



Experimental and Numerical Study of the Quality and Health of Wood Plastic Surface during Turning with Self-Rotary Tool

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Hoseinpour H.¹ MSc,
Saraeian P.^{*2} PhD,
Shakouri E.¹ PhD

How to cite this article

Hoseinpour H, Saraeian P, Shakouri E. Experimental and Numerical Study of the Quality and Health of Wood Plastic Surface during Turning with Self-Rotary Tool. Modares Mechanical Engineering. 2020;20(5):1283-1293.

ABSTRACT

Due to the specific characteristics of composite wood plastic and increasing of this product due to its compatibility with the environment, the quality of the appropriate surface area during the various machining processes on this material has been considered more than before. In this study, after turning operation with self-rotary tool on samples by changing the parameters of spindle speed, the feed rate and cutting depth, to measure and compare the surface roughness of the turning surfaces, the surface quality assessment has been investigated by microscope as well as numerical analysis of the process. The results show that during turning with self-rotary tool, for the cutting depth of 1mm and the feed rate of 22.0mm/rev by increasing the spindle speed from 500 to 710rpm, the surface quality of about 17% improved that this amount compared with conventional turning is also Improved about 37%. Also, due to increasing machining forces, by increasing the feed rate from 22.0 to 44.0mm/rev, surface quality is reduced by about 21%. Comparing the obtained values for surface roughness showed that after the feed rate, the spindle speed had the highest impact on the quality and health of the turning surfaces. Also, comparing the roughness of the measured surfaces during the finite element method and the experimental method showed the proper accuracy and adaptability of these two methods.

Keywords Wood Plastic; Rotary Tool; Feed Rate; Spindle Speed; Surface Roughness; Finite Element

¹Mechanical Engineering Department, Mechanic Faculty, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

²Mechanical Engineering Department, Mechanic Faculty, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Esfahan, Iran

*Correspondence

Address: Mechanical Engineering Department, Mechanic Faculty, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Esfahan, Iran

Phone: -

Fax: -

p.saraeian@iaue-tnd.ac.ir

Article History

Received: October 05, 2019

Accepted: November 30, 2019

ePublished: May 09, 2020

CITATION LINKS

[1] Optimization of Machining Parameters to Minimize Surface Roughness using Integrated ANN-GA Approach [2] Wood filled plastics: The time has come [3] Turning of difficult to machine materials with actively driven rotary tool [4] Tool wear and chips formation during hard turning with self-propelled rotary tools [5] A model for cutting forces generated during machining with self-propelled rotary tools [6] Prediction of cutting force for self-propelled rotary tool using artificial neural networks [7] Improvements in the machining of aero-engine alloys using self-propelled rotary tooling technique [8] Evaluation of a Self-Propelled Rotary Tool in the Machining of Aerospace Materials [9] Surface integrity in machining [10] Modeling of tool wear during hard turning with self-propelled rotary tools [11] Application of Self Propelled Rotary Tools for turning of difficult-to-machine Materials [12] Modeling and optimization of tool wear and surface roughness in turning of using response surface methodology [13] itechpolymer.com [14] Evaluation of roughness parameters of machined surface of selected wood plastic composite [15] The machined surface of magnesium AZ31 after rotary turning at air cooling condition [16] Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert [17] Fundamentals of machining and machine tools [18] experimental study of surface roughness of wood plastic composites after turning [19] Analysis of physical-mechanical and surface properties of wood plastic composite Materials to determine the energy balance [20] Machinability investigation in turning of high density fiberboard [21] Effect Of Machining Parameters On Surface Roughness And Material Removal Rate In Finish Turning Of Glass Fibre Reinforced Polymer Pipes [22] Modeling and multi-response optimization of machining performance while turning hardened steel with self-propelled rotary tool

مطالعه تجربی و عددی کیفیت و سلامت سطح چوب پلاست طی تراشکاری با ابزار خودچرخان

حمیدرضا حسین‌پور MSc

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مکانیک، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

پیام سرائیان PhD

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مکانیک، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

احسان شکوری PhD

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مکانیک، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

