



ارزیابی عملکرد ابزار خود چرخان در تراشکاری

محمد عزیزی یوسفوند^۱، حبیب اله اکبری^۲، بهنام داودی^{۳*}

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: bdavoodi@iust.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

مقاله پژوهشی

دریافت: ۲۱ دی ۱۴۰۲

پذیرش: ۱۶ بهمن ۱۴۰۲

کلیدواژگان:

ابزار خود چرخان

زاویه تمایل

شکل‌گیری براده

کیفیت سطح

آلومینیوم ۷۰۷۵

ماشین کاری با ابزار چرخان با به‌کارگیری همه محیط ابزار به‌جای یک لبه برش خاص سبب کاهش سایش ابزار و در نتیجه افزایش عمر آن می‌شود. این روش ضمن سادگی سازوکار، یکی از ارزان‌ترین فرآیندهای سازگار با محیط‌زیست محسوب می‌شود. در تحقیقات صورت گرفته به نقش مهم زاویه تمایل بر خروجی‌ها اشاره شده است. بدین منظور در ابتدا با توجه به نیروها و شرایط هندسی ابزار گیر مناسب طراحی و ساخته شده است که امکان تغییر زاویه تمایل در آن وجود دارد. آلومینیوم ۷۰۷۵ به‌عنوان قطعه کار انتخاب و عملیات تراشکاری با استفاده از ابزار مناسب انجام شده است. کیفیت سطح قطعه کار بر اساس پارامترهای ورودی نظیر پیشروی و زاویه تمایل بررسی شده است. طراحی آزمایش بر مبنای فاکتوریل کامل است و در آن تأثیر تغییرات زاویه تمایل در ۳ حالت و با ۳ پیشروی متفاوت بررسی شده است. کاهش زاویه تمایل و همچنین کاهش پیشروی سبب بهتر شدن کیفیت سطح شده است. بهترین کیفیت سطح در زاویه تمایل ۵ درجه و پیشروی ۰/۱۲ میلی‌متر بر دور ایجاد شده است. شکل براده‌ها و نحوه شکل‌گیری آن‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در زوایای تمایل بالاتر براده به شکل نوار بدون پیچ‌خوردگی تشکیل شد ولی با کاهش زاویه، براده مارپیچ حلزونی شکل گرفت.

Performance evaluation of self-propelled rotary tool in turning

Mohammad Azizi Yousefvand¹, Habibollah Akbari², Behnam Davoodi^{3*}

1- Ph.D. Student, School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

3- Associate Professor, School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

* Corresponding Author's Email: bdavoodi@iust.ac.ir

Article Information

Original Research Paper

Received: 11 January 2024

Accepted: 5 February 2024

Keywords:

Self-Propelled Rotary Tool

Inclination Angle

Chip Formation

Surface Roughness

Al 7075

Abstract

Machining with rotary tools using all insert circumstances instead of a specific cutting edge reduces tool wear and thus increases its life. This method, in addition to the simplicity of the mechanism, is considered one of the cheapest environmentally friendly processes. The important role of the inclination angle on the outputs has been pointed out. For this purpose, according to the forces and geometrical conditions, a suitable tool holder is designed and built in which it is possible to change the inclination angle. Aluminum 7075 has been selected as the workpiece, and the turning operation has been done using appropriate tools. The surface roughness of the workpiece is measured based on input parameters such as feed and inclination angle. The design of the experiment is based on full factorial design, and surface roughness has been measured based on the angle of inclination in three modes and three different feeds. Reducing the inclination angle and the feed has improved the quality of the surface. The best surface roughness has been at an inclination angle of 5 degrees and an advance of 0.12 mm/round. The shape of the chips has also been investigated. Ribbon-type chips were formed at higher inclination angles, but conical helical chips were formed as the inclination angle decreased.

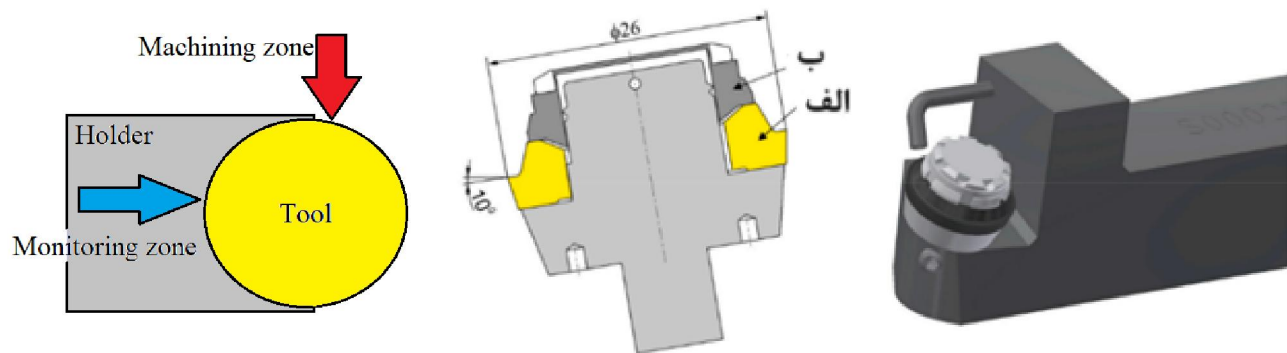
Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Azizi Yousefvand M, Akbari H, Davoodi B. Performance evaluation of self-propelled rotary tool in turning. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2023 October 23;10(8):27-35. doi: 10.22034/IJME.2024.435019.1915 [In Persian]

