ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022;22(10):195-199.

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[1*],
Baseri H[1] ,
Mirnia MJ[1]

[1] 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 2nd 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 مهندسی مکانیک 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

مشخصات مقاله

نویسنده‌ها
حسین روحی[1]
حمید باصری[1*]
محمدجواد میرنیا[1]

[1] 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

چکیده

هزینه‌ها و مشکلات فراوان ماشینکاری پرداخت فلزات به‌خصوص آلیاژهای آلومینیوم، اهمیت فرآیندهای عملیات سطح بدون براده-برداری مانند برنیشینگ را روزافزون نموده است. در این مقاله، اثر عمق‌بار 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 عمق‌بار عمودی، کیفیت سطح افزایش می‌یابد. در مقادیر کمتر عمق‌بار، 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 عمق‌بار و گام عرضی به ترتیب ۰/۰۴ و ۰/۳۳میلی‌متر که بهبود زبری سطح ۸۶/۶۳ درصدی را در زمان موثر ۱/۸۶ دقیقه ایجاد می‌کند، بهترین قابلیت عملکردی را داشته است.

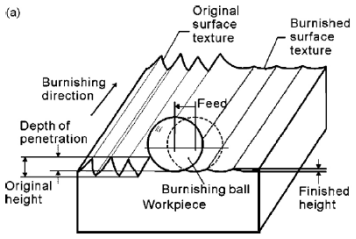
کلیدواژه‌ها : برنیشینگ، زبری سطح، آلومینیوم 7075-T6

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.30.3]

۱- مقدمه

برنیشینگ (Burnishing) یکی از فرآیندهای پرداخت‌کاری سطح به‌صورت بدون براده‌برداری بوده و عبارت است از فروبری یک ابزار (معمولا غلتکی یا گلوله‌ای) بر روی سطح قطعه‌کار (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 به‌کارگیری آسان و صرفه اقتصادی روش برنیشینگ نسبت به روش‌های رایج پرداخت‌کاری از جمله سنگ‌زنی، هونینگ (Honing)، لَپینگ (Lapping)، کاربرد روزافزونی در صنایع مختلف داشته است. همچنین برای صیقل‌دادن 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 تاثیر برنیشینگ گلوله‌ای بر روی مقاومت خستگی میله فولادی AISI 1045 توسط اُویلس 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 ریزساختار سطح بعد از برنیشینگ بوده است.

رِوَنکار 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 به‌کارگیری امواج التراسونیک، موجب بهبود عمق سختی و زبری سطح می‌گردد. سیلوا-آلوارِز 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 تاثیر 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 کنترل‌کننده 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 دوقسمت دنباله و ساچمه کروی ساخته شده است. جنس دنباله از فولاد AISI 1045 بوده و جنس ساچمه، فولاد AISI 52100 است که سخت‌کاری شده و دارای مقاوم به سایش بالایی می‌باشد. لازم به ذکر است که ساچمه فولادی به صورت پیش‌ساخته 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 قطعه‌کار، 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 عمق‌بار ۱ میلی‌متر انجام شد.

شکل ۲) ابزار برنیشینگ ساخته شده

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.30.3]

