



The Implementation of Ultra-Precision Dimond Machining to Fabricate Super-Polished Aluminium Mirrors



ARTICLE INFO

Authors

Jafari H¹,
Elhami S^{2*},
Farahnakian M¹

¹ Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

² Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

* Correspondence

Address: Ferdowsi University of Mashhad, Azadi Squ., Mashhad
sadeghelhami@um.ac.ir

How to cite this article

Jafari H, Elhami S, Farahnakian M. The Implementation of Ultra-Precision Dimond Machining to Fabricate Super-Polished Aluminium Mirrors. Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools. 2022;22(10):37-42.

ABSTRACT

Metal and especially aluminum mirrors have wide applications in the optical industry due to their desirable properties, hence requiring very high polished surfaces. One of the methods of preparing aluminum mirrors is single-point diamond turning. In this research, the manufacturing process of 6061-grade aluminum mirrors has been studied using diamond turning and consequent polishing process in order to reach surfaces with acceptable optical properties. In the first part, the effective range of turning parameters was determined. The results showed that the feed values less than 5 $\mu\text{m}/\text{rev}$, the cutting-edge radius between 0.2 and 0.8 mm, and the rotational speed of 2250 rpm have a greater effect on the surface roughness. In the second part of the research, initially, the turning process was performed with effective parameters and then the polishing process was applied as the final finishing process. Surface finish is evaluated by surface roughness and surface interferometry parameters. The results showed that the smaller surface roughness after the diamond tool turning process led to higher optical properties after the final polishing process. The lowest PV value equal to 0.293 μm was obtained by diamond turning with 3 $\mu\text{m}/\text{rev}$ and a cutting-edge radius of 0.8 mm.

Keywords Aluminium Mirror, Diamond Turning, Polishing, Surface Roughness, Interferometry.

ماهانامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه نامه مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی ماشین کاری و ماشین های ابزار پیشرفته.
مهر ۱۴۰۱، دوره ۲۲، شماره ۱۰، صفحه ۳۷-۴۲.



کاربرد تراشکاری با ابزار الماس در ساخت آینه های آلومینیومی



چکیده

مشخصات مقاله

نویسنده ها

حجت جعفری^۱
صادق الهامی جوشقان^{۲*}
مسعود فرحناکیان^۱

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد،
نجف آباد

^۲ دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

* نویسنده مسئول

آدرس: دانشگاه فردوسی، میدان
آزادی، مشهد

sadeghelhami@um.ac.ir

آینه های فلزی و به ویژه آلومینیومی، بدلیل خواص مطلوب از جایگاه ویژه ای در صنایع اپتیک برخوردار می باشند که این موضوع مستلزم برخورداری از سطوحی با پرداخت بسیار بالا است. یکی از روش های آماده سازی آینه های آلومینیومی، تراشکاری با ابزار الماس می باشد. در تحقیق حاضر، فرآیند ساخت آینه های آلومینیومی گرید ۶۰۶۱ با استفاده از ابزار الماس و فرآیند تکمیلی پولیش به منظور رسیدن به سطوحی با خواص اپتیکی مطلوب مورد مطالعه قرار گرفته است. در قسمت اول، بازه موثر پارامترهای ماشینکاری مشخص شد. نتایج نشان داد که بازه پیشروی کمتر از ۵ میکرومتر بر دور، شعاع لبه برش بین ۰/۲ تا ۰/۸ میلیمتر و سرعت دورانی ۲۲۵۰ دور بر دقیقه، تاثیر بیشتری بر پرداخت سطح دارند. در قسمت دوم آزمایش ها، ابتدا فرآیند تراشکاری با پارامترهای موثر انجام گردیده و در ادامه فرآیند پولیشینگ به عنوان پرداخت نهایی اعمال شد. پرداخت سطح با دو پارامتر زبری سطح و معیار تداخل سنجی سطح ارزیابی می گردد. نتایج نشان داد که هر چه زبری سطح فرآیند تراشکاری با ابزار الماس پایین تر باشد، سطح حاصل از فرآیند تکمیلی پولیش خواص اپتیکی بالاتری خواهد داشت. کمترین مقدار پارامتر PV برابر ۰/۲۹۳ میکرومتر برای تراشکاری با پیشروی ۳ میکرومتر بر دور و شعاع لبه برش ۰/۸ میلیمتر حاصل شد.

کلیدواژه ها آینه آلومینیومی، تراشکاری با ابزار الماس، پولیش، زبری سطح، تداخل سنجی.