با توجه به ویژگی‌های خاص کامپوزیت چوب پلاست و استقبال روز افزون از این محصول به واسطه سازگاری آن با محیط زیست، دستیابی به کیفیت سطح مناسب طی انجام فرآیندهای مختلف ماشین‌کاری روی این دسته از مواد، بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش پس از انجام عملیات تراشکاری با ابزار خودچرخان روی نمونه‌ها با تغییر پارامترهای سرعت اسپیندل، نرخ پیشروی و عمق برش، به اندازه‌گیری و مقایسه زبری سطوح تراشکاری شده، بررسی سلامت سطوح توسط میکروسکوپ و همچنین تحلیل عددی فرآیند پرداخته شده است. در نتایج مشاهده شد که طی تراشکاری با ابزار خودچرخان به ازای عمق برش ۱ میلی‌متر و نرخ پیشروی ۲۲/۰ میلی‌متر بر دور، با افزایش سرعت اسپیندل از ۵۰۰ به ۷۱۰ دور بر دقیقه، کیفیت سطح در حدود ۱۷٪ بهتر شد که این مقدار در مقایسه با تراشکاری معمولی نیز در حدود ۳۷٪ بهبود یافته است. همچنین به علت افزایش نیروهای ماشین‌کاری، با افزایش نرخ پیشروی از ۲۲/۰ به ۴۴/۰ میلی‌متر بر دور، کیفیت سطح در حدود ۲۱٪ کاهش یافته است. مقایسه مقادیر به دست آمده برای زبری سطح نشان داد که بعد از نرخ پیشروی سرعت اسپیندل بیشترین تأثیر را بر کیفیت و سلامت سطوح تراشکاری شده داشته است. همچنین مقایسه زبری سطوح اندازه‌گیری شده طی روش امان محدود و روش تجربی نیز نشان‌دهنده دقت و سازگاری مناسب این دو روش با یکدیگر بوده است.

کلیدواژه‌ها: چوب پلاستیک، ابزار خودچرخان، نرخ پیشروی، سرعت دورانی، زبری سطح، امان محدود

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۹

*نویسنده مسئول: p_saraeian@iau-tnd.ac.ir

۱- مقدمه

تولید قطعات با دقت ابعادی بالا و کیفیت سطح مطلوب، همواره مورد توجه صنایع بوده و دستیابی به این هدف، یکی از جنبه‌های مهم در تولید به شمار می‌رود. امکان تولید محصول با کیفیت و صافی سطح مطلوب علاوه بر اینکه بر کاهش زمان تولید مؤثر است، بلکه سبب کاهش هزینه‌های تولید شده و به دنبال آن کاهش قیمت تمام شده محصول را نیز به دنبال دارد. لذا همواره کنترل عوامل مؤثر بر کیفیت و سلامت سطح، قطعات تولید شده حایز اهمیت بوده است^[1]. در خصوص تراشکاری کامپوزیت‌های چوب پلاستیک (Wood-Plastic)، مواردی از قبیل پردازش

لبه‌ها، موج‌دارشدن سطح، ایجاد زائیده و شکستگی، از آسیب‌های متداول به شمار می‌روند. همچنین خواصی مانند چگالی و رطوبت نیز، بر کیفیت ماشین‌کاری این دسته از مواد مؤثر هستند^[2].

حرارت حاصل از براده‌برداری نیز، یکی دیگر از عوامل محدودکننده در عملیات ماشین‌کاری است. این پدیده، تأثیرات نامطلوبی بر کیفیت سطح قطعه‌کار، دقت ابعادی، سایش ابزار، سرعت تولید و قیمت تمام شده محصول دارد. از روش‌های کنترل حرارت در منطقه برش می‌توان به استفاده از سیال خنک‌کننده و یا استفاده از ابزارهایی نظیر ابزار خودچرخان (Rotary Tool) اشاره نمود^[3].

ابزارهای چرخشی، از نظر عامل محرکه عموماً به دو نوع، ابزارهای چرخشی با محرک خارجی و ابزارهای خودچرخان تقسیم می‌شوند. در ابزارهای خودچرخان، سری مدور ابزار به‌وسیله نیروی حاصل از تشکیل براده‌ها، حول محور خود دوران می‌کند. در این حالت، سایش ابزار کاهش می‌یابد و لبه برشی، خود به خود خنک می‌شود، به این ترتیب عمر مفید قطعه و یکپارچگی مربوط به سطح ماشین‌کاری، نسبت به تراشکاری سنتی افزایش می‌یابد^[4].

طی مطالعات انجام شده بر نیروی‌های ایجاد شده طی تراشکاری قطعات، نتایج حاصل از مدل‌سازی نیروی برشی طی ماشین‌کاری با ابزارهای خودچرخان نشان داد، نیروی وارد شده بر ابزار، به تغییرات پیشروی حساس بوده و تغییرات پیشروی، بیشترین اثر را بر آن داشته است^[5,6].

