



## تحلیل تجربی و فرکانسی اثر پارامترهای برشی و روانکاری بر کیفیت سطح و تغییرات نیروی برشی در ماشینکاری کامپوزیت پایه تیتانیوم

مسعود صابری<sup>1</sup>، سید علی نیکنام<sup>2\*</sup>، رامین هاشمی<sup>3</sup>

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

3- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

\* تهران، کد پستی 16846-13114، saniknam@iust.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت: 97/7/19	کامپوزیت پایه فلزی (MMCs) از تقویت کننده های غیر فلزی (به عنوان مثال، سرامیک) در ماتریس های فلزی ساخته شده است که دارای ویژگی هایی همچون سختی، مقاومت در برابر سایش و خستگی مطلوب و وزن نسبتا سبک هستند. یکی از کامپوزیت های فلزی با خواص مکانیکی قابل توجه، کامپوزیت پایه تیتانیوم (Ti-MMC) است که به عنوان جایگزینی برای آلیاژهای پایه نیکل در تعداد زیادی از محصولات و بخش های صنعتی، از جمله صنایع خودرو و هوافضا مورد توجه قرار گرفته است. با وجود ویژگی های مکانیکی و فیزیکی Ti-MMC، با توجه به قیمت بالا و حضور ذرات سرامیکی سخت و ساینده در ماتریس های فلزی، ماشینکاری Ti-MMC یک موضوع پیچیده و نیازمند مطالعات بیشتر است. نظر به اینکه مطالعات بسیار محدودی در زمینه ماشینکاری Ti-MMC در جریانهای مختلف و حالت های روانکاری در دسترس هستند، آگاهی کافی از اثرات پارامترهای برش و حالت های روانکاری در ویژگی های ماشینکاری، مسئله ای مهم و حائز اهمیت است. بنابراین، هدف از پژوهش، بررسی تجربی و فرکانسی تراشکاری Ti-MMC در حالت های خشک و با روانکار در نرخ جریان های مختلف می باشد. اثرات پارامترهای برشی بر روی شاخصه های ماشینکاری از جمله کیفیت سطح با استفاده از بررسی دامنه فرکانس مربوط سرعت دوران قطعه کار مورد بررسی قرار گرفته است.
پذیرش: 97/9/7	
کلیدواژگان: کامپوزیت پایه تیتانیوم ماشینکاری روانکاری آنالیز فرکانس	

## On the effects of cutting and lubrication parameters on the surface quality and cutting forces in machining Ti-MMC-Experimental and frequency assessment

Masoud Saberi, Seyed Ali Niknam\*, Ramin Hashemi

School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

\* P.O.B. 16846-13114, Tehran, Iran, saniknam@iust.ac.ir

### Keywords

Ti-MMC  
Machining  
Lubrication  
Frequency analysis

### Abstract

Metal matrix composites are relatively low-weight materials comprising of reinforcing elements in their structure which tend to improve the hardness, abrasion resistance as well as fatigue resistance of the material. One of the metal matrix composites with significant mechanical features are titanium metal matrix composites (Ti-MMCs) which can be considered as an alternative to nickel based superalloys in wide range of applications in numerous manufacturing sectors, including automotive, and aerospace. Despite significant features aforementioned, due to high manufacturing costs and presence of reinforcing elements in metal matrices, machining and machinability of Ti-MMCs is a complex subject. Knowing that limited studies are available on machining Ti-MMC under various lubrication modes and lubrication rates, adequate knowledge on the effects of cutting parameters and lubrication modes on machinability attributes of Ti-MMCs is a delicate subject. Therefore, the first aim of this work is to present the effects of cutting parameters, including lubrication modes and lubrication rate on machinability attributes, including surface quality. Furthermore, the Fast Fourier transform (FFT) will be used to evaluate the effects of cutting parameters on frequency domain of recorded cutting forces.

### 1-مقدمه

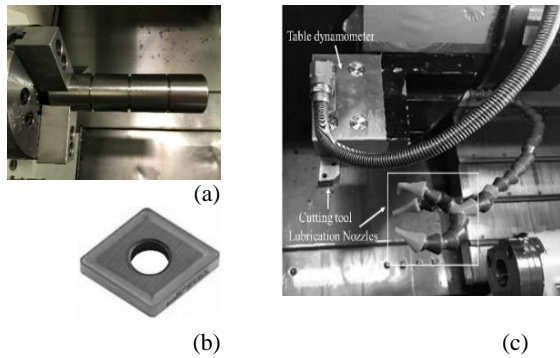
کامپوزیت ها به علت سختی بالا دارای ماهیت ساینده بوده و آسیب های جدی از طریق ایجاد سایش در طول ماشینکاری به ابزار برشی و کیفیت سطح وارد می کنند [2]. یکی از مواد سخت در ماشینکاری، کامپوزیت های پایه تیتانیومی هستند که به عنوان جایگزینی فوق العاده ای برای سوپرآلیاژ های پایه نیکل و

کامپوزیت های پایه فلزی به علت وجود ترکیبی از خواص مطلوب، به عنوان یکی از گزینه های مناسب در ساخت قطعات و سازه های فنی در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می گیرند [1]. ذرات تقویت کننده در این نوع

