال رابط هورن به هورن	۱
رابط هورن	۲
بلبرینگ کوچک برای یاتاقان‌بندی هورن	۳
پیچ اتصال رابط بوستر و بوستر با یکدیگر	۴
پیچ اتصال مجموعه بوستر به پوسته نگه‌دارنده	۵
رابط بوستر	۶
بلبرینگ بزرگ برای یاتاقان‌بندی بوستر	۷
واشرهای دوتکه	۸
پوسته نگه‌دارنده ترانسدیوسر	۹

برای قرارگیری دقیق و مناسب بلبرینگ‌ها و گیره‌بندی آن‌ها از دو عدد گیره استفاده شد، که برای مونتاژ و دمونتاژ بهتر کل سیستم این گیره‌ها به صورت دوتکه ساخته شد. یک قسمت از آن‌ها به صورت دائمی نصب می‌شود و قسمت دوم قابلیت مونتاژ و دمونتاژ دارد. از طرفی برای قرارگیری صحیح بلبرینگ‌ها از لحاظ موقعیت دو عدد پله روی گیره‌ها تعبیه شد (شکل ۸).

#### ۲-۳- سیستم انتقال جریان الکتریسیته به ترانسدیوسر در هنگام چرخش ابزار

در این دستگاه، به دلیل چرخش ابزار، انتقال جریان الکتریسیته به ابزار به صورت مستقیم ممکن نیست و نیاز به سیستمی بود که بتواند این جریان را حین چرخش ابزار به ترانسدیوسر انتقال دهد. برای این منظور از وسیله‌ای به نام اسلیپ رینگ استفاده شد. این وسیله با استفاده از تکنولوژی هادی مایع، عایق‌های مخصوص و آب‌بندی مناسب تولید می‌شود که تصویر آن در شکل ۹ نشان داده شده است.



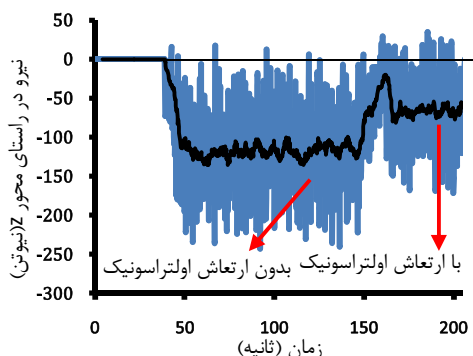
شکل ۸ نحوه مونتاژ ابزار بر روی بدنه به کمک گیره‌های دوتکه



در این نمودار  $V_c$  بیانگر سرعت برشی،  $V_f$  بیانگر سرعت چرخش ابزار،  $F_f$  بیانگر سرعت پیشروی و  $a_p$  بیانگر عمق برش می باشد.

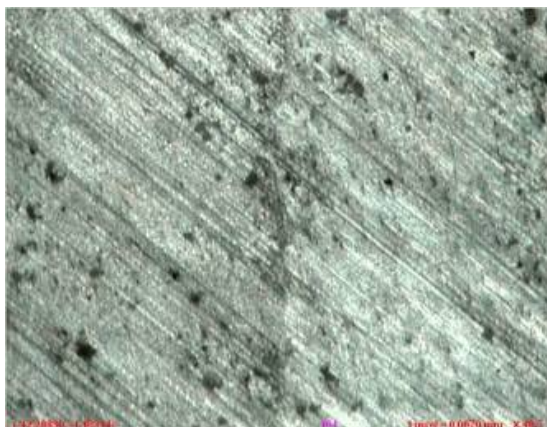
مطابق شکل ۱۲، هنگام استفاده از ارتعاش اولتراسونیک مقدار نیروهای ماشینکاری به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می یابد. از سطح قطعه تراشیده شده توسط دستگاه VMM عکس برداری شد که در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

در شکل ۱۵ به خوبی مشخص است که هنگام استفاده از ارتعاش اولتراسونیک سطح تراشیده شده یکنواخت تر است و در واقع عمل برش به خوبی انجام شده است. در حالی که در غیاب ارتعاش اولتراسونیک براده‌ها از سطح قطعه کنده شده‌اند. ارتعاش اولتراسونیک همچنین بر روی شکل براده‌ها نیز تاثیرگذار می باشد (شکل ۱۴).