۱- مقدمه

در ابزارهای چرخان^۱ چرخش می‌تواند با نیروی موتور (ابزار چرخان هدایت شده^۲) یا توسط انرژی جنبشی قطعه کار (ابزار خود چرخان^۳) تأمین شود. شکل ۱ نمایی از ابزار خود چرخان را نمایش داده است. با اتصال ابزار الف به محور مرکزی توسط قید ب تمامی درجات آزادی آن به جز یک درجه چرخش حول محور، گرفته می‌شود و ابزار با نیروهای براده‌برداری می‌چرخد. مزیت این روش استفاده از تمام محیط ابزار دایروی به جای یک لبه برش ثابت است. به‌عنوان یک تخمین ساده به همان اندازه که نسبت محیط به لبه برش بیشتر شود به همان نسبت سایش ابزار کم و عمر آن افزایش می‌یابد. همچنین محدوده پایش در خارج از محدوده براده‌برداری قرار دارد که امکان نصب راحت‌تر تجهیزات را فراهم می‌کند. از دیگر مزایای آن اثر خود خنک‌شوندگی ابزار است به این صورت که هر نقطه در لبه برشی به مدت کوتاهی با قطعه کار درگیر بوده و براده‌برداری می‌کند سپس آزاد می‌شود. بنابراین دمای ابزار پایین‌تر از دمای ابزار ثابت می‌ماند و خنک‌شوندگی ابزار به عاملی دیگر برای افزایش عمر آن تبدیل می‌شود [۱]. دو عامل ذکر شده سبب افزایش طول عمر ابزار و امکان ماشین‌کاری مواد سخت ماشین‌کاری شونده می‌شوند. علاوه بر این‌ها ساختار ساده فرآیند سبب برتری این روش بر بسیاری از روش‌های نوین ماشین‌کاری است. از این جهت این روش می‌تواند به‌عنوان روشی سازگار با محیط‌زیست محسوب شود. همچنین با توجه به چرخش نسبتاً سریع ابزار می‌توان پایش دمایی و پایش سایش ابزار را آسان‌تر انجام داد. نتایج در آن با دقت بسیار بالایی قابل حصول است زیرا فاصله زمانی بین حرکت لبه ابزار از محدوده براده‌برداری تا محدوده پایش کمتر از چند ثانیه است.



شکل ۱ نمایی از ابزار خود چرخان. الف) ابزار ب) تکیه‌گاه ابزار [۱]

در کنار مزایای بسیار، ابزارهای چرخان محدودیت‌هایی نیز دارند که عبارت‌اند از ارتعاشات ابزار به دلیل چرخش آن و لب پر شدن لبه برش^۴. البته با طراحی ابزار به‌صورت مستحکم و استفاده از قید بندهای صحیح تا حدودی ارتعاشات اضافی کاهش می‌یابند. راهکار دیگر استفاده از ابزارهای دایروی با قطر کمتر و یا پایین آوردن نسبت عمق به قطر قطعه کار است. در کل با طراحی درست ابزار و رعایت موارد طراحی جایی برای نگرانی باقی نمی‌ماند. باید توجه داشت که در ابزار چرخان به دلیل اثر خنک‌شوندگی و استفاده از کل محیط آن به جای یک قسمت، بیشتر مکانیسم‌های سایش شامل سایش نفوذی^۵، سایش اکسیداسیونی^۶، سایش خستگی^۷ و سایش حفره‌ای^۸ در آن کم می‌شوند و مکانیسم غالب سایش به‌صورت سایش چسبان یا خراشان^۹ است. همین‌طور سایش بیشتر در سطح جانبی یا آزاد ابزار^{۱۰} اتفاق می‌افتد.

ابزارهای چرخان هدایت شده اولین بار در سال ۱۹۵۲ توسط شاو [۲] معرفی شده‌اند در حالی که بر مبنای گزارش هان [۳] ابزارهای خود چرخان اولین بار در سال ۱۹۸۵ توسط جیمز ناپیر در تراشکاری مورد استفاده قرار گرفت. بعد از آن مقالات بسیاری