### Please cite this article using:

Saberi, M. Niknam, S.A. and Hashemi, R., "On the effects of cutting and lubrication parameters on the surface quality and cutting forces in machining Ti-MMC-Experimental and frequency assessment", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 6, No. 1, pp. 143-150, 2019.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده نمایید:

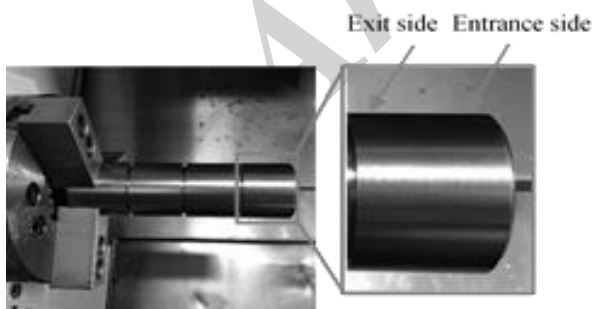


**Fig. 1.** (a) The Ti-MMC work part; (b) The carbide insert; (c) system set-up used

شکل 1 (a) قطعه کار Ti-MMC (b) اینسرت کاربردی (c) ساختار آزمایشگاهی استفاده شده

## 2- تحلیل نتایج آزمایش تجربی

بطور معمول، یک سیگنال نیروی برشی در طول عملیات تراشکاری شامل نیروی شعاعی (FR)، نیروی پیشروی (FF) و نیروی برشی (FC) میباشد (شکل 3). با توجه به شرایط آزمایشات انجام یافته، برای محاسبه نیروهای برشی در جهات مختلف و آنالیز آنها، از فرکانس نمونه برداری 12 KHz استفاده شد. لازم به توضیح است که هنگام تراشکاری مواد سخت (به عنوان مثال Ti-MMC)، مقدار FF گاهی اوقات حتی بالاتر از FC است. نیروی حاصل (FRES) در هر مرحله آزمایش نیز با استفاده از معادله (1) محاسبه گردید. با توجه به اینکه در طی فرآیند تراشکاری ضخامت براده بصورت یکنواخت تولید می شود، انتظار می رود که نیروهای برشی نیز ثابت باقی بمانند. با این وجود، همانطور که در شکل 4 نشان داده شده است، افزایش سریع نیروهای برشی گواهی بر سایش سریع ابزار است. در حین فرآیند ماشینکاری کامپوزیت پایه تیتانیومی در شرایط خشک و با سرعت برشی بالا، دمای نقطه ای بسیار زیادی در منطقه برشی ایجاد می گردد که سبب سایش سریع ابزار برشی میگردد. همان طور که قبلا اشاره شد، در این پژوهش با استفاده از روش تبدیل سریع فوری سیگنال های نیرو مورد تجزیه قرار گرفته و پیک فرکانس مربوط به دوران اسپیندل در شرایط مختلف برشی مورد بررسی قرار گرفت.



**Fig. 2.** Overview of surface roughness measurement approach  
شکل 2 نقاط مورد نظر برای اندازه گیری زبری سطح

آهنی و تیتانیوم مورد توجه قرار گرفته اند. این مواد علاوه بر مشکلات موجود در ماشینکاری کامپوزیت های پایه فلزی، دشواری های ماشینکاری تیتانیوم ها را نیز دارا بوده [3] و ویژگی های منحصر به فرد فیزیکی و مکانیکی از قبیل چقرمگی، سختی، مدول الاستیسته، مقاومت به سایش و نسبت استحکام به وزن بالایی دارند [4].

علی رغم تحقیقاتی که اخیرا در زمینه ماشینکاری و قابلیت ماشینکاری آلیاژهای تیتانیوم و همینطور کامپوزیت ها [5-7] صورت گرفته است، مطالعات محدودی در مورد ماشینکاری کامپوزیت های پایه تیتانیومی با روش ماشینکاری سنتی و مدرن صورت گرفته است [8-11].

بطور کلی در ماشینکاری مواد سخت، نیروها و سایش ابزار برشی اهمیت ویژه ای دارند. در حقیقت سایش زیاد ابزار برشی، کیفیت سطح پایین و همچنین کاهش عمر ابزار برشی از جمله مشکلات و موانع ماشینکاری کامپوزیت های پایه تیتانیومی است. نظر به اینکه مطالعات بسیار محدودی در زمینه ماشینکاری کامپوزیت پایه تیتانیومی در دسترس میباشد، از این رو کسب اطلاعات مناسب از اثرات پارامترهای برشی و استراتژی های روانکاری بر شاخصه های اصلی ماشین کاری از خلال مطالعات جدید از جمله موضوعات مورد توجه می باشد.

بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی اثرات پارامترهای برشی بر روی ویژگی های مهم ماشین کاری از جمله کیفیت سطح قطعه کار در حالت های خشک و نیمه خشک (در نرخ های مختلف جریان) است. مضافا، سیگنالهای دریافتی نیروهای برشی با استفاده از روش تبدیل سریع فوری<sup>1</sup> مورد تجزیه قرار گرفته در حوزه فرکانس مورد مطالعه قرار گرفته اند تا بتوان تحلیلی بهتری از رفتار و اثرات پارامترهای برشی بر نیروهای برشی و کیفیت سطح قطعه کار داشت.