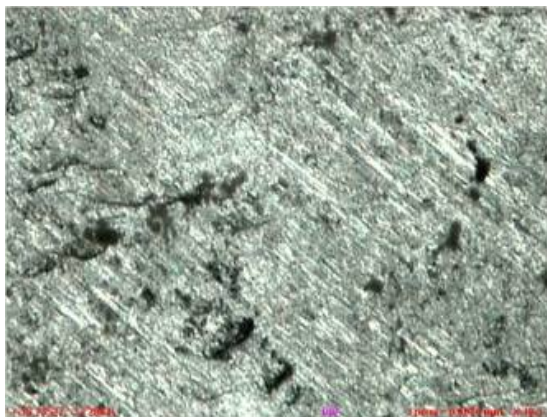


شکل ۱۲ تراشکاری با چرخش ابزار

( $a_p=0.6\text{mm}$  و  $F_f=0.24\text{ mm/rev}$ ,  $V_f=150\text{rev/min}$ ,  $V_c=4\text{m/min}$ )



الف) تراشکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک با چرخش ابزار



ب) تراشکاری بدون ارتعاش اولتراسونیک با چرخش ابزار

شکل ۱۳ سطح قطعه تراشکاری شده

( $a_p=0.6\text{mm}$  و  $F_f=0.24\text{ mm/rev}$ ,  $V_f=150\text{rev/min}$ ,  $V_c=4\text{m/min}$ )



شکل ۱۰ سیستم انتقال قدرت ساخته شده بر اساس مدل سه بعدی



شکل ۱۱ ابزار چرخان ارتعاشی نصب شده بر روی دستگاه تراش

### ۳- آماده سازی فرآیند

قبل از انجام آزمایش‌ها، ابتدا ابزار را بر روی یک عدد دستگاه تراش مدل TN52 ساخت شرکت ماشین سازی تبریز نصب کرده و تنظیمات اولیه انجام شد. سپس یک قطعه آلومینیوم ۷۰۷۵ به قطر ۴۰ میلی‌متر و طول ۴۰۰ میلی‌متر برای انجام آزمایش آماده شد.

برای ایجاد ارتعاش اولتراسونیک مورد نیاز از یک دستگاه ژنراتور مولد ارتعاش اولتراسونیک ساخت شرکت MPI به همراه یک ترانسدویسر ۲۰ کیلو هرتز استفاده شد. برای اندازه‌گیری نیروهای ماشینکاری از یک دستگاه دینامومتر مدل 9250 ساخت شرکت کیستلر که قبل از نصب ابزار، بر روی دستگاه تراش نصب می‌شود، استفاده شد. برای اندازه‌گیری زبری سطح قطعات تراشیده شده از دستگاه زبری‌سنج مدل PS1 ساخت شرکت ماهر استفاده شد. برای بررسی تاثیر ارتعاش اولتراسونیک در تراشکاری توسط دستگاه VMM<sup>۱</sup> ساخت شرکت ایسون<sup>۲</sup> از سطح قطعه کار با بزرگنمایی تا ۱۴۰ برابر عکس برداری شد. همچنین، برای اندازه‌گیری دور ابزار چرخان از یک دستگاه دورسنج لیزری مدل DT2234A استفاده شد. قطعه آلومینیومی بر روی دستگاه تراش نصب شده و عملیات تراشکاری با چرخش ابزار و با دور مشخص در دو حالت، یکی در حضور ارتعاش اولتراسونیک و دیگری بدون حضور ارتعاش اولتراسونیک و با تغییر پارامترهای ماشینکاری، انجام شد.