شکل ۳) تجهیزات مجموعه آزمایشگاهی فرآیند برنیشینگ صفحه

۱-۲- پارامترهای ورودی فرآیند

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

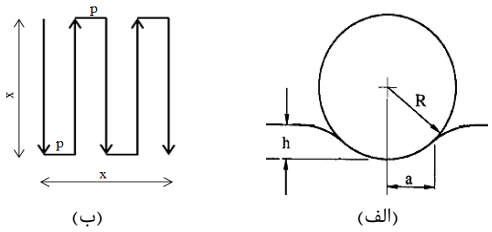
۱-۱-۲- انتخاب سطوح پارامتر های ورودی

با توجه به اینکه پروفیل و زبری نهایی سطح صفحه برنیش شده، به‌طور مستقیم از پارامترهای بارگذاری بر روی قطعه اثر می‌پذیرد[10]. انتخاب سطوح پارامترهای عمق‌بار 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 مفهوم‌های دو مقیاس زبری‌سنجی متداول R_a و R_z می‌توان دریافت ارتفاع زبری سطح اولیه با مقیاس R_z هم‌ارز است. بنابراین حداقل میزان عمق‌بار عمودی باید بیشتر از مقدار R_z سطح اولیه باشد. در این مقاله زبری R_z سطح پس از ماشینکاری کف‌تراشی برابر با ۲۴/۱۸ میکرون بوده و از این رو حداقل عمق‌بار عمودی ۴۰ میکرون (۰/۰۴ میلی‌متر) و حداکثر مقدار آن ۱۴۰ میکرون (۰/۱۴ میلی‌متر) در نظر گرفته شده است.

شکل ۵ (الف)، شمای پروفیل نفوذ نوک کروی ابزار برنیشینگ بر سطح قطعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است، پارامترهای عمق‌بار عمودی، شعاع نوک ابزار و شعاع نفوذ موثر بر قطعه به هم وابسته می‌باشند. گام عرضی در برنیشینگ می‌بایست 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 می‌دهد.

تاثیر مقدار گام عرضی بر روی زمان برنشینگ، از لحاظ شاخص عملکردی فرآیند، دارای اهمیت به‌سزایی می‌باشد. شکل ۵ (ب)، مسیر حرکتی جاروب سطح برنیشینگ را نشان می‌دهد. زمان موثر فرآیند (t) بر حسب پارامترهای ابعاد سطح (x)، گام عرضی (p)، سرعت پیشروی (v) و تعداد عبور ابزار (n) طبق رابطه (۲) به‌دست می‌آید. با دقت در رابطه (۲) می‌توان دریافت با افزایش گام عرضی، زمان فرآیند برنیشینگ کاهش خواهد یافت.



(ب) (الف)

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

$$a = \sqrt{(2 \times R \times h - h^2)} \quad (۱)$$

$$t = n \times \left(\left(\frac{x}{p}\right) \times \left(\frac{x}{v} + \frac{p}{v}\right) \right) = n \times \left(\frac{x \times (x+p)}{p \times v}\right) \quad (۲)$$

در پژوهش‌های 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 عمق‌بار عمودی سطح بندی شده است. هدف از این نوآوری بهبود عملکردی فرآیند از لحاظ نتیجه زبری نهایی و زمان فرآیند می‌باشد. در این پژوهش، پارامتر گام عرضی برنیشینگ، با دو سطح وابسته‌ی ۰/۲ و ۰/٦ برابر شعاع نفوذ (رابطه (۱)) انتخاب شده است. پارامترهای ورودی متغیر و ثابت برنیشینگ در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱) پارامترهای متغیر برنیشینگ

سطح	عمق‌بار عمودی (میلی‌متر)	قطر ساچمه (میلی‌متر)	شعاع نفوذ (میلی‌متر)	گام عرضی ۰/۲*a (میلی‌متر)	گام عرضی ۰/٦*a (میلی‌متر)
۱	۰/۰۴	۸	۰/۵۵	۰/۱۱	۰/۳۳
۲	۰/۰۹	۸	۰/۸۵	۰/۱۷	۰/۵۱
۳	۰/۱۴	۸	۱/۰۵	۰/۲۱	۰/۶۳

جدول ۲) پارامترهای ثابت برنیشینگ

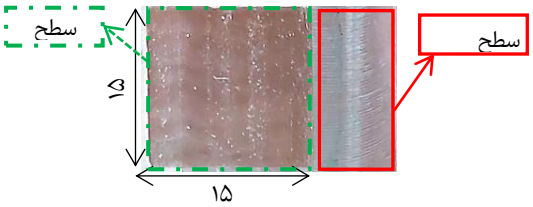
جنس ساچمه	سرعت پیشروی (میلی‌متر بر دقیقه)	تعداد عبور	مسیر حرکت ابزار	روانکار
فولادی	۱۵۰۰	۴	عمود بر جهت ماشینکاری	گریس و روغن

۳- نتایج و تفسیر

پس از اجرای آزمون‌ها، صفحه آلومینیومی روغن و گریس روی صفحه به‌طور کامل پاک‌سازی و آماده اندازه‌گیری زبری شد. شکل ٦ دو قسمت از سطح قبل (ماشینکاری) و پس از برنیشینگ را نشان می‌دهد. در جدول ۳، نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری زبری سطح R_a به‌وسیله دستگاه زبری‌سنج مَهر

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.30.3]

(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.