با وجود آنکه نیروی برشی و نیروی شعاعی وارد در این ابزارها نسبت به ابزارهای معمولی کمتر است و به دلیل دوران مداوم ابزار، تشکیل براده و اصطکاک در آنها کمتر است. یکی از دلایل دشواری ماشین‌کاری مواد سخت با استفاده از ابزارهای خودچرخان، انباشته‌شدن براده در لبه برنده ابزار دوار معرفی شده است. همچنین نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که انباشته‌شدن براده در لبه ابزار دوار خودچرخان باعث کنده‌شدن قسمتی از قطعه‌کار شده و کاهش کیفیت سطح قطعات را سبب می‌شود^[7].^[8] طی مطالعه انجام شده بر روی تراشکاری مواد سخت با استفاده از ابزار خودچرخان، نتایج نشان داد، که افزایش سرعت دوران تا مقدار مشخصی، سبب کاهش دمای ابزار شده، ولی با افزایش سرعت دورانی ابزار به بیش از این مقدار، به دلیل افزایش اصطکاک بین ابزار و براده، دما روند افزایشی نشان داده است، لذا برای سرعت دورانی ابزار یک مقدار بهینه تعیین شد^[9].

طی مدل‌سازی سایش و خوردگی ابزار با استفاده از الگوریتم ژنتیک، طی تراشکاری فولاد با ابزار خودچرخان، نتایج نشان دهنده وجود توافق خوبی بین پیش‌بینی انجام شده توسط مدل و اندازه‌گیری‌های تجربی انجام شده بود. به این ترتیب، استفاده از ابزار خودچرخان به‌عنوان روش مناسبی برای کاهش سایش و خوردگی ابزار معرفی شد^[10]. در پژوهش دیگری به بررسی برخی از مشکلات مهم و محدودیت‌های استفاده از ابزار خودچرخان پرداخته شد که از مهمترین محدودیت‌های ذکر شده در آن، گرایش جریان براده از سطح ابزار به داخل و جمع‌شدن آن در سطح ابزار و

مواد با نسبت وزنی ۴۱٪ آرد چوب و ۵۵٪ پی‌وی‌سی، به صورت خشک با یکدیگر مخلوط شده و سپس به ترکیب حاصل، به میزان ۴٪ پلی‌اولفین‌مالئیک‌انیدرید (MAPE) به عنوان سازگارکننده افزوده شد. مطابق شکل ۱ جهت تهیه گرانول چوب پلاستیک، از یک دستگاه اکسترودر، با قالبی متشکل از دو کفه از جنس فولاد گرم‌کار استفاده شد.



شکل ۱) دستگاه اکسترودر دو ماردونه مورد استفاده

جهت جلوگیری از سوختن چوب طی فرآیند، دمای تنظیم شده برای گرمکن قالب ۱۵۸ درجه سانتی‌گراد و دمای تنظیم شده برای دو گرمکن دیگر، ۱۵۴ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد انتخاب شد و سرعت انتخابی اکسترودر نیز ۱۵ دور بر دقیقه تعیین شد. مشخصات فنی اکسترودر در جدول ۲ ارائه شده است. به این ترتیب ترکیب حاصل پس از اکسترودر، به صورت رشته‌هایی از قالب خارج شد که این رشته‌ها، پس از سرد شدن در مجاورت هوا، خرد شده و به این ترتیب گرانول مورد نیاز برای تهیه نمونه‌ها آماده‌سازی شد.

جدول ۲) مشخصات فنی اکسترودر

پارامتر	مقدار
نسبت L به D	۳۰
توان الکتروموتور	۱۸/۵ کیلو وات
خروجی	۱۱۰-۹۰ کیلوگرم در ساعت
تعداد گرمکن	۵

به منظور گازگیری، خشک کردن و از بین بردن رطوبت موجود در مواد پلیمری، از کوره حرارتی Memmert ساخت کشور آلمان با قابلیت تنظیم دما و زمان، کنترل دیجیتالی، قابلیت تثبیت دما و توان حرارتی ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. پس از این مرحله، گرانول‌ها داخل قیف دستگاه اکسترودر دو ماردونه ریخته شده و با عبور مواد از داخل قالب با روزه‌ای به قطر ۲۰ میلی‌متر، نمونه‌های استوانه‌ای شکل چوب پلاست به طول ۳۱۰ میلی‌متر و به تعداد ۹ عدد تولید و آماده شد. در شکل ۲ نمایی از نمونه‌های چوب پلاستیک تهیه شده نشان داده شده است. پس از ساخت نمونه‌ها، جهت انجام عملیات تراشکاری روی نمونه‌ها از یک نگهدارنده ابزار (Holder) که قابلیت چرخش به حول محور خود را دارد استفاده شده است.

ایجاد کیفیت سطح غیرقابل قبول و به دنبال آن بروز اعوجاج در سطح ماشین‌کاری شده بوده است [11].