### ۴- انجام آزمایش‌ها و نتایج

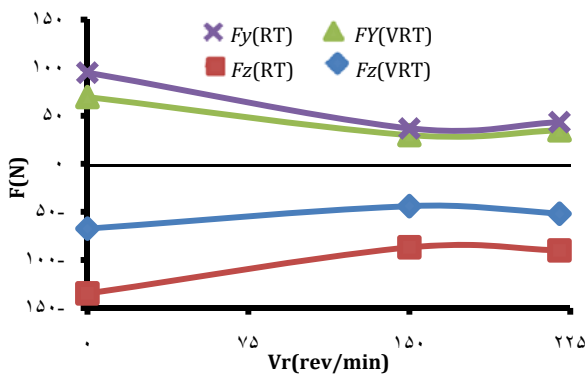
در ابتدا تاثیر ارتعاش اولتراسونیک بر نیروهای ماشینکاری آزمایش شد. در این آزمایش سرعت برشی ۴ متر بر دقیقه، سرعت پیشروی ۰/۲۴ میلی‌متر بر دور، سرعت چرخش ابزار ۱۵۰ دور بر دقیقه و عمق برش ۰/۶ میلی‌متر می‌باشد. شکل ۱۲ نمودار حاصل از داده‌های دینامومتر را نشان می‌دهد.

1- View Measuring Machine  
2- Esson

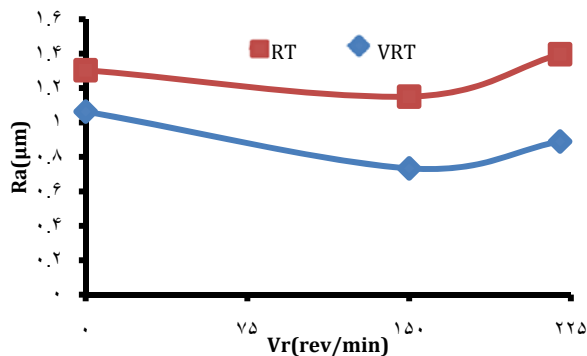
وجود ندارد می‌شود.

به همین ترتیب، با افزایش سرعت چرخش ابزار، زبری سطح ابتدا کاهش و سپس افزایش پیدا می‌کند و همواره استفاده از ارتعاش اولتراسونیک در تراشکاری باعث کاهش زبری سطح می‌شود.

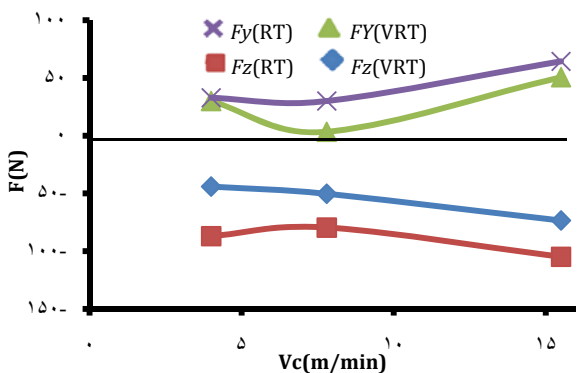
شکل ۱۷ تاثیر افزایش سرعت برشی بر روی نیروهای ماشینکاری و شکل ۱۸ تاثیر افزایش سرعت برشی بر روی زبری سطح را نشان می‌دهد. با افزایش سرعت برشی، ابتدا نیروهای ماشینکاری کاهش و سپس افزایش می‌یابد. ارتعاش اولتراسونیک در تمام حالات باعث کاهش نیروهای ماشینکاری نسبت به حالتی که ارتعاش وجود ندارد می‌شود. با افزایش سرعت برشی، زبری سطح ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا می‌کند و همواره استفاده از ارتعاش اولتراسونیک در تراشکاری باعث کاهش زبری سطح می‌شود.



شکل ۱۵ تغییرات نیرو بر اساس تغییر سرعت چرخش ابزار  
( $a_p=0.6\text{mm}$  و  $F_f=0.16\text{ mm/rev}$ ,  $V_c=4\text{ m/min}$ )



شکل ۱۶ تغییرات زبری سطح بر اساس تغییر سرعت چرخش ابزار  
( $a_p=0.6\text{mm}$  و  $F_f=0.16\text{ mm/rev}$ ,  $V_c=4\text{ m/min}$ )



شکل ۱۷ تغییرات نیرو بر اساس تغییر سرعت برشی  
( $a_p=0.6\text{mm}$  و  $F_f=0.16\text{ mm/rev}$ ,  $V_r=150\text{ rev/min}$ )