### 1-1- مواد و تجهیزات آزمایش

بلوک استوانه ای Ti-6Al-4V با کسر حجمی 12%/10 ذرات تقویت کننده TiC با اندازه ذرات 10-20  $\mu\text{m}$  و قطر 53.62 mm و طول 210 mm برای انجام تست های تراشکاری مورد استفاده قرار گرفت. تست های برشی با دستگاه Mazak Nexus 100-II و در شرایط مختلف روانکاری و با عمق برش ثابت 1 mm، سرعت پیشروی 0.15 mm/rev و در سرعت های مختلف برشی (60,50,40,30,20 m/min) و طول برشی ثابت 65 mm انجام شد. اینسرت کاربردی SECO CNMG 432-MR4 TS2500 برای انجام تست ها استفاده شده است (شکل 1).

همچنین برای انجام تست ها در شرایط نیمه خشک 1-3، روانکار زیستی MecGreen با نرخ جریان 100-300  $\text{cm}^3/\text{h}$  اعمال شده است. بر اساس مطالعات پیشین صورت گرفته، هنگام تراش کاری کامپوزیت پایه تیتانیومی، سایش زیادی در لحظات اولیه برش به وجود می آید [12] برای اثبات بهتر این موضوع، اثر پارامترهای برش و حالت پوشش ابزار بر روی کیفیت سطح اندازه گیری شده در دو بخش ورودی و خروجی انجام شد (شکل 2). دستگاه زبری سنج Mitutoyo SJ400 برای این موضوع مورد استفاده قرار گرفت. نیروهای برشی نیز در سه محور توسط سنسور دینامومتر اندازه گیری شد.

<sup>1</sup> fast fourier transform

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi nk/N} \quad (3)$$

طبیعتاً تبدیل معکوس رابطه (3) به صورت رابطه (4) خواهد بود:

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k)e^{j2\pi mn/N} \quad (4)$$

محاسبه تبدیل فوریه از روی سری آسان ولی بسیار کند است. به همین دلیل روش های بسیار سریعتری برای محاسبه این تبدیل وجود دارد. ایده اصلی این روش بر مجزاسازی اندیس های فرد و زوج استوار است. بر اساس  $DFT^1$  خواهیم داشت:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{(\frac{N}{2})-1} x(2n)e^{\frac{j2\pi(2n)k}{N}} + \sum_{n=0}^{(\frac{N}{2})-1} x(2n+1)e^{\frac{j2\pi(2n+1)k}{N}} \quad (5)$$

$$W_N = e^{-\frac{j2\pi}{N}} \quad W_N^2 = e^{-j2\pi/(\frac{N}{2})} \quad (6)$$

$$X(k) = \sum_{n=0}^{(\frac{N}{2})-1} x(2n)W_{N/2}^{nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{(\frac{N}{2})-1} x(2n+1)W_{N/2}^{nk} \quad (7)$$

$$X(k + \frac{N}{2}) = \sum_{n=0}^{(\frac{N}{2})-1} x(2n)W_{N/2}^{nk} - W_N^k \sum_{n=0}^{(\frac{N}{2})-1} x(2n+1)W_{N/2}^{nk} \quad (8)$$

### 2-2- تحلیل سیگنال های نیرو در حوزه فرکانس

جهت تحلیل و پردازش سیگنال های نیروی برشی از روش تبدیل سریع فوریه با فرکانس نمونه برداری 12 KHz در نرم افزار متلب استفاده شد. نمودار تبدیل فوریه در سرعت برشی 30 m/min به عنوان نمونه در شکل 5 نشان داده شده است. این تحلیل فرکانسی برای شرایط روانکاری با نرخ جریان متفاوت (4 حالت) و سرعت های برشی مختلف (5 سرعت) و در مجموع بیست آزمایش مورد بررسی قرار گرفت که در شکل های 6 و 7 نشان داده شده است. بعد از آنالیز سیگنال ها مشاهده شد که دامنه پیک فرکانس سرعت دوران قطعه

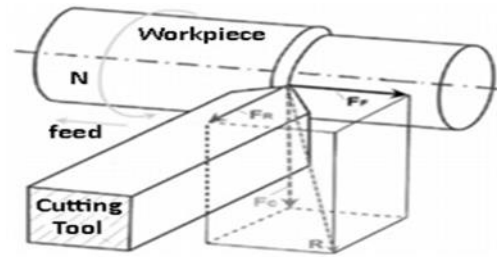


Fig. 3. Overview of turning cutting forces [11]

شکل 3 شماتیک جهت نیروهای برشی در تراشکاری [11]