۱- مقدمه

آیینها از جمله قطعاتی هستند که ویژگی اصلی آنها دارا بودن سطحی با پرداخت بسیار بالا است. سطوح با پرداخت بالا می‌توانند از طریق لایه نشانی بر روی فلز پایه و یا پرداخت کاری مستقیم فلز بدون اعمال لایه سطحی ثانویه (آیینهای فلزی) حاصل شوند. نوع اول آیینها از طریق لایه نشانی فلز نقره یا نیکل حاصل می‌شود. نوع دوم از طریق اعمال مجموعه عملیات ماشینکاری (مانند تراشکاری با ابزار الماس) و پرداخت (مانند لپینگ) ساخته می‌شوند. آیینهای فلزی کاربرد روز افزونی در صنایع مختلف از جمله هوافضا، پزشکی، اپتیک و عکس برداری پیدا کرده‌اند و در همین راستا، با توجه به پیچیده بودن فرآیند ساخت، تحقیقات و پژوهش‌هایی در راستای توسعه و بهینه‌سازی مجموعه فرآیند ساخت آنها صورت گرفته است.

از جمله آیینهای فلزی، آیینهای آلومینیومی است که وزن کمی داشته و در مقایسه با آینه پوشش داده شده با نیکل، از خواص حرارتی بهتری برخوردار می‌باشد. در ساخت آیینهای آلومینیومی، لپینگ و پولیشینگ به عنوان فرآیند پرداخت کاری نهایی برای ایجاد کیفیت مورد نیاز استفاده می‌گردند. این روش‌ها علی‌رغم داشتن هزینه بالا از مدت زمان ماشینکاری بالایی نیز برخوردار هستند. لذا به کارگیری فرآیندی که سطحی با پرداخت نزدیک به سطح حاصل از دو فرآیند مذکور را نتیجه داده و همچنین سرعت بالایی داشته باشد، زمان مورد نیاز برای فرآیند زمانبر نهایی را کاهش داده و رویه ساخت بهینه‌تری حاصل خواهد شد. یکی از متداول‌ترین روش‌های تولید برای نزدیک کردن سطح آلومینیوم به سطح آیینهای تراشکاری با ابزار الماس می‌باشد. در این روش الماس به دلیل داشتن مدول الاستیسیته بالا و مقاومت شیمیایی و سختی بالا جهت رسیدن به سطح با صافی بالا و دقیق مناسب است.

در تحقیق حاضر، برای تراشکاری آلومینیوم از روش تراشکاری با ابزار الماس استفاده شده تا بتوان با یک مرحله ماشین کاری سطح قطعه را به صافی سطحی رساند که آماده برای عملیات پرداخت نهایی شود. در ادامه فرآیند پولیشینگ در زمان کوتاهی بر سطح اعمال شده و آیینه آلومینیومی ساخته خواهد شد. در این صورت ماشینکاری اولیه و سنگ‌زنی سطح به صورت همزمان (که در روش‌های گذشته استفاده می‌شده است) توسط یک فرآیند تراشکاری با ابزار الماس جایگزین می‌شود که با توجه به زمان‌بر بودن فرآیند سنگ‌زنی، زمان کلی ماشینکاری را کاهش خواهد داد. در اینصورت هرچه پرداخت سطح تراشکاری بالاتر باشد، فرآیند پولیشینگ در زمان کوتاه‌تر بر سطح اعمال شده و نتیجه مطلوب‌تر و اقتصادی‌تری حاصل می‌شود.

۱-۱- مروری بر پیشینه پژوهش

چنگ و همکاران [1] در سال ۲۰۰۰ به تجزیه و تحلیل سطح ماشینکاری شده به وسیله تراشکاری با ابزار الماس و با استفاده از دستگاه طیف‌سنج پرداختند. آزمایش‌های تجربی بر روی آلیاژ آلومینیوم با گرید ۶۰۶۱ در حالت پیشانی تراشی انجام شده است. نتایج نشان داد که در مرحله اول، با افزایش پیشروی ابزار زبری سطح از یک الگوی ریاضی ثابت پیروی کرده و افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش سرعت دورانی تا حدود ۳۰۰۰ دور بر دقیقه، زبری سطح کاهش یافته است. همچنین، تغییرات عمق در بازه ۵ تا ۲۰ میکرون تغییری در نتایج زبری سطح ایجاد نکرد. محدوده انتخابی شعاع ابزار (۵/۰ تا ۲ میلی‌متر) به گونه‌ای در نظر گرفته شد که از چتر جلوگیری شود و لذا با افزایش عمق برش، در محدوده مذکور، زبری سطح کاهش یافت.