الف) تراشکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک با چرخش ابزار



ب) تراشکاری بدون ارتعاش اولتراسونیک با چرخش ابزار

شکل ۱۴ براده حاصل از تراشکاری با ابزار چرخان

( $a_p=0.6\text{mm}$  و  $F_f=0.24\text{ mm/rev}$ ,  $V_r=150\text{ rev/min}$ ,  $V_c=4\text{ m/min}$ )

براده های شکل ۱۴-الف طول کوتاه‌تری نسبت به براده‌های شکل ۱۴-ب دارند و در اثر ارتعاش زودتر شکسته شده‌اند.

تاثیر افزایش سرعت چرخش ابزار، سرعت برشی و سرعت پیشروی بر نیروهای ماشینکاری و زبری سطح بررسی گردید. پارامترهای این آزمایش‌ها در جدول ۳ قابل مشاهده است. این آزمایش‌ها یک بار در حضور ارتعاش اولتراسونیک و بار دیگر در غیاب ارتعاش اولتراسونیک انجام شد.

جدول ۳ مشخصات آزمایش‌های انجام شده بر روی آلومینیوم

$a_p$ (mm)	۰/۱۶
$F_f$ (mm/rev)	۰/۱۰۸ و ۰/۱۶ و ۰/۲۴
$V_r$ (rev/min)	۰ و ۱۵۰ و ۲۲۰
$V_c$ (m/min)	۴ و ۷/۸ و ۱۵/۴

با توجه به جدول ۳، عمق برش ثابت و برای پارامترهای سرعت پیشروی، سرعت دورانی و سرعت پیشروی هر کدام سه مقدار انتخاب گردید، که با توجه به روش طراحی آزمایش فول فاکتوریل، ۲۷ آزمایش انجام شد.

شکل ۱۵ تاثیر افزایش سرعت چرخش ابزار بر روی نیروهای ماشینکاری و شکل ۱۶ تاثیر افزایش سرعت چرخش ابزار بر روی زبری سطح را نشان می‌دهد. نماد تراشکاری با چرخش ابزار به کمک ارتعاش اولتراسونیک و RT نماد تراشکاری با چرخش ابزار بدون ارتعاش اولتراسونیک می‌باشد. با افزایش سرعت چرخش ابزار، ابتدا نیروهای ماشینکاری کاهش می‌یابد و سپس دوباره افزایش می‌یابد. ولی آنچه که مسلم است این است که ارتعاش اولتراسونیک در تمام حالات باعث کاهش نیروهای ماشینکاری نسبت به حالتی که ارتعاش

همچنین، ارتعاش اولتراسونیک نیز باعث کاهش نیروها شد. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که تلفیق این دو باز باعث کاهش نیروی ماشینکاری می‌شود و این بدین معناست که اعمال ارتعاش به ابزار چرخان مفید می‌باشد. هر چه سرعت چرخش ابزار افزایش پیدا کند، نیروی ماشینکاری کاهش پیدا می‌کند تا به سرعت چرخش ۱۵۰ دور بر دقیقه برسد و بعد از آن باز دوباره نیرو افزایش می‌یابد (شکل ۱۵).

دلیل اصلی کاهش نیروها هنگام استفاده از ارتعاش اولتراسونیک در ابزار چرخان آن است که در اثر اعمال ارتعاش به ابزار تماس ابزار و قطعه کار حین ماشینکاری نیروها به صورت پریودیک خواهد بود که در کل متوسط نیروها نسبت به حالتی که ارتعاش وجود ندارد کاهش می‌یابد. همچنین، دلیل اصلی کاهش زبری سطح هنگام استفاده از ارتعاش اولتراسونیک آن است که ارتعاش اولتراسونیک باعث افزایش پایداری فرآیند تراشکاری می‌شود.