در پژوهشی پیرامون بهینه‌سازی و بررسی تاثیر پارامترهای تراشکاری با ابزار خودچرخان بر عمر ابزار و صافی سطح قطعه کامپوزیت فلزی، از روش‌های آماری، آنالیز واریانس و نتایج حاصل از روش رگرسیون سطح پاسخ استفاده شد. در این تحقیق سرعت برش، نرخ تغذیه و عمق برش به عنوان متغیرهای مستقل انتخاب شدند و تاثیر آنها بر صافی سطح و عمر ابزار مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد، افزایش سرعت برش بیشترین تاثیر را بر کاهش عمر ابزار و افزایش صافی سطح قطعات کامپوزیتی داشته است [12].

نتایج حاصل از مطالعه تحقیقات پیشین، پیرامون تراشکاری قطعات با ابزار خودچرخان، نشان می‌دهد تحقیقات وسیعی پیرامون تاثیر نوع و هندسه ابزار و همچنین پارامترهای ماشین‌کاری، بر کیفیت محصول نهایی انجام شده است. در این تحقیقات، قطعات تراشکاری شده عمدتاً از جنس فلز یا آلیاژهای مختلف بوده و در ارتباط با تراشکاری کامپوزیت چوب پلاست با ابزار خودچرخان موردی یافت نشد. با توجه به بروز آسیب‌ها و مشکلات موجود در ماشین‌کاری قطعات کامپوزیتی و همچنین جنس و ساختار کامپوزیت چوب پلاستیک، استفاده از روش تراشکاری با ابزار خودچرخان، به دلیل عدم تماس مداوم و جابجایی لبه برنده ابزار با قطعه کار در بهبود کیفیت سطح نهایی این مواد مؤثر است. به همین دلیل در این تحقیق تاثیر پارامترهای ماشین‌کاری با ابزار خودچرخان، بر روی کیفیت سطح در فرآیند تراشکاری قطعات ساخته شده از چوب پلاست مورد مطالعه قرار گرفت.

۲- روش تجربی

مواد اولیه جهت تولید کامپوزیت چوب پلاست در این تحقیق، شامل ماده پلیمری پلی‌وینیل کلراید، از محصولات شرکت آیتک پلیمر و ذرات چوب حاصل از ضایعات تولیدی بخش سنباده‌کاری کارخانه نئوپان‌سازی اراک است. مشخصات مکانیکی پلیمر پی‌وی‌سی (PVC-S65) در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱) مشخصات مکانیکی پی‌وی‌سی [13]

خواص	مقدار	استاندارد
چگالی	۱/۴۷ g/cm ³	ASTM D792
استحکام کششی	۱۴/۶ Mpa	ASTM D412
شاخص جریان مذاب	۱ gr/10 min	ASTM D1238
سختی (شور A)	۴۰	ASTM D2240
نقطه ذوب	۲۱۳	Iso 11357-1

در پژوهش اخیر، از پلیمر پی‌وی‌سی به عنوان ماده زمینه کامپوزیت و از آرد چوب الک شده با اندازه مش ۴۰ طبق استاندارد ASTM D-1921 به عنوان تقویت‌کننده استفاده شده است. سپس

تراشکاری شده، مطابق جدول ۳ به معرفی پارامترهای ورودی و سطوح آنها پرداخته شد. انتخاب سطوح ذکر شده با مراجعه به پیشینه تحقیقات انجام شده صورت گرفته است. به این منظور، سرعت اسپیندل، عمق برش و نرخ پیشروی در سه سطح مورد مطالعه قرار گرفته است [14, 15]. عملیات تراشکاری توسط ماشین تراش KUMA مدل SL 25 روی نمونه‌ها انجام شد.

در جدول ۴ مشخصات ماشین تراش ارایه شده، همچنین جهت داشتن نمونه شاهد و امکان مقایسه نتایج، تراشکاری با ابزار ثابت نیز روی نمونه‌ها انجام شده است. هر یک از آزمایش‌ها در طول ۲/۵ سانتی‌متر از قطعه‌کار انجام شده به‌طوری که روی هر نمونه ۹ آزمایش قابل انجام است. در شکل ۵ نمایی از نحوه انجام تراشکاری با استفاده از ابزار خودچرخان نشان داده شده است.