لی و همکاران [2] در سال ۲۰۰۷ ماشینکاری با ابزار الماس تک‌لبه بر روی سطح آلومینیوم با کریستالوگرافی‌های مختلف را بررسی کردند. در این مطالعه مدل خاصی توسعه داده شد که شامل متغیرهای لرزش دستگاه، نیروی برشی، جهت دانه‌بندی بوده است. نتایج تجربی نشان داد که نوع کریستالوگرافی و جهت دانه‌بندی بر نیروهای برشی و زبری سطح تأثیرگذار بوده و مدل توسعه داده شده می‌تواند این ارتباط را تحلیل نماید. پس از بررسی سطوح آلومینیوم در کریستالوگرافی‌های مختلف (۱۱۰-۱۱۱-۱۰۰) مشخص شد که بهترین سطح مربوط به نوع ۱۰۰ بوده است.

چایلدز و همکاران [3] در سال ۲۰۰۸ تأثیرات پارامترهای ماشینکاری بر روی سطح قطعه آلومینیومی را مورد بررسی قرار دادند. کلیه آزمایش‌ها بر روی فلز آلومینیوم انجام شد و ابزارهای مختلفی از جنس تنگستن کاربید و الماس استفاده گردیدند. نتایج نشان داد که با ثابت بودن پارامترهای ماشینکاری، با افزایش شعاع ابزار، کیفیت سطح رو به بهبود رفته است. همچنین، در بازه پیشروی در نظر گرفته شده، به علت لرزش‌های دستگاه، ارتباط دقیقی بین پیشروی و پرداخت سطح حاصل نشد.

شاه و گئورگ [4] در سال ۲۰۱۲ به توسعه یک مدل آماری برای پیش‌بینی زبری سطح آلومینیوم تراشکاری شده با ابزار الماس پرداختند. مدل مذکور بر مبنای پارامترهای سرعت دورانی، عمق برشی و نرخ پیشروی توسعه داده شد و قابلیت مطلوبی برای پیش‌بینی زبری سطح از خود نشان داد.

با توجه به تحقیقات پیشین، تراشکاری با ابزار الماس می‌تواند صافی سطح بالایی را در دسترس قرار دهد اما همچنان با صافی سطح حاصل از پولیشینگ فاصله خواهد داشت. از طرف دیگر فرآیند پولیشینگ فرآیندی زمان‌بر و پرهزینه است. لذا، می‌توان با تراشکاری به کمک ابزار الماس، پرداخت سطح را تا حد بالایی و با سرعت قابل توجه انجام داد و صرفاً برای پرداخت نهایی که باربرداری و زمان کوتاهی نیاز دارد، از فرآیند پولیشینگ استفاده

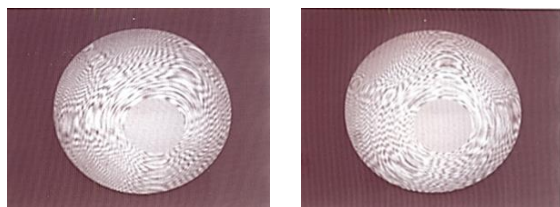
۳- تحلیل نتایج آزمایش‌ها

۳-۱- رویه تجربی انجام آزمایش‌ها

مجموعه آزمایش‌ها شامل دو قسمت اصلی است. در قسمت اول محدوده موثر پارامترهای تراشکاری با ابزار الماس تعیین می‌شود. در قسمت دوم که بخش اصلی تحقیق حاضر است، فرآیند تراشکاری با ابزار الماس با به کارگیری پارامترهای موثر، بر قطعه آلومینیومی اعمال شده و در ادامه تحت فرآیند پولیش قرار می‌گیرد تا پروسه ساخت آیینیه آلومینیومی تکمیل شود.