#### ۵- نتیجه گیری

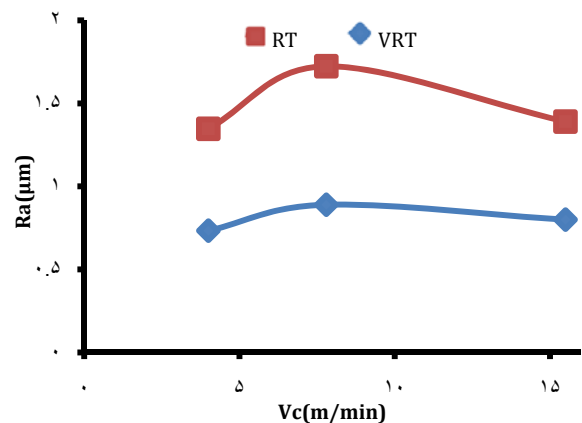
در این تحقیق طراحی و ساخت ابزار چرخان ارتعاشی انجام شد و تاثیر آن بر نیرو و زبری سطح مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، اقدام به ساخت یک ابزار چرخان با قابلیت ارتعاش در هنگام چرخش شد. برای ساخت نیاز به هورن و ابزار تراشکاری مخصوص بود که سرانجام هورنی با فرکانس طولی ۲۰۶۱۸ هرتز و از جنس فولاد ضدزنگ ساخته شد که با ابزار گرد با قطر ۱۰ میلی‌متر جواب مطلوبی به دست آمد. سپس آزمایش‌هایی بر روی آلومینیوم ۷۰۷۵ انجام و نیرو و زبری سطح اندازه‌گیری و نتایج زیر حاصل گردید:

- با استفاده از ابزار ارتعاشی چرخان می‌توان فرایند تراشکاری چرخان را با ارتعاش اولتراسونیک تلفیق کرد.
- سطح قطعات تراشیده شده به کمک ارتعاش اولتراسونیک مطلوب‌تر از حالتی است که ارتعاش وجود ندارد، زیرا در حالتی که ارتعاش وجود دارد برش اتفاق می‌افتد و در حالتی که ارتعاش وجود ندارد براده‌ها از سطح قطعه کار کنده می‌شوند.
- براده‌ها در فرآیند VRT دارای طول کوتاه‌تر و پهنای بلندتر می‌باشند.
- حضور ارتعاش اولتراسونیک در فرایند تراشکاری با ابزار چرخان باعث کاهش نیروها و زبری سطح می‌شود.
- با افزایش سرعت چرخش ابزار نیروهای ماشینکاری و زبری سطح ابتدا کاهش و سپس افزایش پیدا کرد.

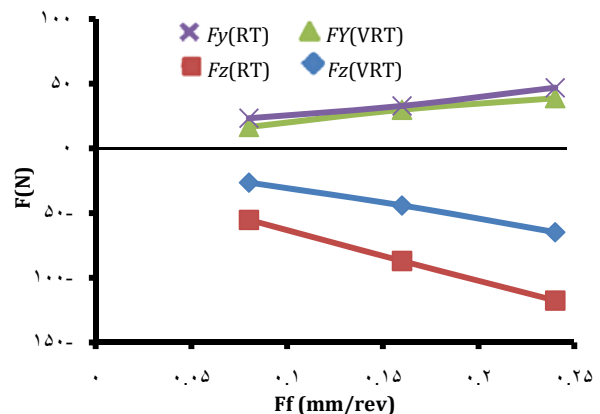
#### ۶- مراجع

- [1] W. Boothroyd, A. Knight, *Fundamental of Machine Tools*, 2nd Edition, Marcel Decker, New York, 1989.
- [2] S. S. Joshi, et al., Wear of rotary carbide tools in machining of al/sicp composites, *Wear*, Vol. 230, No. 2, pp. 124-132, 1999.
- [3] S. Lei, Liu W., 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.
- [4] H. A. Kishawy, C. E. Becze, D. G. McIntosh, Tool performance and attainable surface quality during the machining of aerospace alloys using self-propelled rotary tools, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 152, No. 3, pp. 266-271, 2004.
- [5] H. A. Kishawy, L. Li, A. I. El-Wahab, Prediction of chip flow direction during machining with self-propelled rotary tools, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol.46, No. 12-13, pp. 1680-1688, 2006.
- [6] H. Sasahara, et al., High-speed rotary cutting of difficult-to-cut materials on multitasking lathe, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 48, No. 7-8, pp. 841-850, 2008.
- [7] H. Esmaili, et al., Optimization of machining parameters for self-propelled rotary tools using the taguchi method, *Scientific Research journal Majles Mechanical Engineering*, Vol. 1, No. 3, pp. 19-26, 2009. (In Persian)

