



## Experimental Study of the Effect of Vertical Depth and Lateral Pass on Surface Roughness of in the Burnishing Process of Aluminum 7075-T6 Plate



### ARTICLE INFO

#### Authors

Roohi H<sup>1\*</sup>,  
Baseri H<sup>1</sup>,  
Mirnia MJ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

#### \* Correspondence

Address: Babol Noshirvani University of Technology, Shariati Ave., Babol, Mazandaran, Iran  
h.baseri@nit.ac.ir

#### How to cite this article

Roohi H, Baseri H, Mirnia MJ. Experimental Study of the Effect of Vertical Depth and Lateral Pass on Surface Roughness of in the Burnishing Process of Aluminum 7075-T6 Plate. Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2<sup>nd</sup> Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022;22(10):195-199.

### ABSTRACT

The high costs and problems in finishing machining, especially aluminum alloys, have increased the importance of surface treatment processes without chipping, such as burnishing. In this paper, in the burnishing process of AA7075-T6 aluminum plate, the effect of vertical depth and lateral pass on the surface roughness was experimentally studied with a new approach of choosing the lateral pass as a variable depending on penetration radius of the burnishing. The results of interaction effects of the input parameters showed that, in general, the quality of the surface increases with the reduction of the lateral pass and vertical depth. At lower values of vertical depth, with the increase of lateral pass, the increase of surface roughness occurs with a slower slope which shows that in the lower vertical depths, a larger lateral pass can be used to achieve the desired surface quality in a shorter process time. The highest percentage of surface roughness improvement was about 96%. Simultaneous examination of the results of roughness and process time showed that burnishing with vertical depth and lateral pass of 0.04 and 0.33 mm, respectively, which improves the surface roughness by 86.63% in an effective time of 1.86 minutes, had the best performance index.

**Keywords** Burnishig, Surface Roughness, AA7075-T6

ماهنامه علمی مکنیک مدرس، ویژهنامه مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته. مهر ۱۴۰۱، دوره ۲۲، شماره ۱۰، صفحه ۱۹۵-۱۹۹.



## مطالعه تجربی تاثیر عمق بار و گام عرضی بر روی زبری سطح در فرآیند برنیشینگ صفحه آلومینیوم 7075-T6



### چکیده

هزینه‌ها و مشکلات فراوان ماشین‌کاری پرداخت فلزات به‌خصوص آلیاژهای آلومینیوم، اهمیت فرآیندهای عملیات سطح بدون براده‌برداری مانند برنیشینگ را روزافزون نموده است. در این مقاله، اثر عمق بار عمودی و گام عرضی بر روی زبری سطح در فرآیند برنیشینگ صفحه آلومینیومی AA7075-T6، با رویکرد نوینی از انتخاب گام عرضی، به صورت متغیر وابسته به شعاع نفوذ برنیشینگ بر سطح، مورد مطالعه تجربی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از اثرات برهم‌کنشی پارامترها نشان داد که به‌طور کلی، با کاهش گام عرضی و عمق بار عمودی، کیفیت سطح افزایش می‌یابد. در مقادیر کمتر عمق بار، در اثر افزایش گام عرضی، افزایش زبری سطح با شیب آهسته‌تری رخ می‌دهد که نشان می‌دهد در عمق‌بارهای کم می‌توان از گام عرضی بزرگ‌تری استفاده نمود تا در عین رسیدن به کیفیت سطح مطلوب، زمان فرآیند نیز کوتاه‌تر شود. بیشترین درصد بهبود زبری سطح به ترتیب حدود ۹۶ درصد بوده است. بررسی همزمان نتایج زبری و زمان فرآیند نشان داد که برنیشینگ با مقادیر عمق بار و گام عرضی به ترتیب ۰/۰۴ و ۰/۳۳ میلی‌متر که بهبود زبری سطح ۸۶/۶۳ درصدی را در زمان موثر ۱/۸۶ دقیقه ایجاد می‌کند، بهترین قابلیت عملکردی را داشته است.