۳-۲- قسمت اول: تعیین محدوده موثر پارامترها

در قسمت اول آزمایش‌ها، سه پارامتر اصلی سرعت دورانی، پیشروی و شعاع نوک ابزار در نظر گرفته شدند. در مجموع ۲۷ آزمایش انجام گردید و پس از عملیات تراشکاری با ابزار الماس، خواص سطوح حاصل توسط دستگاه زبری سنج و دستگاه تداخل سنج اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که پیشروی‌های کمتر از ۵ میکرومتر بر دور تاثیر قابل توجه‌تری بر پرداخت سطح نهایی دارند. همچنین، با توجه به صلبیت دستگاه و لرزش‌های حاصل از شرایط ماشینکاری، سرعت دورانی ۲۲۵۰ دور بر دقیقه شرایط پایدار و داده‌های قابل قبولی را نتیجه داد. ابزار با شعاع لبه در محدوده ۰/۲ تا ۰/۸ میلی‌متر بر پرداخت سطح نهایی موثر بوده و برای قسمت اصلی آزمایش‌ها سه سطح ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌متر انتخاب شدند. نمونه‌ای از نتایج تداخل‌سنجی سطوح حاصل از این قسمت در شکل ۲ نشان داده شده است.



(ب)

(الف)

شکل ۲ نتایج اینترفرومتری برای آزمایش‌های تعیین محدوده موثر پارامترهای تراشکاری با ابزار الماس در شرایط (الف) پیشروی ۱/۵ میکرومتر بر دور و شعاع لبه ۰/۴ میلی‌متر (ب) پیشروی ۳ میکرومتر بر دور و شعاع لبه ۰/۴ میلی‌متر

۳-۳- قسمت دوم: ساخت آیینیه آلومینیومی با اعمال پارامترهای

موثر (تراشکاری با ابزار الماس و پولیش)

در این بخش، پارامترهای تعیین شده از قسمت اول برای مرحله تراشکاری با ابزار الماس به کار گرفته شده و قطعات حاصل از تراشکاری وارد مرحله پولیشینگ می‌شوند. لازم به ذکر است که در تراشکاری، پیشروی دارای سه سطح ۱/۵، ۳ و ۴/۵ میکرومتر بر دور در نظر گرفته شده و قطر قطعه‌کار برابر ۶۵ میلی‌متر می‌باشد. شکل ۳ اثرات دو پارامتر اصلی شعاع لبه ابزار و پیشروی را بر روی مقادیر زبری سطح نشان می‌دهد.

کرد. با ترکیب دو فرآیند، پرداخت بسیار بالا با رعایت جنبه‌های اقتصادی ساخت حاصل خواهد شد.

۲-۱- اندازه‌گیری توپوگرافی سطح

در این تحقیق، پرداخت سطح نهایی بر مبنای روش تداخل‌سنجی و معیار PV اندازه‌گیری شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد. معیار PV یا Rt بیان‌کننده اختلاف ارتفاع بلندترین و پایین‌ترین نقطه پروفیل سطح می‌باشد. از همین رو، این معیار به صورت مستقل از موقعیت صفحه مبنا بیان می‌شود [5]. مزیت معیار PV این است که اگر قسمت کوچکی از پروفیل سطح دارای انحراف زیادی باشد، این معیار می‌تواند این انحراف را نشان دهد [6]. اندازه‌گیری معیارهای مذکور با استفاده از دستگاه تداخل‌سنج یا اینترفرومتری انجام می‌شود. در صورتی که سطح مورد اندازه‌گیری نسبت به سطح ایده‌آل انحراف برجستگی (محدب) و یا فرورفتگی (مقعر) داشته باشد، شکل فرانژهای ایجاد شده دایروی خواهد بود. اگر این انحراف فرورفتگی یا برآمدگی متقارن باشد فرانژهای ایجاد شده به صورت دوایر متحدالمرکز می‌باشند. خطوط سیاه و سفیدی که همان فرانژهای نور هستند در بهترین حالت باید موازی هم و در پهن‌ترین ابعاد باشند.

۲- تجهیزات

با توجه به خواص مطلوب آلومینیوم نوع ۶۰۶۱، از این آلیاژ برای ساخت آیینیه‌های آلومینیومی استفاده می‌شود. ماشین تراش سی ان سی و ماشین پولیش به ترتیب از انواع Machine Station TC-50 و Optotech hpp100cnc مورد استفاده قرار گرفتند. ابزار الماس PCD و از نوع CCGW09T3 برای فرآیند تراشکاری مورد استفاده قرار گرفت. ابزار پولیشینگ از نوع نئوتکس (شکل ۱-الف) به کار گرفته شد که بر روی قطعه‌کار در حالی که در فیکسچر خاص (شکل ۱-ب) قرار داشت، اعمال می‌گردید. در فرایند پولیش آلومینیوم از مواد ساینده شیمیایی از نوع کلئید آلومینا استفاده شد. خواص سطح با استفاده از زبری سنج Hommel Wave T8000 و تداخل‌سنج زیگو (شکل ۱-ج) اندازه‌گیری شد.