جدول (۳) پارامترها و سطوح آزمایش

پارامترهای ورودی	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
سرعت اسپیندل (rpm)	۵۰۰	۷۱۰	۱۰۰۰
نرخ پیشروی (mm/rev)	۰/۲۲	۰/۴۴	۰/۸
عمق برش (mm)	۱	۱/۲۵	۱/۵

جدول (۴) مشخصات فنی ماشین تراش

مشخصه	مقدار
کشور سازنده	آلمان
نام دستگاه	KUMA
مدل	SL 25
ماکزیمم قطر قابل چرخش قطعه کار	۳۰۰ میلی‌متر
ماکزیمم طول قابل ماشینکاری	۱۰۰۰ میلی‌متر
قطر داخلی اسپیندل	۸۵ میلی‌متر
ماکزیمم سرعت اسپیندل	۳۵۰۰ دور بر دقیقه



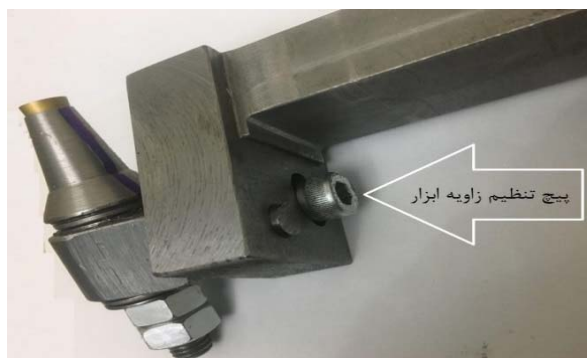
شکل (۵) نمایی از عملیات تراشکاری نمونه‌ها با استفاده از ابزار خودچرخان

همچنین با هدف افزایش دقت، هر آزمایش با سه بار تکرار انجام شده است. پس از انجام فرآیند تراشکاری روی نمونه‌ها مطابق با جدول طراحی آزمایش، جهت بررسی کیفیت سطوح تراشکاری شده، از دستگاه زبری‌سنج Mahr مدل Marsurf- Ps با رزولوشن ۰/۰۰۱ میکرومتر استفاده شده است. در شکل ۶ نمایی از دستگاه زبری‌سنج و نحوه اندازه‌گیری زبری نمونه‌ها نشان داده شده است. در ادامه نیز، جهت بررسی سلامت سطوح تراشکاری شده، از

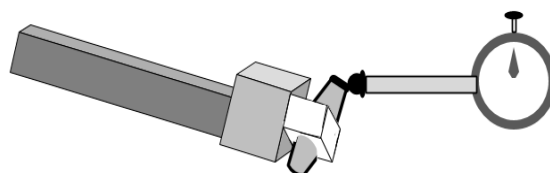


شکل (۲) قطعات چوب پلاست تولید شده

در شکل ۳، نمایی از نگهدارنده ابزار خودچرخان نمایش داده شده است. این نگهدارنده شامل بدنه اصلی، شفت نگهدارنده ابزار برشی، دو عدد رولبرینگ سوزنی با کد SVS185951، دو عدد رولبرینگ کف گرد با کد استاندارد AXK 1226 و یک عدد پیچ و پین جهت تغییر زاویه ابزار است. علاوه بر آن بر پایه مقالات مطالعه شده در این زمینه، زاویه تمایل ابزار ۳۰ درجه در نظر گرفته شده است [12]. همچنین کنترل انحراف ابزار طی فرآیند، با استفاده از دستگاه کنترل انحراف انجام شد به این ترتیب جابجایی حین دوران ابزار، در جهت عرضی ۰/۰۴ میلی‌متر و در جهت عمق برش صفر اندازه‌گیری شده است. در شکل ۴ شماتیکی از نحوه کنترل انحراف نشان داده شده است. جهت انجام فرآیند تراشکاری، از ابزار برشی (Insert) با برند RCKT با قطر ۱۰ میلی‌متر دارای پوشش تیتانیومی استفاده شده است که جنس پوشش آن از تیتانیوم، ضخامت پوشش ۱۰ میکرومتر، شعاع ۵ میلی‌متر و با ضخامت ۳/۹ میلی‌متر است.



شکل (۳) نمایی از نگهدارنده ابزار و پیچ و پین طراحی شده جهت تغییر زاویه



شکل (۴) شماتیک نحوه اندازه‌گیری انحراف ابزار خودچرخان

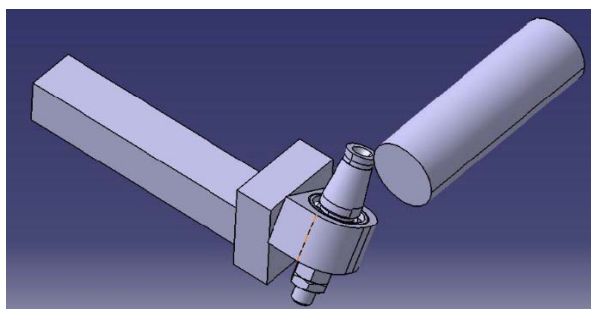
پس از تهیه نگهدارنده و ابزار، جهت انجام آزمایش‌ها و بررسی تجربی تاثیر پارامترهای ماشین‌کاری، بر کیفیت و سلامت سطح