### مشخصات مقاله

#### نویسنده‌ها

حسین روحی<sup>۱</sup>  
حمید باصری<sup>۱\*</sup>  
محمدجواد میرنیا<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل

#### \* نویسنده مسئول

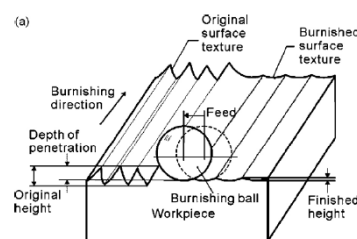
آدرس: ایران، مازندران، بابل، خیابان شریعتی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

h.baseri@nit.ac.ir

**کلیدواژه‌ها:** برنیشینگ، زبری سطح، آلومینیوم 7075-T6

## ۱- مقدمه

برنیشینگ (Burnishing) یکی از فرآیندهای پرداختکاری سطح به صورت بدون براده برداری بوده و عبارت است از فروبری یک ابزار (معمولا غلتکی یا گلوله‌ای) بر روی سطح قطعه کار (شکل ۱-۱). در این فرآیند، با اعمال نیروی فشاری و عبور از حد تسلیم ماده، ناهمواری‌های سطح دچار تغییر شکل پلاستیک شده و تخت می‌شوند [1].



شکل ۱) شمای فرآیند برنیشینگ [2]

کاهش زبری سطح و ایجاد تنش‌های فشاری در فرآیند برنیشینگ موجب بهبود خواص سطحی و مکانیکی قطعه از جمله مقاومت به خستگی، سختی، سطح، مقاومت به خوردگی و مقاومت به سایش می‌شود [3]. با توجه به به کارگیری آسان و صرفه اقتصادی روش برنیشینگ نسبت به روش‌های رایج پرداختکاری از جمله سنگ‌زنی، هونینگ (Honing)، لپینگ (Lapping)، کاربرد روزافزونی در صنایع مختلف داشته است. همچنین برای صیقل دادن سطح برخی از فلزات غیر آهنی که سنگ‌زنی آنها سخت است، برنیشینگ می‌تواند جایگزین مناسبی باشد. همچنین با توجه به بهبود خواص مکانیکی سطح می‌توان از این فرآیند به منظور عملیات سطحی برای تولید قطعاتی که در معرض بارگذاری‌های چرخه‌ای (Cyclic) قرار می‌گیرند، در صنایع گوناگونی همچون وسایل نقلیه، مهندسی پزشکی و هوافضا استفاده نمود [4].

از پژوهش‌های انجام شده در حوزه فرآیند برنیشینگ می‌توان به بررسی تأثیر برنیشینگ گلوله‌ای بر روی مقاومت خستگی میله فولادی AISI 1045 توسط اَوِیلس و همکارانش [5] اشاره نمود. نتایج مهم این پژوهش، افزایش ۲۱ درصدی حد خستگی، کاهش ۸۲ درصدی زبری سطح و کاهش ۵۰ درصدی اندازه دانه ریز ساختار سطح بعد از برنیشینگ بوده است.

روُنکار و همکاران [6] با استفاده از روش طراحی آزمایش تاگوچی اثر هر یک از پارامترهای نیروی عمودی، تعداد عبور ابزار، سرعت برشی و سرعت پیشروی را در برنیشینگ گلوله‌ای قطعات میله‌گرد جنس تیتانیوم Ti-6Al-4V مورد بررسی قرار دادند و به بهبود ۷۷ درصدی کیفیت سطح دست یافتند. امینی و همکاران [7] با به کارگیری امواج التراسونیک در فرآیند برنیشینگ گلوله‌ای به بررسی اثر پارامترهای فرآیند بر روی زبری و سختی سطح

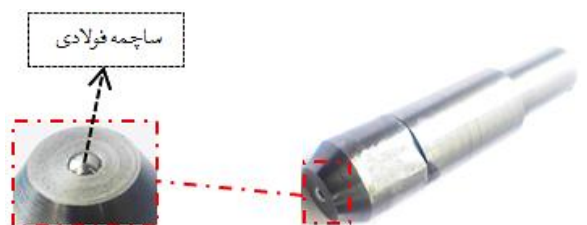
ورق‌های به ضخامت دو میلیمتر از جنس‌های فولاد AISI 1045 و آلومینیوم AA 6061 پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد به کارگیری امواج التراسونیک، موجب بهبود عمق سختی و زبری سطح می‌گردد. سیلوا-آلوارز و همکارانش [8] در بررسی تجربی سلامت سطح پیشانی میله‌گرد آلیاژ CoCrMo در فرآیند برنیشینگ، مقاومت به خوردگی را به میزان بیش از ۹۰ درصد و زبری سطح را بیش از ۷۰ درصد بهبود دادند. اتابی و همکارانش [9] در بررسی تجربی خواص مکانیکی و سایشی فولاد ضدزنگ 316L حاصل از عملیات برنیشینگ، میکروسختی و مقاومت به سایش سطح را به ترتیب به میزان ۳۸ و ۶۵ درصد افزایش بخشیدند.