$$F_{Res} = \sqrt{FF^2 + FR^2 + FC^2} \quad (1)$$

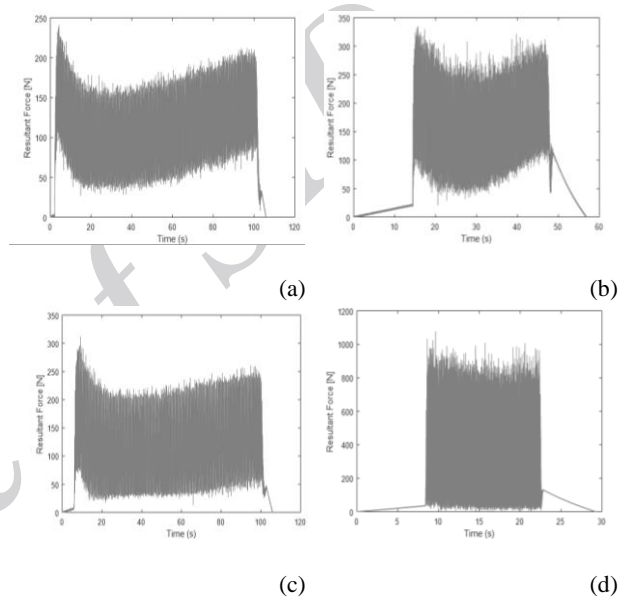


Fig.4. The  $F_{Res}$  at dry condition when using (a)  $V_c=20$  m/min (b)  $V_c=60$  m/min and flow rate 300 ml/min when (c)  $V_c=20$  m/min and (d)  $V_c=60$  m/min

شکل 4 نمودار  $F_{RES}$  در شرایط ماشینکاری خشک (a)  $V_c=20$  m/min (b)  $V_c=60$  m/min و در شرایط روانکاری با نرخ جریان 300 ml/min (c)  $V_c=60$  m/min (d) 20 m/min

### 1-2- روابط تبدیل سریع فوریه

همواره یک سیگنال در حوزه زمان را می توان در حوزه فرکانس نیز نمایش داد. در دیدگاه مهندسی کار با حوزه فرکانس بر حوزه زمان ارجحیت دارد. برای یک سیگنال پیوسته در زمان تبدیل فوریه آن به صورت زیر تعریف می شود [13]:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-2j\pi ft} dt \quad (2)$$

مدل گسسته تبدیل فوق به شکل رابطه (3) است.

<sup>1</sup> Discrete Fourier Transform

### • حالت خشک<sup>1</sup>

در آنالیز نیروها و در فرکانس مربوط به سرعت دوران اسپیندل در سرعت های برشی مختلف مشخص گردید که با افزایش سرعت، دامنه این فرکانس کاهش پیدا می کند. این امر بیانگر بهبود شرایط برشی در سرعت های برشی بالاتر است. با توجه به اینکه سرعت برشی بیشترین تاثیر را در دمای ناحیه ماشینکاری دارد، علت بهبود و کاهش این دامنه فرکانس را میتوان در بالا رفتن دما و به طبع آن نزدیکتر شدن به دمای ذوب Ti-6Al-4V و کاهش نیروی لازم جهت جدا شدن براده دانست.

### • حالت نیمه خشک<sup>2</sup> 1

در این حالت، سیال برشی با نرخ  $100 \text{ cm}^3/\text{h}$  به ناحیه برشی پاشش می شود. بعد از پایش در وضعیت سیگنالهای نیرو این حالت مشخص شد که همانند حالت خشک، با افزایش میزان سرعت برشی از 20-60 متر بر دقیقه، مقدار دامنه مربوط به سرعت دوران برشی کاهش می یابد. این در حالی است که دامنه فرکانس مربوط به یک سرعت دورانی ثابت نسبت به حالت خشک افزایش یافته است.

### • حالت نیمه خشک<sup>2</sup> 2

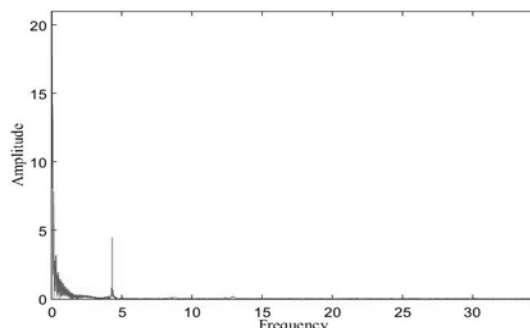
در حالت نیمه خشک 2 سیال برشی با نرخ  $200 \text{ cm}^3/\text{h}$  به ناحیه برشی پاشیده می شود. تحلیل سیگنالهای برشی در این حالت نشان می دهد که کماکان با افزایش سرعت برشی دامنه فرکانس سرعت دوران اسپیندل کاهش یافته است. به علاوه، افزایش نرخ جریان سیال نه تنها باعث بهبود شرایط برشی نشده، بلکه عملکردی معکوس داشته است و سبب افزایش دامنه در یک سرعت ثابت شده است.

### • حالت نیمه خشک<sup>2</sup> 3

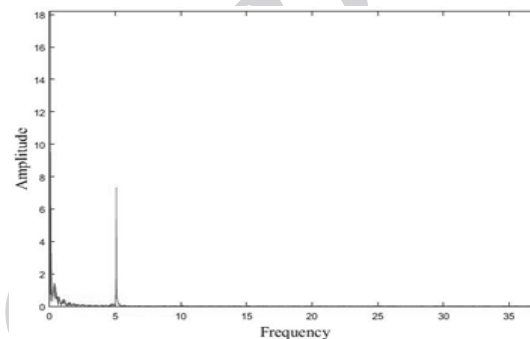
در این حالت که سیال برشی با نرخ  $300 \text{ cm}^3/\text{h}$  توسط سه نازل به ناحیه ماشین کاری اعمال شده است، با افزایش سرعت برشی، میزان دامنه مربوط به سرعت دوران کاهش یافته است. نکته قابل توجه این است که در سرعت برشی ثابت، افزایش نرخ جریان نه تنها تاثیر مثبتی ندارد، بلکه باعث افزایش دامنه نیز می شود.