جدول ۵) پارامترهای ورودی به شبیه‌ساز

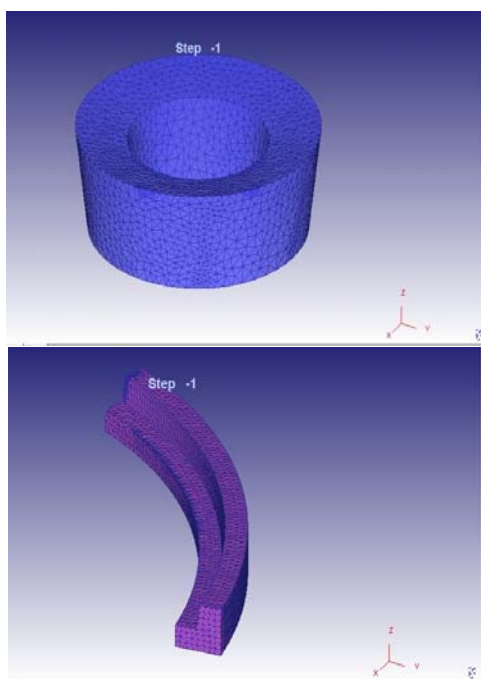
پارامتر	مقدار
دمای محیط (°C)	۲۰
ضریب انتقال حرارت بین ابزار و محیط (W/m²K)	۰/۰۲
ضریب اصطکاک	۰/۶
ضریب انتقال حرارت (W/m²K)	۴۵
دمای ابزار و قطعه کار (°C)	۲۰
دمای محیط (°C)	۲۰



شکل ۷) نمایی از دستگاه دورسنج



شکل ۸) نمایی از ابزار و قطعه کار طراحی شده



شکل ۹) نمایی از مش‌بندی ابزار و قطعه‌کار

میکروسکوپ دیجیتالی Dino light مدل AM 4113 با بزرگ‌نمایی ۲۰۰ برابر و رزولوشن ۱/۳ مگاپیکسل و میکروسکوپ الکترونی روبشی KYKY مدل EM3200 با بزرگ‌نمایی ۲۵۰۰۰۰ برابر بهره گرفته شده است.



شکل ۱۶) نمایی از نحوه اندازه‌گیری زبری نمونه‌ها با دستگاه زبری‌سنج

۳- روش عددی

شبیه‌سازی و تحلیل عددی، فرآیند تراشکاری با ابزار خودچرخان، توسط نرم‌افزار دفرم (Deform V10) نسخه ۲۰۱۹ انجام شد، در شبیه‌سازی انجام شده با نرم‌افزار دفرم، ابزار برشی به‌عنوان یک جسم صلب و قطعه‌کار نیز به‌عنوان یک جسم الاستیک-پلاستیک در نظر گرفته شده است و در پنجره شرایط فرآیند نیز، دمای محیط، مقدار اصطکاک برشی برای ابزار-قطعه‌کار، نرخ انتقال حرارت دمای محیط، ضریب انتقال حرارت و سایر پارامترها، مطابق جدول ۵ انتخاب شده است. همچنین با توجه به نیاز به استفاده از محیط فرزندکاری نرم‌افزار، سرعت دورانی ابزار توسط دورسنج نوری-لیزری مستک (Mastech) مدل MS6208B با رزولوشن ۰/۱ دور بر دقیقه و صحت ($\pm 2d \pm 0.3\%$) اندازه‌گیری شد.

در شکل ۷ نمایی از دورسنج نشان داده شده است. در ادامه نیز، اطلاعاتی از جمله سرعت دوران، مقدار پیشروی، عمق برش و شعاع ابزار در نرم‌افزار وارد شد. در شکل ۸ نمایی از ابزار و قطعه‌کار طراحی شده نشان داده شده است.