(ب)



(الف)

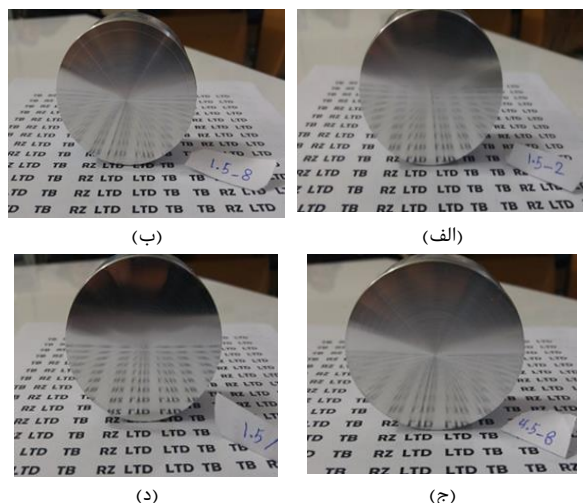


(ج)

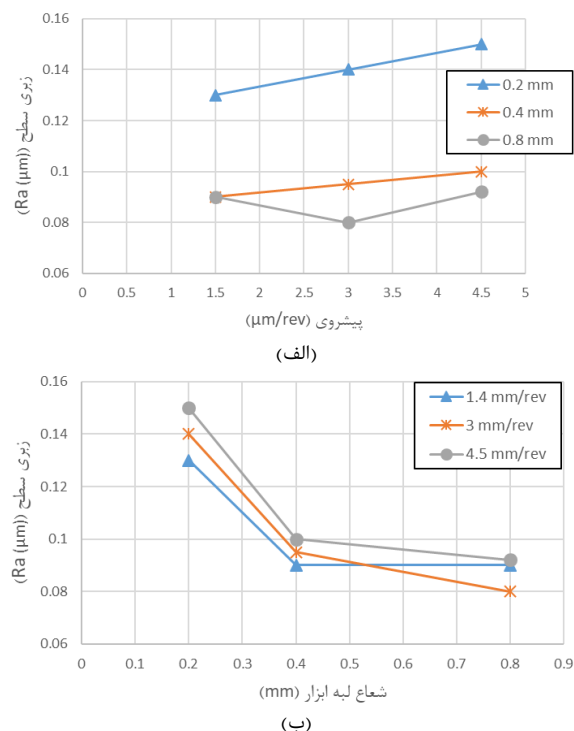
شکل ۱ (الف) ابزار نئوتکس (ب) نحوه قرارگیری نمونه در فیکسچر مخصوص دستگاه اینترفرومتری زیگو (ج)

اینکه شعاع لبه بزرگ بوده و مقدار پیشروی کوچک است، ماده قطعه کار قبل از جدا شدن به صورت براده به سطح ابزار با تنش زیادی فشرده می شود. در این حالت ماده قطعه کار ممکن است به ابزار چسبیده و سختی بالایی پیدا کند. در ادامه فرآیند، این ماده چسبیده شده در صورت جدا شدن از سطح ابزار می تواند بر روی سطح ماشینکاری شده خطوطی را ایجاد کرده و زبری سطح را کاهش دهد. با توجه به نتایج، پایین ترین زبری سطح در پیشروی ۳ میکرومتر بر دور و شعاع لبه برش ۰/۸ میلی متر حاصل شد که معادل ۰/۸ میکرومتر بود.

شکل ۴ نمونه های قطعات آلومینیومی پس از فرآیند تراشکاری با ابزار الماس را نشان می دهند که به منظور تکمیل داده های مربوط به زبری سطح ارائه شده است. به منظور نمایش بهتر کیفیت سطوح، صفحه مینا با کاراکترهای مشخص در زیر هر نمونه قرار داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، سطح دارای پرداخت بالایی است اما کاملاً شرایط مطلوب آیینیه ای شدن را دارا نیست. سطوح حاصل از این مرحله وارد فرآیند پولیشینگ شده تا سطح آیینیه ای مطلوب حاصل گردد.