بر اساس شکل 6، در سرعت برشی 20 متر بر دقیقه، دامنه مربوط به سرعت دوران در حالت خشک 7.03 و در حالت نیمه خشک 3 معادل 20.58 است. بدین معنی که اعمال سیال برشی و حتی افزایش نرخ جریان دامنه افزایش حدود سه برابری داشته است. همانطور که در شکل 6 مشخص است، با افزایش سرعت برشی، دامنه فرکانس دوران اسپیندل کاهش یافته است. به عبارتی، در حالت ماشینکاری خشک هرچه سرعت برشی افزایش یابد نه تنها شرایط برشی و نیروهای برشی با توجه به افزایش نرخ سایش ابزار بدتر نشده، بلکه به طرز چشمگیری بهبود یافته است. به بیان ساده تر، پیشنهاد میشود که ماشینکاری کامپوزیت های پایه تیتانیومی در سرعت های خیلی پایین صورت نگیرد. این نتیجه گیری بدین معنی نیست که هرچه سرعت برشی بالاتر باشد شرایط ماشینکاری بهبود می یابد. مسلماً اگر سرعت برشی از حالت بهینه افزایش یابد با توجه به تولید بسیار زیاد دما در منطقه برشی، ابزار به سرعت دچار سایش شده و نیروهای برشی و زبری سطح افزایش چشمگیری خواهند داشت [14]. با توجه به اینکه نرخ جریان سیال در حالت نیمه خشک 1 نیز زیاد نبوده است، دقیقاً شرایطی شبیه به شرایط خشک مشاهده می گردد. علت

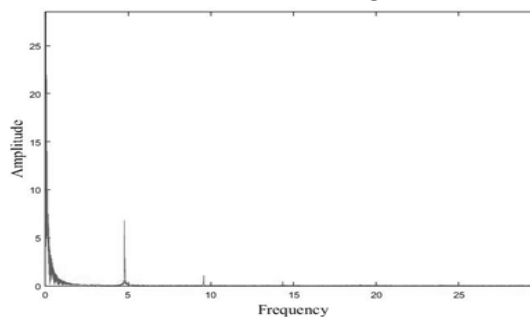
کار با تغییر در سرعت برشی و نرخ جریان برشی تغییر می کند. در واقع با افزایش دامنه پیک های فرکانسی شرایط برشی از حالت ایده آل و مطلوب فاصله می گیرد. و نشان از شکل گیری عوامل مزاحم و ناخوشایند در ماشینکاری دارد.



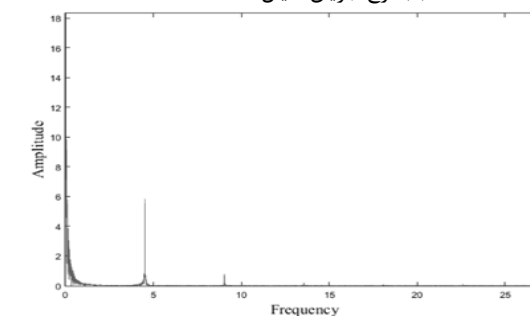
(a) حالت خشک



(b) نرخ جریان سیال  $100 \text{ cm}^3/\text{h}$



(c) نرخ جریان سیال  $200 \text{ cm}^3/\text{h}$



(d) نرخ جریان سیال  $300 \text{ cm}^3/\text{h}$

Fig.5. FFT diagram of cutting force signal when  $V_c = 30 \text{ m/min}$   
شکل 5 نمودار FFT سیگنال نیرو در سرعت برشی 30 متر بر دقیقه

<sup>4</sup> Semi-Dry3

<sup>1</sup>Dry  
<sup>2</sup>Semi-Dry1  
<sup>3</sup>Semi-Dry2

هستند، لذا با فرض اینکه افزایش نرخ جریان سیال برشی باعث کاهش دما در ناحیه برشی میشود، میتوان علت افزایش دامنه فرکانس دوران اسپیندل و

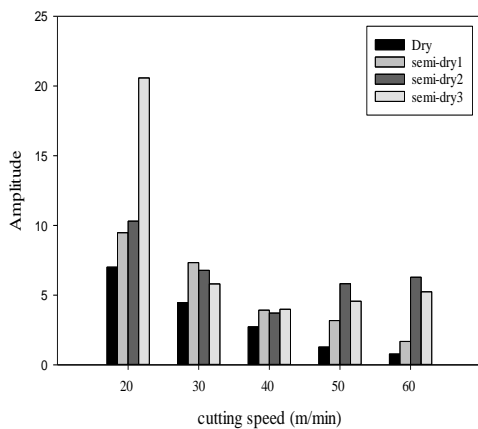


Fig.7. Frequency domain diagram of the work part under different cutting conditions