¹ Rotary Tool

² ADRT: Actually Driven Rotary Tool

³ SPRT: Self-propelled Rotary Tool

⁴ Chipping

⁵ Diffusion Wear

⁶ Oxidation Wear

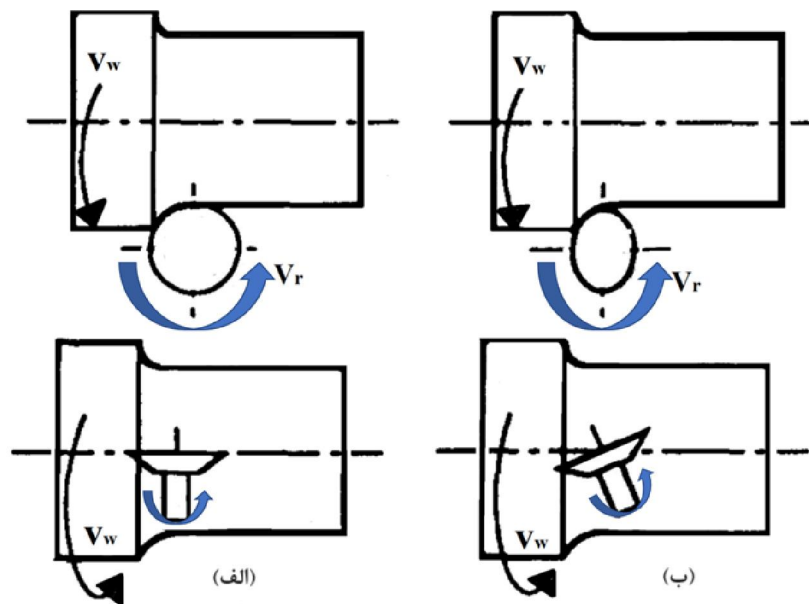
⁷ Fatigue Wear

⁸ Crater Wear

⁹ Abrasive/ Adhesive Wear

¹⁰ Flank Face

پیرامون ابزارهای چرخان ارائه شد ولی هیچ‌کدام نتوانستند روابطی تحلیلی جامع برای توصیف فرآیند ارائه کنند. با این حال بعضی از این مقالات روابطی نیمه تجربی ارائه داده‌اند. این روابط عمدتاً به شرایط خاص ماشین‌کاری بستگی داشته‌اند و نتوانستند الگویی جامع ارائه کنند. تا اینکه در دهه ۹۰ میلادی آرمارگو و سایر محققان [۴، ۵] توانستند با استفاده از دانش سنتی ماشین‌کاری و بر مبنای مقالات پیشین روابطی تحلیلی برای توصیف فرآیند ماشین‌کاری با ابزار چرخان (خود چرخان و هدایت شده) ارائه کنند. آن‌ها با ساده‌سازی فرآیند تراش مایل^۱ و در نظر گرفتن تأثیر سرعت چرخش ابزار بر روی زوایای تراش، فرآیند را به صورت برش متعامد^۲ معادل‌سازی کرده‌اند. به‌طور کلی مجموعه مقالات آن‌ها سبب ایجاد یک هسته دانش نظری پیرامون ابزارهای چرخان شد. بسیاری از محققان در مقالات خود به آن استناد می‌کنند. شکل ۲ نمایی از دو نوع متفاوت از ابزار چرخان را نمایش داده است که در آن V_w سرعت قطعه کار و V_r سرعت خطی حرکت محیط ابزار است. در حالت الف ابزار چرخان هدایت‌شونده و در حالت ب ابزار خود چرخان نمایش داده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالت الف ابزار به صورت عمود قرار گرفته و نیازی به زاویه تمایل ندارد (نیروی چرخش با موتور تأمین می‌شود) ولی در حالت ب یعنی در حالت خود چرخان ابزار برای چرخش نیاز به زاویه تمایل دارد چراکه بدون این زاویه نیروی اصطکاک در جهت شعاع ابزار به اندازه‌ای نیست که بتواند ابزار را بچرخاند. تقریباً هرچه این زاویه به ۹۰ درجه نزدیک‌تر شود به همان اندازه سرعت ابزار به سرعت حرکت قطعه کار نزدیک‌تر می‌شود. با این حال در زوایای نزدیک به ۹۰ درجه به دلیل افزایش بسیار زیاد نیروی پیشروی، عملیات تراش مختل و فرآیند براده‌برداری متوقف می‌شود.



شکل ۲ نمای ابزار چرخان (الف) هدایت‌شونده (ب) خود چرخان [۴]

زاویه تمایل می‌تواند با چرخش ابزار حاصل شود (شکل ۲-ب) و یا توسط موتور (شکل ۲-الف). در مورد اخیر سرعت ابزار V_r به صورت دلخواه به سرعت براده اضافه می‌شود. در واقع سرعت برآیند برخورد براده (V) با ابزار دیگر V_w نیست بلکه $V = V_w + V_r$ است [۴]. درست مانند حرکت افراد بر تردمیل که در آن سرعت ظاهری حرکت صفر است ولی فرد مجبور است تا با سرعتی برابر با سرعت تردمیل حرکت کند، در اینجا نیز سرعت برخورد براده به اندازه سرعت چرخش ابزار تغییر می‌کند. علاوه بر تغییر سرعت برآیند یک زاویه تمایل مصنوعی ایجاد می‌شود. از آنجاکه سرعت ابزار و سرعت قطعه کار عمود بر هم هستند، زاویه تمایل مصنوعی ایجاد شده تحت عنوان زاویه تمایل دینامیک به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود: [۴]