در این مقاله به بررسی تأثیر پارامترهای عمق بار و پاس عرضی بر روی زبری سطح صفحه آلومینیومی AA7075-T6 پرداخته و رویکردی متفاوت نحوه انتخاب پارامترهای ورودی در جهت بهینه نمودن زبری سطح ارائه خواهد شد.

## ۲- مجموعه آزمایشگاهی

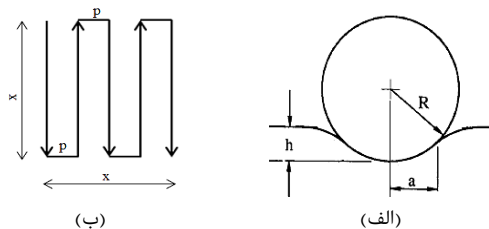
به منظور اجرای فرآیند برنیشینگ بر روی صفحه، از دستگاه فرز کنترل عددی کامپیوتری (CNC) با کنترل کننده فانوک استفاده شد. تمام آزمون‌ها بر روی یک قطعه صفحه آلومینیومی AA7075-T6 انجام شده است. ابزار برنیشینگ که در شکل ۲ نشان داده شده است، از دو قسمت دنباله و ساچمه کروی ساخته شده است. جنس دنباله از فولاد AISI 1045 بوده و جنس ساچمه، فولاد AISI 52100 است که سخت کاری شده و دارای مقاوم به سایش بالایی می‌باشد. لازم به ذکر است که ساچمه فولادی به صورت پیش ساخته تهیه شده است. مجموعه آزمایشگاهی مورد نظر در شکل ۳ مشخص می‌باشد.

پیش از اجرای عملیات برنیشینگ و به جهت آماده سازی و یکنواخت نمودن سطح اولیه قطعه کار، یک مرحله عملیات کف-تراشی توسط فرز کنترل عددی کامپیوتری، با ابزار دو تیغه کاربایدی، سرعت دورانی ۲۰۰۰ دور در دقیقه، سرعت پیشروی ۵۰۰ میلی‌متر بر دقیقه و عمق بار ۱ میلی‌متر انجام شد.



شکل ۲) ابزار برنیشینگ ساخته شده

موثر فرآیند (t) بر حسب پارامترهای ابعاد سطح (x)، گام عرضی (p)، سرعت پیشروی (v) و تعداد عبور ابزار (n) طبق رابطه (۲) به دست می آید. با دقت در رابطه (۲) می توان دریافت با افزایش گام عرضی، زمان فرآیند برنیشینگ کاهش خواهد یافت.



شکل ۵) پروفیل نفوذ ابزار برنیشینگ بر سطح قطعه کار (الف) و مسیر حرکتی جاروب سطح برنیشینگ (ب)

$$a = \sqrt{(2 \times R \times h - h^2)} \quad (1)$$

$$t = n \times \left( \left( \frac{x}{p} \right) \times \left( \frac{x}{v} + \frac{p}{v} \right) \right) = n \times \left( \frac{x \times (x+p)}{p \times v} \right) \quad (2)$$

در پژوهش های پیشین، گام عرضی برنیشینگ، مقداری ثابت یا دارای چند سطح مستقل از سایر پارامترها بوده است. در این مقاله برای اولین بار، پارامتر گام عرضی به صورت وابسته به عمق بار عمودی سطح بندی شده است. هدف از این نوآوری بهبود عملکردی فرآیند از لحاظ نتیجه زبری نهایی و زمان فرآیند می باشد. در این پژوهش، پارامتر گام عرضی برنیشینگ، با دو سطح وابسته ۰/۲ و ۰/۶ برابر شعاع نفوذ (رابطه (۱)) انتخاب شده است. پارامترهای ورودی متغیر و ثابت برنیشینگ در جدول های ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱) پارامترهای متغیر برنیشینگ

| گام عرضی<br>۰/۶*a<br>(میلی متر) | شعاع<br>نفوذ<br>گام عرضی ۰/۲*a<br>(میلی متر) | عمق بار<br>عمودی<br>قطر ساچمه<br>(میلی متر) | شعاع<br>نفوذ<br>(میلی متر) | سایر پارامترها |
|---------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|----------------|
| ۰/۳۳                            | ۰/۱۱                                         | ۰/۵۵                                        | ۸                          | ۰/۰۴           |
| ۰/۵۱                            | ۰/۱۷                                         | ۰/۸۵                                        | ۸                          | ۰/۰۹           |
| ۰/۶۳                            | ۰/۲۱                                         | ۱/۰۵                                        | ۸                          | ۰/۱۴           |