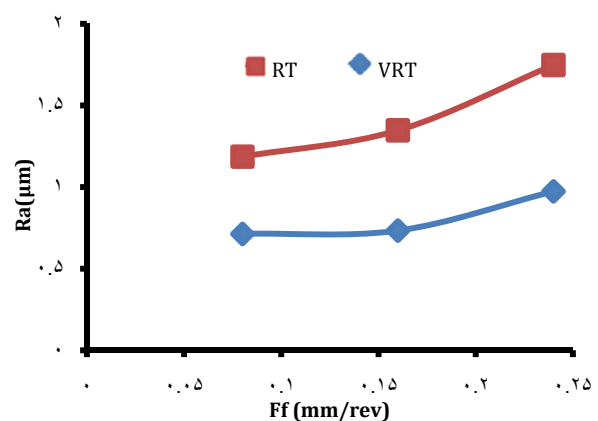
شکل ۱۹ تاثیر افزایش سرعت پیشروی بر روی نیروهای ماشینکاری و شکل ۲۰ تاثیر افزایش سرعت پیشروی بر روی زبری سطح را نشان می‌دهد. با افزایش سرعت پیشروی نیروی ماشینکاری افزایش می‌یابد. ارتعاش اولتراسونیک باعث کاهش نیروهای ماشینکاری می‌شود. مطابق شکل ۲۰، با افزایش سرعت پیشروی، زبری سطح افزایش می‌یابد. ارتعاش اولتراسونیک زبری سطح را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. تحقیقات قبلی نشان داد که تبدیل ابزار ثابت به ابزار چرخان نیروی ماشینکاری را کاهش می‌دهد.



شکل ۱۸ تغییرات زبری سطح براساس تغییر سرعت برشی  
( $a_p=0.6\text{mm}$  و  $F_f=0.16\text{ mm/rev}$ ,  $V_r=150\text{ rev/min}$ )



شکل ۱۹ تغییرات نیرو براساس تغییر سرعت پیشروی  
( $a_p=0.6\text{mm}$  و  $V_c=4\text{ m/min}$ ,  $V_r=150\text{ rev/min}$ )



شکل ۲۰ تغییرات زبری سطح براساس تغییر سرعت پیشروی  
( $a_p=0.6\text{mm}$  و  $V_c=4\text{ m/min}$ ,  $V_r=150\text{ rev/min}$ )

- [13] X. Zhang, et al., Experimental study on ultrasonic elliptical vibration cutting of hardened steel using PCD tools, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 211, No. 11, pp. 1701-1709, 2011.
- [14] M. J. Nategh, S. Amini, H. Soleimanimehr, A. Abudollah, M. H. Sadeghi, A machining force model developed for ultrasonic vibration-assisted turning, through statistical analysis of influential parameters, *Mechanical And Aerospace Engineering Journal*, Vol. 4, No. 4, pp. 83-91, 2008. (In Persian).
- [15] S. Amini, M. J. Nategh, A. Abudollah, Vibration cutting and elliptical ultrasonic vibration assisted turning of IN738 work-pieces, *Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics*, Vol. 23, No. 2, pp. 17-28, 2012. (In Persian)
- [16] S. Amini and 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)
- [8] 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.
- [9] C. S. Liu, et al., Research on the characteristics of the cutting force in the vibration cutting of a particle-reinforced metal matrix composites SiCp/Al, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 129, No. 1-3, pp. 196-199, 2002.
- [10] 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.
- [11] C. Nath, M. Rahman, S. S. K. Andrew, A study on ultrasonic vibration cutting of low alloy steel, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 192-193, pp. 159-165, 2007.
- [12] M. J. Nategh, S. Amini, H. Soleimanimehr, Modeling the force, surface roughness and cutting temperature in ultrasonic vibration-assisted turning of Al7075, *Journal of Advanced Materials Research*, Vols. 83-86, pp. 315-325, 2010.