$$i_d = \tan^{-1} \frac{V_r}{V_w} \quad (1)$$

¹ Oblique Cutting

² Orthogonal Cutting

دیادی و همکاران [۶] به بررسی ماشین کاری با ابزار خود چرخان با توجه به زبری سطح پرداخته‌اند و در آن زبری سطح و سطح مقطع براده به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شده است. با توجه به زبری سطح بهترین زاویه تمایل ۳۰ تا ۴۵ درجه گزارش شده است. ایزوگو [۷] به بررسی موانع و مشکلات ابزارهای خود چرخان در رسیدن به کیفیت سطح مناسب پرداخته است. عوامل اصلی سایش ابزار خود چرخان سایش سطح جانبی و لب پر شدن لبه برش است. همین‌طور ممکن است سایش ارتعاشی^۱ به دلیل قطر بالای ابزار، عدم هم مرکزی با محور قطعه کار و لقی بالا بین محورهای بیرینگ‌ها ایجاد شود. افزایش قطر ابزار از طرفی باعث افزایش ارتعاشات ابزار می‌شود و از طرف دیگر به دلیل کم کردن زاویه درگیری ابزار و در نتیجه کاهش سرعت چرخش باعث کاهش سایش خستگی می‌شود پس باید در حد بهینه‌ای قرار گیرد. افزایش اصطکاک بیرینگ نیز سبب افزایش زاویه تمایل مؤثر و افزایش سرعت برشی نسبی، افزایش سرعت نسبی جریان براده و افزایش دمای ابزار می‌شود که افزایش دما سبب افزایش سایش ابزار می‌شود. راثو و همکاران [۸] به بررسی تراشکاری فولاد سخت کاری شده EN24 و بهینه‌سازی زبری سطح و نرخ براده‌برداری در آن بر اساس پارامترهای ورودی عمق X_1 ، زاویه تمایل X_2 ، پیشروی X_3 و سرعت برشی X_4 پرداخته‌اند. از روش طراحی آزمایش روش سطح پاسخ^۲ برای کاهش تعداد آزمایش‌ها و از الگوریتم ژنتیک برای تعیین جواب‌های بهینه استفاده شده است. گرگین و همکاران [۹] به بررسی تراشکاری فولاد سخت کاری شده EN24 و بهینه‌سازی زبری سطح و نرخ براده‌برداری در آن بر اساس پارامترهای ورودی عمق، زاویه تمایل، پیشروی و سرعت برشی پرداخته‌اند. سه روش بهینه‌سازی بر مبنای هدف^۳، مدل هیبریدی^۴ و الگوریتم ژنتیک غیر مغلوب^۵ استفاده شده است. هر سه روش زاویه تمایل و سرعت برشی مشابهی پیشنهاد داده‌اند و تفاوت جزئی در عمق پیشنهادی دارند. بهینه‌سازی بر مبنای هدف، بهترین نتیجه را به دنبال داشته است. چن و همکاران [۱۰] به بررسی کیفیت سطح، سایش و مورفولوژی براده در ماشین کاری ابزار خود چرخان پرداخته‌اند. سایش در ابزار خود چرخان کمتر از ابزار ثابت است. همین‌طور کیفیت سطح آن در طول کم براده‌برداری کمتر است اما بعد از گذشت زمان و افزایش طول ماشین کاری کیفیت سطح ایجاد شده توسط ابزار ثابت افت می‌کند و به مراتب کمتر - حدود ۴۰ درصد- از کیفیت سطح ابزار خود چرخان می‌شود. سعید امینی و رضا تیموری [۱۱] به بررسی پارامتری و بهینه‌سازی ماشین کاری با ابزار چرخان به کمک ارتعاشات التراسونیک پرداخته‌اند. استفاده از ارتعاشات التراسونیک سبب کاهش نیروها و افزایش کیفیت سطح قطعه شده است و این دو پارامتر بر حسب ورودی‌ها شامل سرعت برشی، پیشروی، عمق و سرعت ابزار بهینه‌سازی شده‌اند. ویژگی شاخص این تحقیق نسبت به سایر تحقیقاتی که از ارتعاشات التراسونیک در ابزارهای چرخان بهره گرفته‌اند، استفاده از ارتعاشات با فرکانس بالا است که می‌تواند در ماشین کاری با سرعت بالا مورد استفاده قرار گیرد. جوچ و همکاران [۱۲] به بررسی کیفیت سطح ابزار و مورفولوژی براده بر اساس نوع براده شکن در تراش با ابزار چرخان پرداخته‌اند. در سه حالت بدون براده شکن، براده شکن بر سطح پهلو و براده شکن بر سطح براده، آزمایش‌ها صورت گرفته‌اند. ابزار با براده شکن بر سطح پهلو دارای کمترین زبری سطح و ابزار بدون براده شکن دارای بیشترین زبری سطح و براده پیوسته بوده است. احمد و همکاران [۱۳] به تحلیل و بهینه‌سازی ماشین کاری فولاد سخت کاری شده AISI 4140 با ابزار خود چرخان پرداخته‌اند. ورودی‌ها شامل سرعت برشی، پیشروی و زاویه تمایل و خروجی‌ها کیفیت سطح قطعه، سایش ابزار و نرخ تولید هستند. بهترین کیفیت سطح با زاویه تمایل ۲۰ درجه حاصل شده است در حالی که کمترین سایش ابزار در زاویه تمایل ۱۰ درجه حاصل شده است. بر مبنای الگوریتم ژنتیک مدلی برای پیش‌بینی سایش ابزار و همین‌طور کیفیت سطح بر مبنای ورودی‌ها پیشنهاد شده است. بر اساس پیشینه موضوع، مشخص شده است که تأثیر تمایل تأثیر بسیار زیادی در کیفیت سطح دارد و تقریباً به‌عنوان پارامتر غالب تعیین شده آن‌ها در همه آن‌ها مقدار بهینه‌ای برای آن گزارش شده است که مقادیر بیشتر یا کمتر آن سبب افزایش سایش ابزار و یا کاهش کیفیت سطح می‌شود. وان و همکاران [۱۴] به بهینه‌سازی همزمان زبری سطح و انرژی مصرفی بر اساس پارامترهای برش شامل زاویه تمایل، پیشروی، عمق و سرعت برش پرداخته‌اند. با اعمال مدل آماری خروجی‌ها بر مبنای ورودی‌ها بهینه شده‌اند. در تحقیقی دیگر بین [۱۵] به بهینه‌سازی زاویه تمایل، پیشروی، عمق و سرعت برش بر اساس الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی و آنالیز رگرسیون پرداخته است. در پیش‌بینی زبری الگوریتم ژنتیک بهتر از سایر روش‌ها عمل کرده و خطای کمتری داشته است.

¹ Chatter

² Response Surface Method (RSM)

³ Goal Programming Method (GPM)