جدول ۲) پارامترهای ثابت برنیشینگ

| جنس<br>ساچمه | سرعت پیشروی<br>(میلی متر بر<br>دقیقه) | تعداد عبور | مسیر حرکت ابزار          | روانکار        |
|--------------|---------------------------------------|------------|--------------------------|----------------|
| فولادی       | ۱۵۰۰                                  | ۴          | عمود بر جهت<br>ماشینکاری | گریس و<br>روغن |

### ۳- نتایج و تفسیر

پس از اجرای آزمون ها، صفحه آلومینیومی روغن و گریس روی صفحه به طور کامل پاک سازی و آماده اندازه گیری زبری شد. شکل ۶ دو قسمت از سطح قبل (ماشینکاری) و پس از برنیشینگ را نشان می دهد. در جدول ۳، نتایج به دست آمده از اندازه گیری زبری سطح  $R_a$  به وسیله دستگاه زبری سنج مهر



شکل ۳) تجهیزات مجموعه آزمایشگاهی فرآیند برنیشینگ صفحه

### ۲-۱- پارامترهای ورودی فرآیند

در فرآیند برنیشینگ صفحه، پارامترهای ورودی شامل عمق بار عمودی، گام عرضی، سرعت پیشروی، قطر نوک ابزار، تعداد عبور، مسیر حرکتی ابزار و روانکار می باشد. در این پژوهش پارامترهای عمق بار عمودی و گام عرضی به عنوان متغیر در نظر گرفته شده و سایر پارامترها ثابت باقی مانده است.

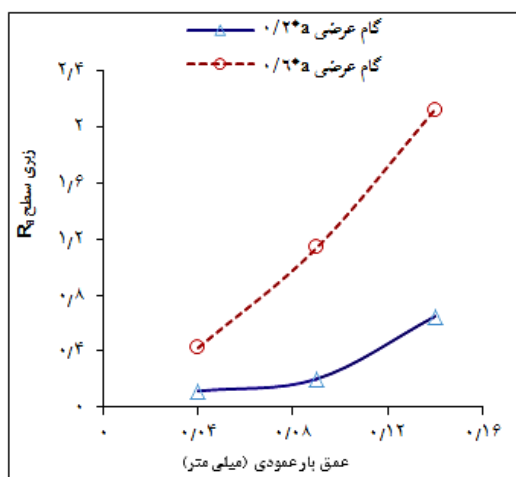
### ۲-۱-۱- انتخاب سطوح پارامترهای ورودی

با توجه به اینکه پروفیل و زبری نهایی سطح صفحه برنیش شده، به طور مستقیم از پارامترهای بارگذاری بر روی قطعه اثر می پذیرد [10]. انتخاب سطوح پارامترهای عمق بار عمودی و گام عرضی دارای اهمیت زیادی است. در این مقاله رویکرد نوینی برای انتخاب سطوح پارامتر بارگذاری مورد بررسی قرار گرفته است.

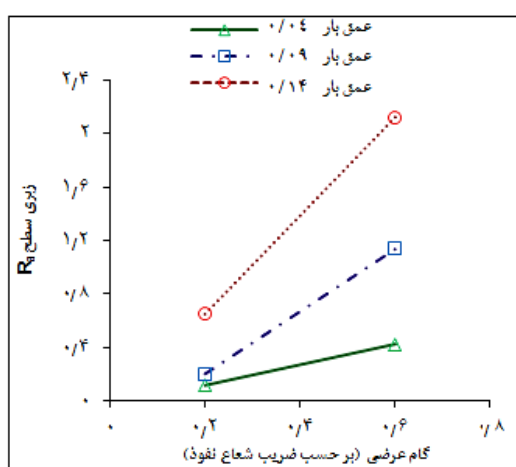
با مطالعه مفهوم های دو مقیاس زبری سنجی متداول  $R_z$  و  $R_a$  می توان دریافت ارتفاع زبری سطح اولیه با مقیاس  $R_z$  هم ارز است. بنابراین حداقل میزان عمق بار عمودی باید بیشتر از مقدار  $R_z$  سطح اولیه باشد. در این مقاله زبری  $R_z$  سطح پس از ماشینکاری کف تراشی برابر با ۲۴/۱۸ میکرون بوده و از این رو حداقل عمق بار عمودی ۴۰ میکرون (۰/۰۴ میلی متر) و حداکثر مقدار آن ۱۴۰ میکرون (۰/۱۴ میلی متر) در نظر گرفته شده است.