شکل 7 نمودار مقدار دامنه فرکانس سرعت دوران قطعه کار در حالات مختلف روانکاری

بالتبع کاهش قابلیت ماشینکاری را کاهش دما دانست. بطور کلی با کاهش دما در ناحیه ماشینکاری یک نوع کارسختی در ماده ایجاد می گردد که باعث افزایش تنش سیلان و کاهش قابلیت ماشینکاری می گردد. در سرعت های برشی 40 و 50 متر بر دقیقه، تغییر فاحشی در دامنه فرکانس دوران اسپیندل در نرخ های متفاوت سیال مشاهده نمی شود. در واقع می توان گفت که نرخ جریان برشی تفاوت محسوسی در دامنه فرکانسی دوران اسپیندل ایجاد نمی کند. اما در سرعت های برشی 50 و 60 متر بر دقیقه، تفاوت بین این دامنه ها بیشتر شده است. با افزایش سرعت برشی، در پاشش صحیح سیال برشی به منطقه برشی اخلال ایجاد شده و همچنین با افزایش نرخ جریان برشی، میزان این اخلال تغییر می کند. در واقع با توجه به اینکه امکان کنترل صحیح سیال برشی در منطقه برشی وجود ندارد، ایجاد این تغییرات طبیعی به نظر می رسد.

#### زبری سطح

همانطور که قبلا اشاره شد، کامپوزیت پایه تیتانیومی ماده ای سخت-برش است. بنابراین، شرایط برش اولیه می تواند کیفیت سطح را تحت تاثیر قرار دهد. برای تعریف بهتر ویژگیهای سطح، میانگین و میانگین ریشه (RMS) مقادیر زبری سطح که به صورت Ra و Rq معرفی میشوند به عنوان متغیرهای اصلی کیفیت سطح مورد بررسی قرار گرفتند. اثرات پارامترهای برشی و حالت های روانکاری در هر دو متغیر در بخش ورودی و بخش های خروجی قطعه کار مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت (شکل 2). با ارزیابی پیشرفت ابزار برشی در قطعه کار در شرایط خشک و نیمه خشک مشاهده گردید که مقادیر Ra و Rq بیشتری در سرعت های برشی بالاتر مشاهده شد. به طور خاص انتظار می رود که در تعداد کمی از موارد، مقادیر بالاتر Ra و Rq در سمت خروج دیده شوند. این در حالی است که بر خلاف شرایط برش خشک و با وجود سرعت برشی مورد استفاده، کیفیت سطح در سطح ورودی بیشتر از بخش خروج قطعه کار دیده می شود (شکل 8 و 9). این پدیده می تواند به طور مستقیم با سرعت سایش ابزار در لحظات اولیه فرآیند برش تحت حالت خشک که نه تنها نیروهای برش را افزایش می دهد، بلکه بر سرعت سایش ابزار و کیفیت سطح نیز تاثیر می گذارد در ارتباط باشد. این وجود و به علت وجود پوشش ابزار، کیفیت

کاهش دامنه فرکانس مربوط به دوران اسپیندل و بهبود شرایط برش را می توان در این امر جستجو کرد که با افزایش سرعت برشی در حالت های خشک و نیمه خشک 1، دما در منطقه برشی افزایش یافته و در نتیجه باعث نرمتر شدن تیتانیوم و کاهش تنش سیلان آن میشود. این پدیده سبب کاهش دامنه فرکانس دوران اسپیندل و شرایط برش میشود. به بیان دیگر این مزیت بر تاثیر منفی سایش ابزار در سرعت برشی بالاتر غلبه کرده است. در حالت های نیمه خشک 2 و 3، روند کاهش دامنه فرکانس دوران اسپیندل تا سرعت برشی 40 متر بر دقیقه مانند دو حالت قبل ادامه داشته است، اما در سرعت های برشی بیشتر روند افزایشی مشاهده میشود. علت مشاهدات مذکور را میتوان به این صورت بیان کرد که باتوجه به اینکه در این دو حالت برشی به ترتیب از دو سه نازل استفاده شده است، در واقع با توجه افزایش سرعت برشی، پاشش به صورت درست و در ناحیه مناسب برشی اتفاق نمی افتد و صرفا سبب خنک کردن اطراف منطقه برشی می گردد.

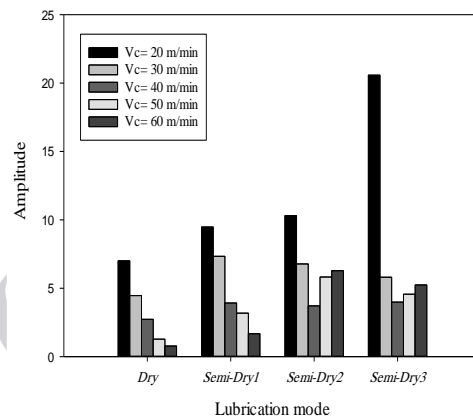


Fig.6. Frequency domain diagram of the work part under different lubrication modes