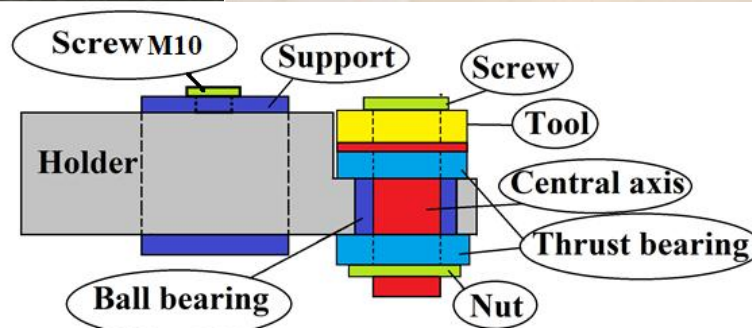
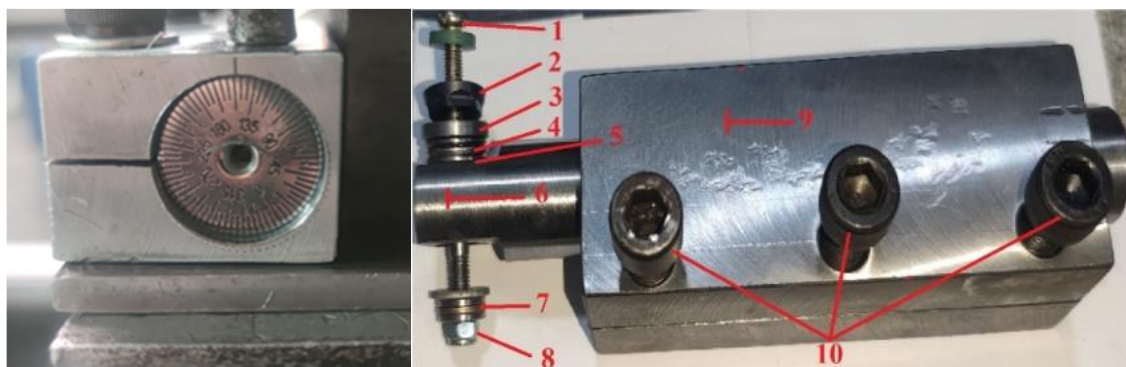
⁴ TOPSI Hybrid Model

⁵ NSGA-I

به منظور بررسی تاثیر همزمان زوایای تمایل افقی و عمودی در ابزارهای خود چرخان، ابزارگیری طراحی شده که تعیین زاویه تمایل با قرارگیری ابزارگیر در تکیه گاه و چرخش آن، امکان تنظیم زاویه تمایل دلخواه وجود دارد. با قرارگیری ابزارگیر در زوایای تمایل مختلف تاثیر این زاویه بر زبری سطح مورد بررسی قرارگرفته است و زاویه تمایلی بهینه که در آن کمترین زبری سطح وجود دارد مشخص شده است. همچنین به مقایسه شکل براده در ابزار ثابت و چرخان پرداخته شده است.

۲- مواد و روشها

شکل ۳ ابزار گیر و سایر اجزای طرح را نمایش داده است. در بالاترین قسمت، پیچ نگه‌دارنده (شماره ۱) ابزار (شماره ۲) را به محور مرکزی (شماره ۳) متصل می‌کند. بنابراین تعداد درجات آزادی ابزار برابر تعداد درجات آزادی محور مرکزی است و ابزار از این محور تبعیت دارد. محور مرکزی به صورت ساندویچی بین دو بلبرینگ کف گرد بالایی (شماره ۴) و بلبرینگ پایینی (شماره ۷) قرار گرفته تا ۱ درجه آزادی آن مهار شود و نیروهای ماشین‌کاری و همچنین نیروهای عکس‌العمل آن‌ها مهار شوند. همین‌طور محور مرکزی از بلبرینگ سوزنی (شماره ۵) عبور داده شده تا ۴ درجه آزادی دیگر نیز مهار شوند. بنابراین محور مرکزی و به تبع آن ابزار فقط یک درجه آزادی برای چرخش دارند. در پایین‌ترین بخش محور مرکزی با مهره (شماره ۸) به بلبرینگ پایینی متصل شده است. نکته مهمی که در طرح وجود دارد استفاده از پیچ چپ‌گرد به جای پیچ راست‌گرد در بستن ابزار است. زیرا با توجه به چرخش پادساعت‌گرد ابزار، نیروهای ماشین‌کاری تمایل دارند تا پیچ را به صورت پادساعت‌گرد باز کنند. بنابراین پیچی که در جهت پادساعت‌گرد بسته شود - یعنی پیچ چپ‌گرد- انتخاب مناسبی است. در نهایت ابزار گیر (شماره ۶) که به صورت استوانه‌ای طراحی شده است با قرارگیری در تکیه‌گاه^۱ (شماره ۹) و توسط سه عدد پیچ M10 (شماره ۱۰) امکان ایجاد زاویه تمایل دلخواه را فراهم می‌کند. در شکل (۳): بالا- راست) نمای انتهایی ابزار گیر نشان داده شده است که با لیزر مدرج شده تا زاویه تمایل دلخواه (با قدرت تفکیک ۵ درجه) ایجاد شود. جنس ابزار گیر فولاد آلیاژی MO40 است که در صورت لزوم قابلیت سخت‌کاری دارد. بلبرینگ‌های کف گرد از نوع شیار عمیق سری FM^۲ شرکت ایزو بلبرینگ^۳ هستند. همچنین از بلبرینگ سوزنی شرکت تیمکن^۴ استفاده شده است.



شکل ۳ ابزار گیر و اجزای آن

¹ Support

² F8-16M

³ EZO Bearings

⁴ Timken - HK0810

۲-۱- مشخصات ابزار و قطعه کار

قطعه کار از جنس آلیاژ آلومینیم 7075 با قطر ۵۰ میلی‌متر است که پس از انجام آنالیز کوانتومتری مشخصات آن تعیین شده است (جدول ۱). تیغچه گرد با کد RDHW 160 و با قطر ۱۶ میلی‌متر و با زاویه براده صفر انتخاب شده است.

جدول ۱ درصد عناصر قطعه

عنصر	Zn	Mg	Cu	Cr	Fe	Si	Mn	Ti	Al
درصد	۵	۲	۲	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۸۹/۹

۲-۲- پارامترهای ورودی و خروجی

در طراحی آزمایش ورودی‌ها به دودسته ثابت و متغیر تقسیم می‌شوند. ورودی‌های ثابت شامل: شعاع ابزار، جنس ابزار، جنس قطعه کار، سرعت برش و عمق برش است. پارامتر خروجی زبری سطح قطعه کار است. در جدول ۲ ورودی‌ها و خروجی‌ها نمایش داده شده‌اند.