شکل ۵ (الف)، شمای پروفیل نفوذ نوک کروی ابزار برنیشینگ بر سطح قطعه را نشان می دهد. همان طور که در این شکل مشخص است، پارامترهای عمق بار عمودی، شعاع نوک ابزار و شعاع نفوذ موثر بر قطعه به هم وابسته می باشند. گام عرضی در برنیشینگ می بایست کوچکتر از مقدار شعاع نفوذ موثر باشد تا تمام نقاط سطح قطعه جاروب و پوشش داده شود. رابطه (۱) شعاع نفوذ موثر را بر حسب دو پارامتر دیگر به دست می دهد.

تاثیر مقدار گام عرضی بر روی زمان برنیشینگ، از لحاظ شاخص عملکردی فرآیند، دارای اهمیت به سزایی می باشد. شکل ۵ (ب)، مسیر حرکتی جاروب سطح برنیشینگ را نشان می دهد. زمان



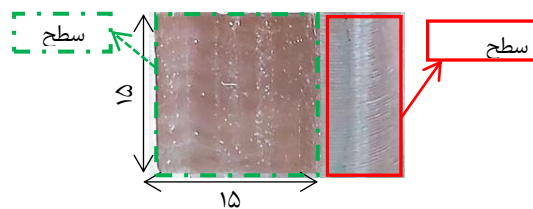
شکل ۷) اثر عمق بار عمودی بر زبری سطح در گام‌های عرضی متغیر



شکل ۸) اثر گام عرضی بر روی زبری سطح در عمق‌های عمودی متغیر

قابلیت عملکردی فرآیند را می‌توان با بررسی زمان موثر برنیشینگ در مقادیر بهبود زبری سطح مطلوب، مورد بررسی قرار داد. شکل ۹ آثار ترکیبی عمق بار عمودی و گام عرضی بر روی زمان برنیشینگ را نشان می‌دهد. بیشترین زمان برنیشینگ مربوط به آزمون ۱ با ۵/۴۹ دقیقه است. این امر نشان می‌دهد اگرچه بهترین کیفیت سطح مربوط به آزمون ۱ است، از لحاظ زمان صرف شده این آزمون قابلیت عملکردی بسیار پایینی دارد، زیرا در برنیشینگ سطوح با ابعاد بالاتر و غیر آزمایشگاهی، این زمان به صورت تصاعد هندسی افزایش خواهد یافت که مقرون به صرفه نبوده و کارایی بسیار کمی دارد. از این رو با بررسی همزمان نتایج بهبود زبری و زمان فرآیند برنیشینگ می‌توان دریافت که آزمون‌های ۲ و ۵ با بهبود زبری سطح به ترتیب ۸۶/۶۳ و ۷۹/۵۹ درصدی و زمان برنیشینگ به ترتیب ۱/۸۶ و ۲/۹۱ دقیقه‌ای، قابلیت عملکردی بهتری نسبت به سایر آزمون‌ها داشته‌اند.

(Mahr) و زمان موثر فرآیند (با استفاده از رابطه (۲)) آورده شده است. محدوده جاروب هر آزمون، یک مربع ۱۵ در ۱۵ میلی‌متر بر روی صفحه آلومینیومی بوده و مقدار زبری سطح  $R_a$  قبل از برنیشینگ، برابر ۳/۱۸۲ میکرون اندازه‌گیری شده است.