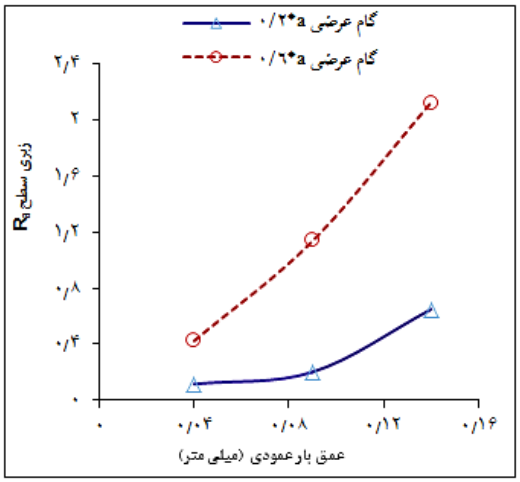


شکل۶) سطح قطعه‌کار، قبل و پس از برنیشینگ

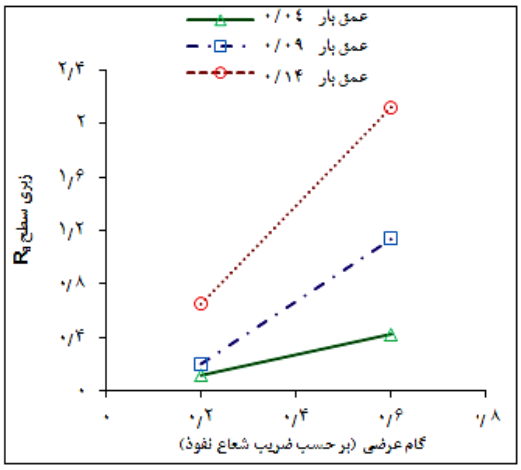
جدول ۳) نتایج آزمون‌های برنیشینگ

آزمون	عمق‌بار 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
٤	۰/۰۹	۰/۵۱	۱/۱۳۷	٦٤/۲۵	۱/۲۲
۵	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/٦٤۹	۷۹/۵۹	۲/۹۱
٦	۰/۱۴	۰/٦۳	۲/۱۲٤	۳۳/۲۱	۰/۹۹

با توجه به اینکه پارامتر گام عرضی به صورت وابسته به عمق‌بار عمودی انتخاب شده، تاثیر پارامترهای متغیر فرآیند بر روی نتایج به‌دست آمده به صورت برهم‌کنشی در نظر گرفته شده که مفهوم حقیقی‌تری از اثر بارگذاری را ارائه می‌نماید. نمودارهای شکل‌های ۷ و ۸، اثرات ترکیبی عمق‌بار عمودی و گام عرضی را بر روی زبری سطح R_a نشان می‌دهند. همان‌گونه که مشخص است، به‌طور کلی با افزایش گام عرضی و عمق‌بار عمودی، زبری سطح افزایش می‌یابد. در مقادیر کمتر عمق‌بار، 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 کوتاه‌تر شود. بهترین کیفیت سطح مربوط به آزمون‌های ۱ و ۳ است که به ترتیب حدود ۹٦ و ۹۳ درصد، کیفیت سطح اولیه قطعه‌کار را بهبود بخشیده است. در پژوهش‌های پیشین، *بیشترین* مقدار بهبود زبری سطح تا ۸۲ درصد گزارش شده است [5]. در آزمون ٦ با توجه به بیشینه بودن مقادیر گام عرضی و عمق‌بار عمودی، زبری سطح بالاتری به‌دست آمده که نشان می‌دهد در عمق‌بار بالاتر، نمی‌توان از گام عرضی بزرگ استفاده نمود.