جدول ۲ ورودی و خروجی‌های آزمایش

ورودی	زاویه تمایل	پیشروی
خروجی	زبری سطح قطعه	

طراحی آزمایش بر مبنای طراحی فاکتوریل کامل^۱ انجام شده است. عمق برش برای همه آزمایش‌ها ۱ میلی‌متر است. زاویه تمایل (i) در سه مرحله با افزایش ۱۵ درجه‌ای (از ۵ تا ۳۵ درجه) تغییر کرده‌اند. سرعت برش ۲/۷ متر بر ثانیه و سرعت پیشروی (f) در سه سطح به صورت ۰/۰۸، ۰/۱۲ و ۰/۱۶ میلی‌متر بر دور متغیر است. جدول (۳) متغیرهای طراحی آزمایش را نمایش داده است. آلومینیم سری ۷۰۰۰ به دلیل خواص مکانیکی مناسب و قابلیت ماشین‌کاری نسبتاً خوب مورد توجه قرار گرفته است. در برخی تحقیقات [۱۶-۱۷] پارامترهای برشی در ماشین‌کاری آلومینیم‌های سری ۷۰۰۰ بررسی شده‌اند و با بهینه‌سازی پارامترها، زبری سطح کمینه گزارش شده است [۱۶]. همچنین به تأثیر استفاده و یا عدم استفاده از سیال برشی بر کیفیت سطح آن‌ها پرداخته شده است [۱۷] و مقدار بهینه‌ای پیشنهاد شده است. با توجه به مراجع ذکر شده، محدوده پارامترهای برشی انتخاب شده است.

جدول ۳ طراحی آزمایش

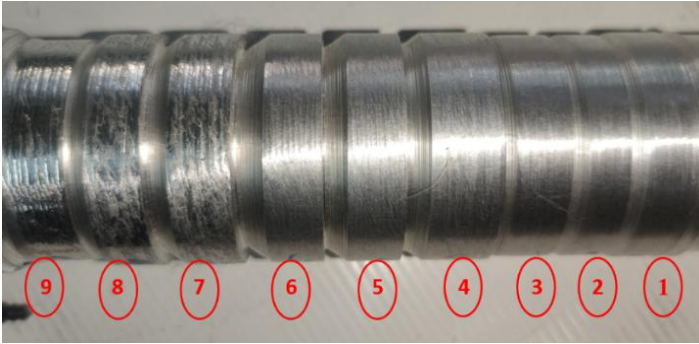
شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
زاویه تمایل	۵	۵	۵	۲۰	۲۰	۲۰	۳۵	۳۵	۳۵
سرعت پیشروی	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۶

۳- نتایج و بحث

پس از تقسیم قطعه کار به نه بخش، هر بخش با ورودی‌های طراحی آزمایش ماشین‌کاری شده‌اند. پس از اتمام آزمایش‌ها، زبری سطح با زبری سنج^۲ اندازه‌گیری شده و زبری هر بخش سه مرتبه و در مجموع ۲۷ مرتبه توسط دستگاه زبری سنج اندازه‌گیری شده است. در شکل ۴ نمایی از سطوح ماشین‌کاری شده، زبری سنج و یک نمونه از نمودار ارائه شده توسط آن (آزمایش ۱) نمایش داده شده است.

¹ Full Factorial Design

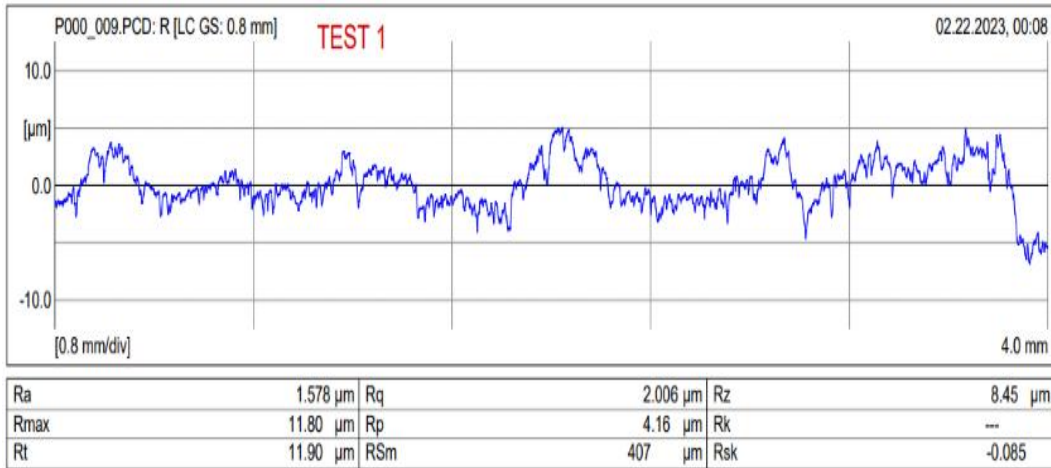
² Marsurf PS1



(ب)



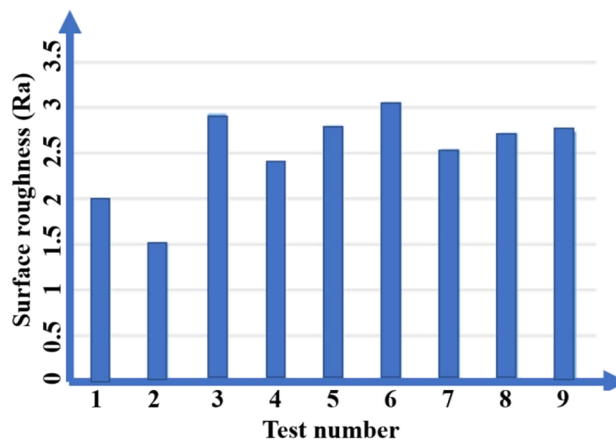
(الف)