شکل ۶) سطح قطعه کار، قبل و پس از برنیشینگ

جدول ۳) نتایج آزمون‌های برنیشینگ

| آزمون | عمق بار عمودی (میلی‌متر) | گام عرضی (میلی‌متر) | زبری سطح $R_a$ (میکرون) | بهبود زبری سطح (درصد) | زمان فرآیند (دقیقه) |
|-------|--------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| ۱     | ۰/۰۴                     | ۰/۱۱                | ۰/۱۱۷                   | ۹۶/۳۲                 | ۵/۴۹                |
| ۲     | ۰/۰۴                     | ۰/۳۳                | ۰/۴۲۵                   | ۸۶/۶۳                 | ۱/۸۶                |
| ۳     | ۰/۰۹                     | ۰/۱۷                | ۰/۲۰۲                   | ۹۳/۶۵                 | ۳/۵۷                |
| ۴     | ۰/۰۹                     | ۰/۵۱                | ۱/۱۳۷                   | ۶۴/۲۵                 | ۱/۲۲                |
| ۵     | ۰/۱۴                     | ۰/۲۱                | ۰/۶۴۹                   | ۷۹/۵۹                 | ۲/۹۱                |
| ۶     | ۰/۱۴                     | ۰/۶۳                | ۲/۱۲۴                   | ۳۳/۲۱                 | ۰/۹۹                |

با توجه به اینکه پارامتر گام عرضی به صورت وابسته به عمق بار عمودی انتخاب شده، تاثیر پارامترهای متغیر فرآیند بر روی نتایج به دست آمده به صورت برهم‌کنشی در نظر گرفته شده که مفهوم حقیقی‌تری از اثر بارگذاری را ارائه می‌نماید. نمودارهای شکل‌های ۷ و ۸، اثرات ترکیبی عمق بار عمودی و گام عرضی را بر روی زبری سطح  $R_a$  نشان می‌دهند. همان‌گونه که مشخص است، به‌طور کلی با افزایش گام عرضی و عمق بار عمودی، زبری سطح افزایش می‌یابد. در مقادیر کمتر عمق بار، در اثر افزایش گام عرضی، افزایش زبری سطح با شیب آهسته‌تری رخ می‌دهد که نشان می‌دهد در عمق‌های کم می‌توان از گام عرضی بزرگ‌تری استفاده نمود تا در عین رسیدن به کیفیت سطح مطلوب، زمان فرآیند کوتاه‌تر شود. بهترین کیفیت سطح مربوط به آزمون‌های ۱ و ۳ است که به ترتیب حدود ۹۶ و ۹۳ درصد، کیفیت سطح اولیه قطعه کار را بهبود بخشیده است. در پژوهش‌های پیشین، بیشترین مقدار بهبود زبری سطح تا ۸۲ درصد گزارش شده است [5]. در آزمون ۶ با توجه به بیشینه بودن مقادیر گام عرضی و عمق بار عمودی، زبری سطح بالاتری به دست آمده که نشان می‌دهد در عمق بار بالاتر، نمی‌توان از گام عرضی بزرگ استفاده نمود.

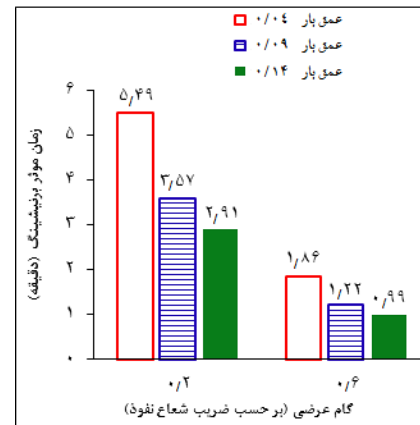
**تاییدیه اخلاقی:** کلیه داده های این مقاله از پایان نامه دکتر آقایی حسین روحی استخراج شده و قبلاً منتشر نشده است.