شکل ۴ کیفیت پرداخت سطح بعد از فرآیند تراشکاری با ابزار الماس با شرایط (الف) پیشروی ۱/۵ میکرومتر بر دور و شعاع لبه ۰/۲ میلی متر (ب) پیشروی ۱/۵ میکرومتر بر دور و شعاع لبه ۰/۸ میلی متر (ج) پیشروی ۴/۵ میکرومتر بر دور و شعاع لبه ۰/۲ میلی متر (د) پیشروی ۱/۵ میکرومتر بر دور و شعاع لبه ۰/۴ میلی متر در مرحله دوم آزمایش های اصلی، فرآیند پولیشینگ با پارامترهای ثابت بر سطح اعمال می شود. با توجه به تمرکز تحقیق حاضر بر ویژگی های فرآیند تراشکاری با ابزار الماس، در مرحله دوم، پارامترهای پولیشینگ ثابت در نظر گرفته شده است تا بتوان تاثیر متغیرهای مرحله اول را بر سطح آیینیه ای نهایی بررسی نمود. در این راستا و در مرحله پولیشینگ، سرعت دورانی ابزار برابر با ۵۰۰ دور بر دقیقه، فشار معادل ۲ بار و زمان پولیش کاری ۶۰۰ ثانیه در نظر گرفته شدند. سایر مشخصات این مرحله در بخش ۲ بیان گردید.

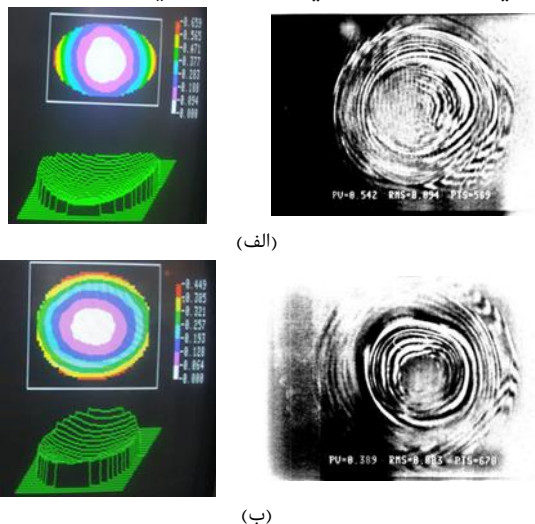


شکل ۳ نمودار اثر تغییرات (الف) پیشروی و (ب) شعاع لبه ابزار بر زبری سطح قطعات آلومینیومی

شکل ۳-الف اثر تغییرات زبری سطح برحسب شعاع لبه ابزار را در فرآیند تراشکاری با ابزار الماس نشان می دهد. به طور کلی، در فرآیند تراشکاری با ابزار الماس، با افزایش شعاع لبه ابزار الماس، کیفیت سطح بهبود می یابد. اما اگر شعاع لبه برش مقادیر بزرگ انتخاب شود، سطح تماس و اصطکاک در محل درگیری افزایش قابل توجهی یافته و می تواند منجر به لرزش و ارتعاش دستگاه گردد که مستقیماً پرداخت سطح را کاهش خواهد داد. در این شرایط، اگر ماشین با مشخصات متفاوت و با صلبیت بالاتر انتخاب شود، می توان بدون ایجاد ارتعاشات ناخواسته، مقادیر بزرگتر شعاع لبه برش را به کار گرفت و سطح ماشینکاری شده با پرداخت بالاتر ایجاد نمود. با توجه به آزمایش های اولیه و به منظور پرهیز از ارتعاشات نامطلوب، مقادیر ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی متر برای شعاع لبه در نظر گرفته شدند. نتایج زبری سنجی نشان می دهد که شعاع لبه ۰/۸ میلی متر بهترین کیفیت سطح را ایجاد کرده است. با توجه به عدم وجود ارتعاشات این نتیجه از مدل مرسوم بین شعاع لبه و ارتفاع پستی و بلندی سطح پیروی می کند.

نتایج تاثیر پیشروی بر زبری سطح (شکل ۳-ب) مشابه فرآیند ماشینکاری سنتی بوده و با افزایش پیشروی فاصله پستی و بلندی ایجاد شده بر روی سطح افزایش یافته و اعداد حاصل از زبری سنجی افزایش می یابد. با بررسی نمودار تنها در نقطه با پیشروی ۱/۵ میکرومتر بر دور و شعاع لبه ۰/۸ میلی متر رفتار متفاوتی مشاهده می شود. در این حالت با افزایش پیشروی به ۳ میکرومتر بر دور، زبری سطح کاهش یافته است. در این شرایط، با توجه به