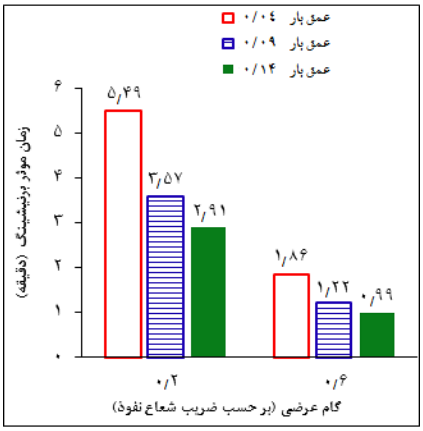
شکل ۷) اثر عمق‌بار عمودی بر زبری سطح در گام‌های عرضی متغیر



شکل ۸) اثر گام عرضی بر روی زبری سطح در عمق‌بارهای 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 عمق‌بار 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 به‌صورت تصاعد هندسی افزایش خواهد یافت که مقرون به صرفه نبوده و کارایی بسیار کمی دارد. از این‌رو با بررسی همزمان نتایج بهبود زبری و زمان فرآیند برنیشینگ می‌توان دریافت که آزمون‌های ۲ و ۵ با بهبود زبری سطح به‌ترتیب ۸۶/۶۳ و ۷۹/۵۹ درصدی و زمان برنیشینگ به‌ترتیب ۱/۸۶ و ۲/۹۱ دقیقه‌ای، قابلیت عملکردی بهتری نسبت به سایر آزمون‌ها داشته‌اند.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.30.3]



شکل ۹) اثر برهم‌کنشی عمق‌بار عمودی و گام عرضی بر زمان برنیشینگ

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، اثر عمق‌بار عمودی و گام عرضی بر روی زبری 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 به‌منظور بررسی قابلیت عملکرد فرآیند، زمان موثر برنیشینگ تحلیل شد. نتایج به‌دست آمده به شرح زیر می‌باشد:

- با افزایش گام عرضی و عمق‌بار عمودی، زبری سطح افزایش می‌یابد.
- در مقادیر کمتر عمق‌بار عمودی، در اثر افزایش گام عرضی، افزایش زبری سطح با شیب آهسته‌تری رخ می‌دهد.
- در عمق‌بارهای کم می‌توان از گام عرضی بزرگ‌تری استفاده نمود تا در زمان کوتاه‌تری 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 عمق‌بار عمودی برابر با ۰/۱۴ میلی‌متر، می‌بایست از کوچکترین گام عرضی استفاده نمود.
- برنیشینگ با مقادیر عمق‌بار و گام عرضی به ترتیب ۰/۰۴ و ۰/۳۳میلی‌متر که بهبود زبری سطح ۸۶/۶۳ درصدی را در زمان موثر ۱/۸۶ دقیقه ایجاد می‌کند، بهترین قابلیت عملکردی را داشته است.

فهرست علائم

a	شعاع نفوذ موثر (میلی‌متر)
R	شعاع نوک ابزار برنیشینگ (میلی‌متر)
h	عمق‌بار عمودی (میلی‌متر)
R_a	زبری سطح (میکرون)
Rz	زبری سطح (میکرون)
t	زمان موثر فرآیند (دقیقه)
x	ابعاد سطح (میلی‌متر)
p	گام عرضی (میلی‌متر)
v	سرعت پیشروی (میلی‌متر بر دقیقه)
n	تعداد عبور ابزار

تاییدیه اخلاقی: کلیه داده های این مقاله از پایان نامه دکتری آقای حسین روحی استخراج شده و قبلا منتشر نشده است.

تعارض منافع: هیچگونه تعارض منافعی وجود ندارد.

منابع مالی: هزینه ای این پژوهش از گرنت 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–Rodriguez 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.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.30.3]