**تعارض منافع:** هیچگونه تعارض منافی وجود ندارد.

**منابع مالی:** هزینه ای این پژوهش از گزنت پایان نامه آقای حسین روحی در دانشگاه نوشیروانی بابل انجام شده است.

## مراجع

- 1- Luca L, Neagu-Ventzel S, Marinescu I. Effects of working parameters on surface finish in ball-burnishing of hardened steels. Precision engineering. 2005 Apr 1; 29(2):253-6.
- 2- Shiou FJ, Cheng CH. Ultra-precision surface finish of NAK80 mould tool steel using sequential ball burnishing and ball polishing processes. Journal of materials processing technology. 2008 May 26; 201(1-3):554-9.
- 3- Mahajan D, Tajane R. A review on ball burnishing process. International Journal of Scientific and Research Publications. 2013 Apr; 3(4):1-8.
- 4- Zhang T, Bugtai N, Marinescu ID. Burnishing of aerospace alloy: a theoretical-experimental approach. Journal of Manufacturing Systems. 2015 Oct 1; 37:472-8.
- 5- Avilés R, Albizuri J, Rodríguez A, De Lacalle LL. Influence of low-plasticity ball burnishing on the high-cycle fatigue strength of medium carbon AISI 1045 steel. International journal of fatigue. 2013 Oct 1; 55:230-44.
- 6- Revankar GD, Shetty R, Rao SS, Gaitonde VN. Analysis of surface roughness and hardness in ball burnishing of titanium alloy. Measurement. 2014 Dec 1; 58:256-68.
- 7- Amini S, Bagheri A, Teimouri R. Ultrasonic-assisted ball burnishing of aluminum 6061 and AISI 1045 steel. Materials and Manufacturing Processes. 2018 Aug 18; 33(11):1250-9.
- 8- Silva-Álvarez DF, Márquez-Herrera A, Saldaña-Robles A, Zapata-Torres M, Mis-Fernández R, Peña-Chapa JL, Moreno-Palmerín J, Hernández-Rodríguez E. Improving the surface integrity of the CoCrMo alloy by the ball burnishing technique. Journal of Materials Research and Technology. 2020 Jul 1; 9(4):7592-601.
- 9- Attabi S, Himour A, Laouar L, Motallebzadeh A. Mechanical and wear behaviors of 316L stainless steel after ball burnishing treatment. Journal of Materials Research and Technology. 2021 Nov 1; 15:3255-67.
- 10- Gomez-Gras G, Travieso-Rodríguez JA, Jerez-Mesa R, Lluma-Fuentes J, Gomis de la Calle B. Experimental study of lateral pass width in conventional and vibrations-assisted ball burnishing. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2016; 87(1):363-71.



شکل ۹) اثر برهم کنشی عمق بار عمودی و گام عرضی بر زمان برنیشینگ

## ۴- نتیجه گیری

در این مقاله، اثر عمق بار عمودی و گام عرضی بر روی زیری سطح و زمان عملکرد فرآیند برنیشینگ صفحه آلومینیومی AA7075-T6 با رویکرد نوینی از انتخاب گام عرضی وابسته به شعاع نفوذ برنیشینگ، مورد مطالعه تجربی قرار گرفت. همچنین به منظور بررسی قابلیت عملکرد فرآیند، زمان موثر برنیشینگ تحلیل شد. نتایج به دست آمده به شرح زیر می باشد:

- با افزایش گام عرضی و عمق بار عمودی، زبری سطح افزایش می یابد.
- در مقادیر کمتر عمق بار عمودی، در اثر افزایش گام عرضی، افزایش زبری سطح با شیب آهسته تری رخ می دهد.
- در عمق بارهای کم می توان از گام عرضی بزرگتری استفاده نمود تا در زمان کوتاه تری به کیفیت سطح مطلوب رسید.
- بیشترین مقادیر بهبود زبری سطح دست یافته شده به ترتیب حدود ۹۶ و ۹۳ درصد بوده است.
- در مقادیر بیشینه عمق بار عمودی برابر با ۰/۱۴ میلی متر، می بایست از کوچکترین گام عرضی استفاده نمود.
- برنیشینگ با مقادیر عمق بار و گام عرضی به ترتیب ۰/۰۴ و ۰/۳۳ میلی متر که بهبود زبری سطح ۸۶/۶۳ درصدی را در زمان موثر ۱/۸۶ دقیقه ایجاد می کند، بهترین قابلیت عملکردی را داشته است.

## فهرست علائم

|                |                                    |
|----------------|------------------------------------|
| a              | شعاع نفوذ موثر (میلی متر)          |
| R              | شعاع نوک ابزار برنیشینگ (میلی متر) |
| h              | عمق بار عمودی (میلی متر)           |
| R <sub>a</sub> | زبری سطح (میکرون)                  |
| R <sub>z</sub> | زبری سطح (میکرون)                  |
| t              | زمان موثر فرآیند (دقیقه)           |
| x              | ابعاد سطح (میلی متر)               |
| p              | گام عرضی (میلی متر)                |
| v              | سرعت پیشروی (میلی متر بر دقیقه)    |
| n              | تعداد عبور ابزار                   |