راست جزئیات کانتورها را نشان می‌دهند. همانطور که در بخش قبل اشاره شد، در اینترفرومتری هر اندازه که خطوط فرانژه یکنواخت‌تر و پهن‌تر باشند، سطح قطعه‌کار، پرداخت و تختی بالاتری خواهد داشت و خواص اپتیکی بالاتری را در دسترس قرار خواهد داد. عدد PV ضریبی از طول موج (لاندا) می‌باشد. به علت اینکه لیزر مورد استفاده در این دستگاه زایگو هلیوم-نئون می‌باشد، این ضریب معادل ۶۳۲ نانومتر است. در این صورت، هر عددی که خروجی این دستگاه باشد در عدد ۶۳۰ نانومتر ضرب می‌شود و عددی بر حسب پارامترهای سطح بدست می‌آید.



شکل ۶ نمونه‌هایی از نتایج تداخل‌سنجی سطوح پس از فرآیند پولیشینگ. شرایط تراشکاری (الف) پیشروی ۴/۵ میکرومتر بر دور و شعاع لبه ۰/۸ میلی‌متر (ب) پیشروی ۱/۵ میکرومتر بر دور و شعاع لبه ۰/۴ میلی‌متر

۴- نتیجه‌گیری

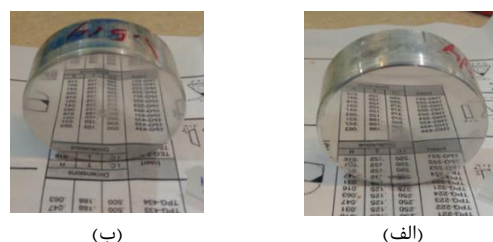
این تحقیق به فرآیند ساخت آیینیه‌های آلومینیومی بر مبنای استفاده از تراشکاری با ابزار الماس پرداخت. در این راستا، ابتدا بازه موثر پارامترهای اصلی تعیین شد و در ادامه دو فرآیند تراشکاری با ابزار الماس و پولیش‌کاری بر سطوح قطعه آلومینیومی اعمال گردید و نتایج زیر حاصل شد:

(۱) با توجه به قسمت اول آزمایش‌ها، بازه موثر پیشروی در مقادیر کوچکتر از ۵ میکرومتر بر دور تعیین گردید و در آزمایش‌های اصلی سطوح ۱/۵، ۳ و ۴/۵ میکرومتر بر دور در نظر گرفته شدند. شعاع لبه برش معادل مقادیر ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌متر تعیین شد. با توجه به صلبیت ماشین، سرعت دورانی ثابت و برابر ۲۲۵۰ دور بر دقیقه برای آزمایش‌های اصلی تعیین گردید.

(۲) در قسمت دوم و پروسه اصلی ساخت آیینیه آلومینیومی، بازه تعیین شده برای شعاع لبه برش از شرایط مربوط به لرزش دستگاه فاصله داشت لذا با افزایش شعاع لبه، سطح با زبری پایین‌تر حاصل گردید. همچنین با افزایش پیشروی، زبری سطح افزایش یافت. تنها در حالت بزرگترین شعاع و کمترین پیشروی روندی متفاوت مشاهده شد که می‌تواند ناشی از چسبندگی ماده قطعه‌کار به ابزار

سطح حاصل از پولیشینگ پرداخت بسیار بالایی داشته لذا در کنار زبری سنجی سطح از دستگاه اینترفرومتری (تداخل‌سنج) برای بررسی پرداخت سطح استفاده می‌شود. لازم به ذکر است در این مرحله اعداد زبری سطح همواره بسیار کوچک هستند و ممکن است تغییرات سطوح را به خوبی نشان ندهند. از طرف دیگر، زبری سنجی بر روی یک یا چند پاره خط مستقیم از کل سطح انجام می‌شود، در حالیکه تداخل‌سنجی کل سطح قطعه را اسکن می‌کند. به منظور عملکرد مطلوب آیینیه حاصل باید به نتایج تداخل‌سنجی توجه بیشتری شود. در این راستا، در جدول ۱ نتایج زبری سنجی برای هر دو مرحله تراشکاری با ابزار الماس و پولیشینگ در کنار نتایج تداخل‌سنجی برای مرحله پولیشینگ (معیار PV) ارائه گردیده است. همچنین کیفیت نمونه‌هایی از سطوح آیینیه‌ای حاصل در شکل ۵ نشان داده شده است که با مقایسه با شکل ۴، تاثیر فرآیند پولیشینگ به وضوح قابل مشاهده است.