(ج)

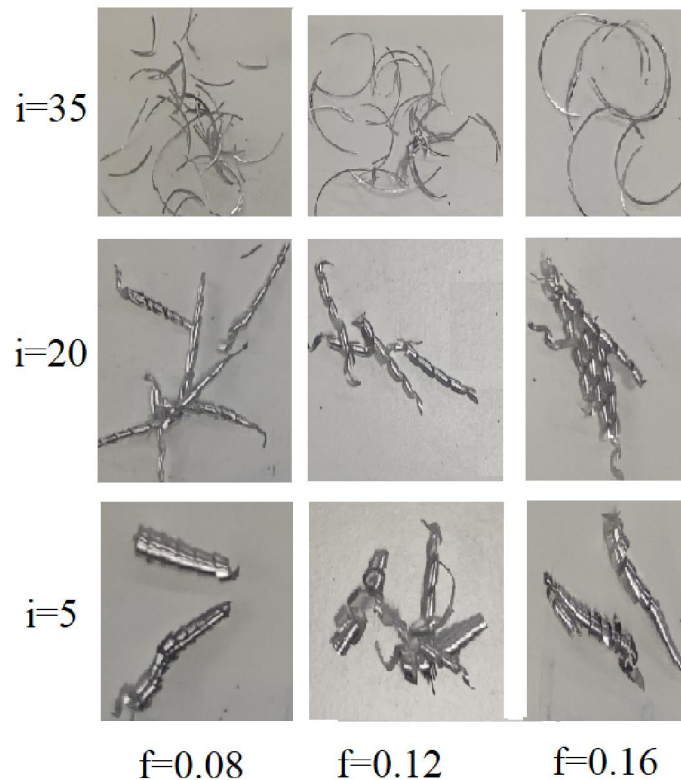
شکل ۴ الف) نمایی از سطوح مورد آزمایش. ب) دستگاه زبری سنج مورد استفاده. ج) یک نمونه از نمودار ارائه شده توسط زبری سنج

شکل ۵ میانگین زبری‌ها بر اساس معیار R_a را برای هر نه آزمایش نشان داده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زاویه تمایل میانگین زبری‌ها افزایش می‌یابد. در واقع افزایش زاویه تمایل سبب افزایش طول صفحه برش و در نتیجه افزایش نیروها و ارتعاشات می‌شود که این عوامل باعث بد شدن شرایط برش و افزایش زبری سطح می‌شوند. همچنین با افزایش پیشروی، زبری به‌طور نسبتاً محسوسی افزایش یافته است. البته تنها استثنای آن آزمایش ۱ است که زبری آن بیشتر شده است. ابزارهای خود چرخان نیاز به یک حداقل پیشروی و یا حداقل زاویه تمایلی دارند تا بتوانند با نیروهای ماشین‌کاری به‌صورت پیوسته چرخش کنند. در آزمایش ۱ که دارای پایین‌ترین پیشروی (۰/۰۸ میلی‌متر بر دور) و همین‌طور کمترین زاویه تمایل (۵ درجه) بوده نیروی شعاعی کافی نبوده و ابزار حین براده‌برداری به‌خوبی چرخش نداشته است (چرخش منقطع ابزار) و که سبب افزایش ارتعاشات و افزایش زبری سطح قطعه کار شده است.



شکل ۵ میانگین زبری‌ها با معیار R_a برحسب μ_m

در شکل ۶ نمایی از براده‌های شکل‌گرفته در آزمایش‌ها نمایش داده شده است. براده‌ها از نظر هندسی بر اساس استاندارد ایزو^۱ بررسی شده‌اند. در زاویه تمایل ۳۵ درجه براده‌ها ریان-مانند^۲ هستند. در زوایای تمایل ۵ و ۲۰ درجه براده‌ها شکل معمول براده‌های ابزارهای چرخان یعنی مارپیچ حلزونی^۳ را دارند. دلیل آن چرخش ابزار است که کشیده شدن و پیچ خوردن براده را میسر می‌کند و حاکی از شرایط نسبتاً مناسب برشی است.



شکل ۶ براده‌های ایجادشده در ماشین‌کاری آلومینیم ۷۰۷۵ با ابزار خود چرخان

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی اثر زوایای تمایل بر زبری سطح در ابزارهای دایروی چرخان پرداخته شده است. بدین منظور یک ابزار خود چرخان طراحی و ساخته شد که امکان ایجاد زاویه تمایل افقی دلخواه را دارد. از جمله نتایج تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- افزایش زاویه تمایل منجر به کاهش میانگین کیفیت سطح شده است. در واقع با افزایش زاویه تمایل نیروها و ارتعاشات افزایش یافته‌اند و شرایط برشی سخت‌تر و در نتیجه میانگین زبری سطح افزایش می‌یابد.
- به‌طور کلی با کاهش پیشروی زبری کاهش یافته است. تنها استثنا در زاویه تمایل ۵ درجه (کمترین زاویه تمایل) اتفاق افتاده است. زبری سطح با پیشروی ۰/۰۸ بالاتر از زبری سطح با پیشروی ۰/۱۲ است. در این زاویه نیروهایی که سبب چرخش ابزار می‌شوند به‌اندازه کافی نیستند تا بر نیروی اصطکاک مجموعه غلبه کنند در نتیجه شرایط چرخش ابزار به‌صورت دائم فراهم نبوده است و این امر سبب افزایش زبری در قطعه کار شده است.
- در بالاترین زاویه تمایل (۳۵ درجه) براده ریان مانند ایجاد شده است که ناشی از شرایط سخت برشی است. در زوایای تمایل پایین‌تر شکل براده مارپیچ حلزونی است.