طی شبیه‌سازی انجام شده، تعداد مش ابزار ۲۵۰۰۰ و شکل مش نیز به‌دلیل پوشش بهتر لبه‌های ابزار برشی، به‌صورت تتراهدرال در نظر گرفته شده است. در ادامه نیز مش‌بندی قطعه انجام شده است، به‌طوری‌که اندازه مش قطعه، طبق بررسی انجام شده بر روی تغییرات تنش برحسب اندازه مش، ۰/۵۵ میلی‌متر انتخاب شد. در شکل ۹ نمایی از مش‌بندی ابزار برشی و قطعه‌کار نشان داده شده است. سپس، با استفاده از کتابخانه نرم‌افزار، خواص مواد تعریف شده است، به این ترتیب جنس قطعه‌کار چوب پلاست و ابزار با روکش تیتانیوم انتخاب شده است. در نهایت نیز با اجرای نرم افزار و ترسیم خروجی‌ها به‌صورت نمودار، نتایج جهت انجام تحلیل استخراج شدند. در نهایت نیز با مقایسه نتایج حاصل از تحلیل عددی و آزمایش‌های تجربی، بهترین پارامترهای ماشین‌کاری برای تراشکاری قطعات چوب پلاستیک توسط ابزار خودچرخان معرفی شده است.

سطح مقطع براده تغییر شکل نیافته، در اثر افزایش نرخ پیشروی، سبب افزایش نیروهای ماشین کاری می شود [15].

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} = \frac{(F_t \cos \phi - F_c \sin \phi) \sin \phi}{A_c} \quad (1)$$

در معادله فوق T استحکام برشی ماده، F_s نیروی برشی وارد بر صفحه برش و A_s مساحت صفحه برش و F_c و F_t مولفه های نیروی تراش و نیروی فشاری هستند. همچنین معادله ۲ نیز نشان دهنده افزایش زبری سطح به دنبال افزایش نرخ پیشروی طی فرآیند تراشکاری است. در این معادله، R_a زبری سطح، f نرخ پیشروی و r_ϵ شعاع نوک قلم است [17].

$$R_a = \frac{0.0321 f^2}{r_\epsilon} \quad (2)$$

همان طور که در نمودار ۱ مشاهده می شود، تغییرات زبری سطح برحسب سرعت اسپیندل روند متفاوتی داشته است، به نحوی که افزایش سرعت اسپیندل از ۵۰۰ به ۷۱۰ دور بر دقیقه ابتدا سبب کاهش زبری سطح شده و ادامه روند افزایش سرعت به ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، افزایش زبری سطح را به دنبال داشته است. به طوری که به ازای سرعت اسپیندل ۵۰۰ دور بر دقیقه و نرخ پیشروی ۲۲/۵۶ میلی متر بر دقیقه، زبری سطح به مقدار ۲/۵۶ میکرومتر گزارش شده است. طی افزایش سرعت اسپیندل به ۷۱۰ دور بر دقیقه زبری سطح با کاهشی در حدود ۱۷٪، به مقدار ۲/۱۲ میکرومتر به دست آمد. طبق مقالات گذشته، نحوه اثر سرعت برشی بر زبری سطح، به پارامترهایی نظیر جنس قطعه کار، نوع ابزار و شرایط ماشین کاری وابسته است، در برخی موارد افزایش سرعت اسپیندل، سبب کاهش لرزش نمونه و سهولت جدایش براده توسط لبه برنده ابزار شده و کاهش زبری سطح را به دنبال دارد [18]. با ادامه روند افزایش سرعت اسپیندل به ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، زبری سطح در حدود ۲۰٪ افزایش نشان داد. زیرا طبق تحقیقات پیشین، افزایش سرعت اسپیندل، سبب افزایش حرارت در ناحیه برش شده و سبب نرم شدن ماتریس و ایجاد حفره و افزایش زبری سطح در قطعه کار می شود [19].

همچنین بررسی روند تغییرات در نمودار ۲ و ۳ نیز حاکی از افزایش زبری سطح به دنبال افزایش نرخ پیشروی است. به طوری که طبق نمودار ۱، کمترین زبری سطح به مقدار ۲/۴۷ میکرومتر و به ازای سرعت اسپیندل ۷۱۰ دور بر دقیقه و نرخ پیشروی ۲۲/۵۶ میلی متر بر دور به دست آمد، با افزایش نرخ پیشروی به ۴۴/۰ میلی متر بر دور، زبری سطح به مقدار ۲۷٪ افزایش یافت و با ادامه افزایش نرخ پیشروی به ۸/۰ میلی متر بر دور، زبری سطح در حدود ۴۱٪ نسبت به حالت نخست افزایش نشان داد. زیرا طبق تحقیقات پیشین، با افزایش نرخ پیشروی، نرخ حذف مواد نیز افزایش یافته که کاهش پایداری و افزایش زبری را نتیجه می دهد [20].