شکل 6 نمودار مقدار دامنه فرکانس سرعت دوران قطعه کار در حالات مختلف روانکاری

در مقایسه با آزمایشات انجام یافته در سرعت ثابت و شرایط متفاوت روانکاری، همانگونه که در نمودار شکل 6 نشان داده شده است، در سرعت برشی 20 متر بر دقیقه، ماشینکاری خشک دارای کمترین دامنه فرکانس به نسبت سه حالت دیگر بوده و هرچه نرخ جریان سیال افزایش یابد، دامنه فرکانس نیز افزایش می یابد. در واقع در این سرعت برشی، سیال برشی نه تنها هیچ کارآیی مفیدی نداشته، بلکه باعث نامطلوب شدن شرایط برشی شده است. این بدین معنی نیست که استفاده از سیال برشی در ماشینکاری امری بهبوده است. بلکه این نکته را یادآور می شود که همیشه و در هر شرایطی سیال برشی نمی توان استفاده کرد و در اعمال سیال برشی به پارامترهای ماشینکاری، جنس قطعه کار و جنس ابزار برشی باید توجه داشت. در بقیه حالت های روانکاری و در سرعت های ثابت 30-60 متر بر دقیقه (روانکاری با نرخ جریان متفاوت) نیز این نکته به وضوح قابل مشاهده است که وجود سیال برشی هیچ مزیت و بهبودی در شرایط برش ایجاد نکرده است و بالعکس سبب افزایش دامنه فرکانس دوران اسپیندل شده است. به بیان ساده تر نمی توان در هر شرایطی از سیال برشی استفاده کرد. با توجه به اینکه در یک سرعت ثابت و در شرایط استفاده یا عدم استفاده از سیال برشی فقط دما و ضریب اصطکاک متغیر

قطعه کار در حالت های خشک و نیمه خشک (در نرخ های مختلف جریان) میباشد. مضافاً، سیگنالهای دریافتی نیروهای برشی در حوزه فرکانس مورد مطالعه قرار گرفتند تا بتوان تحلیلی بهتری از رفتار و اثرات پارامترهای برشی بر نیروهای برشی و کیفیت سطح قطعه کار داشت. بر اساس بررسی های صورت گرفته، نتایج ذیل به دست آمد:

- با افزایش سرعت برشی در حالت ماشینکاری خشک، پیک مربوط به فرکانس سرعت دورانی قطعه کار با کاهش دامنه همراه بود. علت این امر را می توان افزایش دما در منطقه برشی و کاهش تنش سیلان و بهبود شرایط برش دانست. این افزایش در سرعت های مذکور به حدی زیاد نیست که موجب کاهش قابلیت ماشینکاری گردد.

- در سرعت برشی کم و در هنگام تغییر شرایط روانکاری از خشک به نیمه خشک، پاشش سیال و همچنین افزایش نرخ جریان سیال برشی منجر به افزایش دامنه فرکانس سرعت دوران قطعه کار شده و نه تنها هیچ بهبودی در شرایط برش حاصل نمی شود بلکه فیلم روانکار پاشیده شده در ناحیه برش سبب کاهش دما می شود. با توجه به اینکه دمای مذکور آنچنان بالا نیست که با کاهش دما و ضریب اصطکاک شرایط برش بهتر شود، این کاهش دما سبب ایجاد یک کار سختی ثانویه شده و تنش سیلان ماده افزایش می یابد. و شرایط ماشینکاری را از حالت مطلوب دور میکند.

- در سرعت های برشی بیشتر، ماشینکاری در شرایط خشک نسبت به ماشینکاری با سیال برشی دارای دامنه فرکانس سرعت دوران قطعه کار کمتر بود، اما تغییر در نرخ سیال برشی تغییر اندکی در جهت افزایش این دامنه به وجود آورد. افزایش نرخ سیال برشی لزوماً باعث بهبود شرایط برش نمی گردد. به عبارتی دیگر، با افزایش نرخ جریان، میزان نفوذ بیشتری از سیال در منطقه برش لزوماً اتفاق نمی افتد و تغییر خاصی در منطقه برش ایجاد نمی کند.

- زبری سطح اندازه گیری شده در منطقه خروج ابزار برشی به علت سایش ابتدایی ابزار و تشکیل پلیسه به مراتب بیشتر از مرحله ورود ابزار است. در واقع اندازه گیری زبری سطح در سرعت برشی و شرایط روانکاری مختلف، نتایج آنالیز سیگنال را تصدیق می کند. در حقیقت در ماشینکاری با شرایط فوق، استفاده از روانکار و افزایش نرخ جریان سیال هیچ کمکی به بهبود شرایط ماشینکاری نکرده و صرفاً باعث افزایش هزینه ماشینکاری و نامساعد نمودن شرایط ماشینکاری (افزایش زبری سطح و نیروی های برشی) میشود.

- نکته مهمی که باید به آن توجه شود استفاده بجا و درست از سیال برشی است و نمی توان گفت که سیال برشی همیشه شرایط برش را بهبود می بخشد. بلکه استفاده سیال برشی و یا عدم استفاده از سیال برشی بستگی به جنس ابزار و مقدار پارامتر های برشی و جنس قطعه کار دارد.

#### 4-مراجع

- [1] T. Ishida et al., "Helical Milling of Carbon Fiber Reinforced Plastics Using Ultrasonic Vibration and Liquid Nitrogen," *Procedia Cirp*, Vol. 24, pp. 13-18, 2014.
- [2] S. Kannan, H. Kishawy, and M. Balazinski, "Flank Wear Progression During Machining Metal Matrix Composites,"

سطح بهتری در هنگام پیشرفت ابزار برش در قطعه کار مشاهده شد. روند متفاوتی نیز در حالت نیمه خشک وجود داشت و به طور کلی مقادیر بالاتر Ra و Rq در سرعت بالاتر بدست آمد.