¹ ISO 3685:1993

² Ribbon Chips

³ Conical Helical Chips

References

- [1] Nieslony P, Krolczyk GM, Chudy R, Wojciechowski S, Maruda RW, Biłous P, Lipowczyk M, Stachowiak L. Study on physical and technological effects of precise turning with self-propelled rotary tool. *Precision Engineering*: 2020 Nov 1;66:62-75. doi: [10.1016/j.precisioneng.2020.06.003](https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2020.06.003)
- [2] Shaw MC, Smith PA, Cook NH. The rotary cutting tool. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*: 1952 Aug 1;74(6):1065-73. doi: [10.1115/1.4016023](https://doi.org/10.1115/1.4016023)
- [3] HAHN, R.S. Discussion of Shaw et al. l. paper, Ref 2.
- [4] Armarego EJ, Karri V, Smith AJ. Fundamental studies of driven and self-propelled rotary tool cutting processes—I. Theoretical investigation. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*: 1994 Aug 1;34(6):785-801. doi: [10.1016/0890-6955\(94\)90059-0](https://doi.org/10.1016/0890-6955(94)90059-0)
- [5] Armarego EJ, Karri V, Smith AJ. Fundamental studies of driven and self-propelled rotary tool cutting processes—II Experimental investigation. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*: 1994 Aug 1;34(6):803-15. doi: [10.1016/0890-6955\(94\)90060-4](https://doi.org/10.1016/0890-6955(94)90060-4)
- [6] Dabade UA, Joshi SS, Ramakrishnan N. Analysis of surface roughness and chip cross-sectional area while machining with self-propelled round inserts milling cutter. *Journal of Materials Processing Technology*: 2003 Jan 10;132(1-3):305-12. doi: [10.1016/S0924-0136\(02\)00949-4](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00949-4)
- [7] Ezugwu EO. Improvements in the machining of aero-engine alloys using self-propelled rotary tooling technique. *Journal of materials processing technology*: 2007 Apr 30;185(1-3):60-71. doi: [10.1016/j.jmatprotec.2006.03.112](https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.03.112)
- [8] Rao TB, Krishna AG, Katta RK, Krishna KR. Modeling and multi-response optimization of machining performance while turning hardened steel with self-propelled rotary tool. *Advances in Manufacturing*: 2015 Mar;3:84-95. doi: [10.1007/s40436-014-0092-z](https://doi.org/10.1007/s40436-014-0092-z)
- [9] Gurgun S, Sofuoglu MA, Cakir FH, Orak S, Kushan MC. Multi response optimization of turning operation with self-propelled rotary tool. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*: 2015 Jul 3;195:2592-600. doi: [10.1016/j.sbspro.2015.06.459](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.459)
- [10] Chen T, Wang Y, Gao W, Li R. Comparative study on the cutting performance of self-propelled rotary cutters and indexable cutters in milling TC11 titanium alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*: 2020 Dec;111:2749-58. doi: [10.1007/s00170-020-06273-y](https://doi.org/10.1007/s00170-020-06273-y)
- [11] Amini S, Teimouri R. Parametric study and multi characteristic optimization of rotary turning process assisted by longitudinal ultrasonic vibration. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*: 2017 Oct;231(5):978-91. doi: [10.1177/0954408916651894](https://doi.org/10.1177/0954408916651894)
- [12] Joch R, Pilc J, Daniš I, Drbúl M, Krajčoviech S. Analysis of surface roughness in turning process using rotating tool with chip breaker for specific shapes of automotive transmission shafts. *Transportation Research Procedia*: 2019 Jan 1;40:295-301. doi: [10.1016/j.trpro.2019.07.044](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.044)
- [13] Ahmed W, Hegab H, Mohany A, Kishawy H. Analysis and Optimization of Machining Hardened Steel AISI 4140 with Self-Propelled Rotary Tools. *Materials*: 2021 Oct 15;14(20):6106. doi: [10.3390/ma14206106](https://doi.org/10.3390/ma14206106)
- [14] Van AL, Nguyen TT, Dang XB. Optimization of Rough Self-Propelled Rotary Turning Parameters in terms of Total Energy Consumption and Surface Roughness. *Tehnički vjesnik*: 2023 Oct 25;30(6):1728-36. doi: [10.17559/TV-20230202000308](https://doi.org/10.17559/TV-20230202000308)
- [15] Bien DX. Predictive modeling of surface roughness in hard turning with rotary cutting tool based on multiple regression analysis artificial neural network and genetic programming methods. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 2024 Jan;238(1-2):137-50. doi: [10.1177/09544054231157112](https://doi.org/10.1177/09544054231157112)
- [16] Pour M, Pour M, Azizi MH. Experimental investigation of the simultaneous effect of machining parameters, axial force and cutting torque on the surface roughness of the produced hole in the drilling of the 7000 series AL Alloy workpiece. *Iranian Journal of Manufacturing Engineering*: 2020 Mar 20;7(1):26-38 [In Persian]
- [17] Bagheri A, Abedini V, Hajialimohammadi A. Experimental Investigation of the Effective Parameters in 7075-T6 Aluminum Machining Process on Surface Roughness Using Minimum Quantity Lubrication (MQL) and Cold Fluid. *Iranian Journal of Manufacturing Engineering*: 2021 Aug 23;8(6):7-14 [In Persian]