با توجه به کیفیت نهایی سطوح مشخص می‌گردد که هرچه پرداخت سطح در فرآیند تراشکاری با ابزار الماس بالاتر باشد، با در نظر گرفتن شرایط ثابت فرآیند پولیشینگ، سطح آیینیه‌ای نهایی دارای کیفیت بالاتر و خواص اپتیکی بهتری خواهد بود که در نهایت منجر به کارایی بالاتر آیینیه آلومینیومی خواهد شد.



شکل ۵ کیفیت آیینیه‌ای سطوح پس از فرآیند پولیشینگ. شرایط تراشکاری (الف) پیشروی ۴/۵ میکرومتر بر دور و شعاع لبه ۰/۴ میلی‌متر (ب) پیشروی ۱/۵ میکرومتر بر دور و شعاع لبه ۰/۴ میلی‌متر

جدول ۱ نتایج عملیات تراشکاری با ابزار الماس و پولیش

شماره آزمایش	زبری سطح پس از فرآیند پولیشینگ (μm)			
	معیار PV	معیار Ra	شعاع لبه ابزار (mm)	پیشروی (μm/rev)
۱	۰/۷	۰/۱	۰/۲	۱/۵
۲	۰/۳۸۹	۰/۰۸	۰/۴	۱/۵
۳	۰/۲۹۳	۰/۰۶	۰/۸	۱/۵
۴	۰/۷۶۲	۰/۱	۰/۲	۳
۵	۰/۴۴۹	۰/۰۹	۰/۴	۳
۶	۰/۴۳۹	۰/۰۸	۰/۸	۳
۷	۰/۹۴۱	۰/۱۴	۰/۲	۴/۵
۸	۰/۶۲	۰/۰۹	۰/۴	۴/۵
۹	۰/۵۴۲	۰/۰۹	۰/۸	۴/۵

شکل ۶ تصاویری از نتایج تداخل‌سنجی سطوح حاصل از فرآیند پولیشینگ را نشان می‌دهد. شکل‌های سمت چپ نمایی کلی از کانتورها و مدل ساده سه بعدی از پروفیل سطح و شکل سمت

و در ادامه جدایش آن باشد که این ماده سخت شده روی سطح، اثرات نامطلوب به جا می‌گذارد.

۳) نتایج تداخل‌سنجی سطوح حاصل از پولیش نشان می‌دهد بهترین نتایج اینترفرومتری سطوح پولیش شده، برای سطوح اولیه‌ای حاصل می‌شود که پس از تراشکاری با ابزار الماس، کمترین زبری سطح را دارا بوده‌اند. در این راستا، بالاترین خواص اپتیکی در پروسه ساخت آئینه آلومینیومی زمانی حاصل می‌شود که پیشروی برابر ۳ میکرومتر بر دور، شعاع لبه برش معادل ۰/۸ میلیمتر و سرعت دورانی برابر ۲۲۵۰ دور بر دقیقه در نظر گرفته شدند (سایر شرایط تراشکاری با ابزار الماس و پولیشینگ به صورت ثابت در نظر گرفته شدند).

تاییدیه اخلاقی: همه جنبه‌های اخلاقی در انجام پژوهش رعایت شده است.

تعارض منافع: نویسندگان تایید می‌نمایند که تعارض منافی وجود ندارد.

منابع مالی: منابع مالی برای این پژوهش نبوده است.

مراجع

- 1- Cheung CF, Lee WB. Characterisation of nanosurface generation in single-point diamond turning. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2001;41(6):851-75.
- 2- Lee WB, Cheung CF, To S. Multi-scale modeling of surface topography in single-point diamond turning. In *Key Engineering Materials 2007* (Vol. 340, pp. 1009-1016). Trans Tech Publications Ltd.
- 3- Childs TH, Sekiya K, Tezuka R, Yamane Y, Dornfeld D, Lee DE, Min S, Wright PK. Surface finishes from turning and facing with round nosed tools. *CIRP annals*. 2008;57(1):89-92.
- 4- Shah SC, Geroge PM. Surface roughness modeling in precision turning of aluminium by polycrystalline diamond tool using response surface methodology. *Int J Emerge Technol Adv Eng*. 2012; 2:41-5.
- 5- Wyant JC, Creath K. Basic wavefront aberration theory for optical metrology. *Applied optics and optical engineering*. 1992;11(part 2):28-39.
- 6- Dabiri S, Dehghan O, Shamekhi M. *Matrix in optics*. Paya Group. 2010 (In Persian).