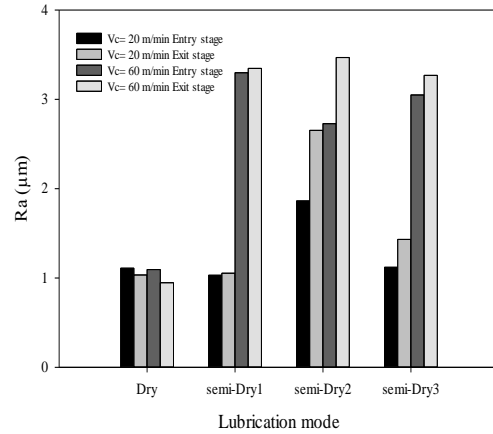


Fig. 8 The Ra at various lubrication mode

شکل 8 نمودار Ra در شرایط مختلف برشی

نکته مورد توجه در پردازش سیگنال در اندازه گیری زبری سطح این است که پاشش روانکار هیچ گونه بهبودی در شرایط برش که یکی از این شرایط کیفیت سطح است ایجاد نکرده و بلکه باعث افزایش زبری سطح و کاهش کیفیت سطح می گردد. که این نکته نیز در واقع تأثیر مخرب افزایش نرخ جریان سیال برشی را نسبت به حالت خشک تصدیق می کند. البته با افزایش نرخ جریان بین حالت های نیمه خشک تأثیری محسوس در زبری سطح اتفاق نمی افتد.

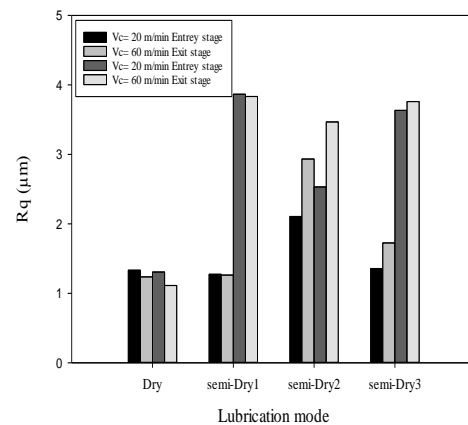


Fig. 9 The Rq at various lubrication modes

شکل 9 نمودار Rq در حالات مختلف روانکاری

#### 3-نتیجه گیری

هدف اصلی این پژوهش همانگونه که پیش تر اشاره شد بررسی اثرات پارامترهای برشی بر روی ویژگی های مهم ماشین کاری از جمله کیفیت سطح

- Journal of manufacturing science and engineering, Vol. 128, No. 3, pp. 787-791, 2006.
- [3] V. Songmene and M. Balazinski, "Machinability of Graphitic Metal Matrix Composites as a Function of Reinforcing Particles," CIRP Annals-Manufacturing Technology, Vol. 48, No. 1, pp. 77-80, 1999.
- [4] S. A. Niknam, R. Khatabi, and V. Songmene, "Machinability and Machining of Titanium Alloys: a Review," in Machining of titanium alloys: Springer, 2014, pp. 1-30.
- [5] S. B. Amini, M. and Moeini Afzal, M, "Statistical Study of the Effect of Various Machining Parameters on Delamination in Drilling of Carbon Fiber Reinforced Composites," Journal of Science and Technology of Composites, In Persian Vol. 5, No. 1, pp. 41-50, 2018.
- [6] M. a. A. Baraheni, S" ,Study of the Effect of Machining Parameters on Delamination in Rotary Ultrasonic Machining Process of Glass Fiber Reinforced Polymer Composite by Diamond Core Tool," , In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, In Persian Vol. 4, No. 1 .pp. 66-74, 2017.
- [7] M. Aramesh, B. Shi, A. Nassef, H. Attia, M. Balazinski, and H. Kishawy, "Meta-modeling optimization of the cutting process during turning titanium metal matrix composites (Ti-MMCs)," Procedia CIRP, Vol. 8, pp. 576-581, 2013.
- [8] S. Kamali Zadeh, "Initial Tool Wear Mechanisms in Turning of Titanium Metal Matrix Composites," École Polytechnique de Montréal, 2016.
- [9] R. Bejjani, M. Balazinski, H. Attia, P. Plamondon, and G. L'Espérance, "Chip Formation and Microstructure Evolution in the Adiabatic Shear Band when Machining Titanium Metal Matrix Ccomposites," International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 109, pp. 137-146, 2016.
- [10]M. Aramesh, "Machinability of Titanium Metal Matrix Composites (Ti-MMCs)," École Polytechnique de Montréal, 2015.
- [11]R. Bejjani, "Machinability and Modeling of Cutting Mechanism for Titanium Metal Matrix Composites," École Polytechnique de Montréal, 2012.
- [12]R. Bejjani, B. Shi, H. Attia, and M. Balazinski, "Laser Assisted Turning of Titanium Metal Matrix Composite," CIRP Annals-Manufacturing Technology, Vol. 60, No. 1, pp. 61-64, 2011.
- [13]W. T. Cochran et al., "What is the Fast Fourier Transform?," Proceedings of the IEEE, Vol. 55, No. 10, pp. 1664-1674, 1967.
- [14]M. R. Razfar, "" pp. 185-205 ,2011" , Machining and Tool Principles," First ed., Amirkabir University ,Tehran,(In persian), pp. 185-205, 2011.