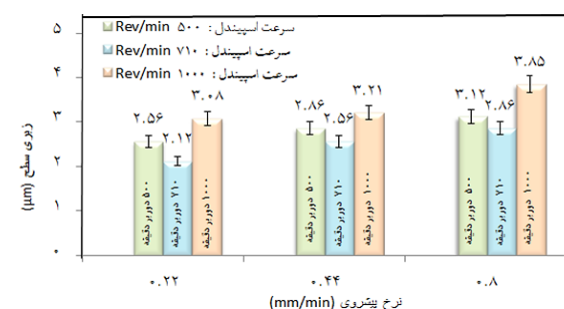
در این قسمت نتایج حاصل از تاثیر پارامترهای ماشین کاری بر کیفیت و سلامت نمونه چوب پلاست، طی ماشین کاری با ابزار خودچرخان، بررسی شد. به این ترتیب با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل تجربی و عددی و همچنین بررسی میزان تاثیر هر پارامتر روی فرآیند، بهترین مقادیر برای تراشکاری نمونه ساخته شده از کامپوزیت چوب پلاست با ابزار خودچرخان تعیین می شود.

۱-۴- تاثیر نرخ پیشروی و سرعت اسپیندل بر کیفیت سطح تراشکاری شده با ابزار خودچرخان

جهت بررسی تاثیر پارامترهای ماشین کاری بر کیفیت سطح نمونه ها، فرآیند تراشکاری با استفاده از ابزار خودچرخان و با تغییر پارامترهای ورودی تعریف شده در جدول ۳ روی نمونه ها انجام شد و زبری سطح قطعات تراشکاری شده مورد اندازه گیری قرار گرفت.

همچنین جهت افزایش دقت نتایج، هر آزمایش با سه بار تکرار انجام شد و برای مقایسه ساده تر و بحث پیرامون آنها، نتایج به صورت نمودار ارایه شده است.

در نمودار ۱ تغییرات زبری سطح بر حسب نرخ پیشروی، به ازای عمق برش ۱ میلی متر نشان داده شده است.



نمودار ۱) زبری سطح برحسب نرخ پیشروی به ازای سرعت های اسپیندل مختلف و عمق برش ۱ میلی متر

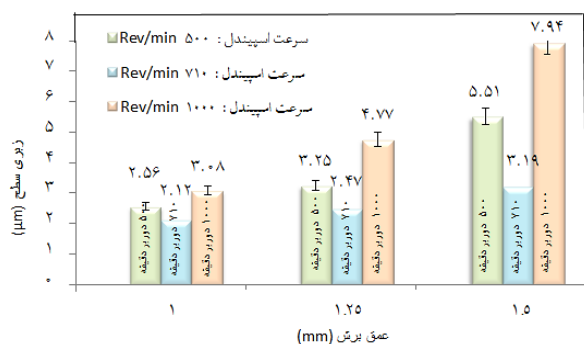
مقایسه روند تغییرات نشان دهنده افزایش زبری سطح به دنبال افزایش نرخ پیشروی است، به طوری که کمترین مقدار برای زبری سطح به ازای سرعت اسپیندل ۷۱۰ دور بر دقیقه و نرخ پیشروی ۲۲/۵۶ میلی متر بر دور، به مقدار ۲/۱۲ میکرومتر گزارش شد. افزایش نرخ پیشروی به ۴۴/۰ میلی متر بر دور، افزایش زبری سطح در حدود ۲۱٪ را در بر داشت و ادامه روند افزایش نرخ پیشروی به ۸/۰ میلی متر بر دور، افزایش زبری سطح به مقدار ۳۵٪ را به دنبال داشت. زیرا با افزایش نرخ پیشروی، انرژی مورد نیاز جهت ایجاد تغییر شکل پلاستیک در قطعه کار افزایش می یابد که افزایش نیروهای ماشین کاری را سبب می شود. طبق تحقیقات پیشین، با افزایش نیروهای ماشین کاری قطعه کار دچار لرزش و ارتعاش می شود که افزایش زبری سطح را در پی دارد [16]. طبق معادله ۱، با توجه به ثابت بودن میزان استحکام برشی ماده، افزایش میزان

کاهش نشان داد و با ادامه روند افزایش سرعت اسپیندل به ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، زبری سطح در حدود ۵۴٪ نسبت به مقدار به دست آمده به ازای نرخ پیشروی ۲۲/۰ میلی متر بر دور، افزایش یافت. نحوه تاثیر سرعت اسپیندل بر کیفیت سطح به پارامترهای مختلفی نظیر، جنس قطعه کار، شرایط ماشین کاری و نوع ابزار مرتبط است. طبق مقالات مطالعه شده، افزایش سرعت اسپیندل تا حدی می تواند با ایجاد پایداری و کاهش لرزش، بهبود کیفیت سطح را در پی داشته باشد و افزایش بیشتر سرعت می تواند با افزایش حرارت در ناحیه برش، سبب افزایش زبری سطح شود، [16، 18]

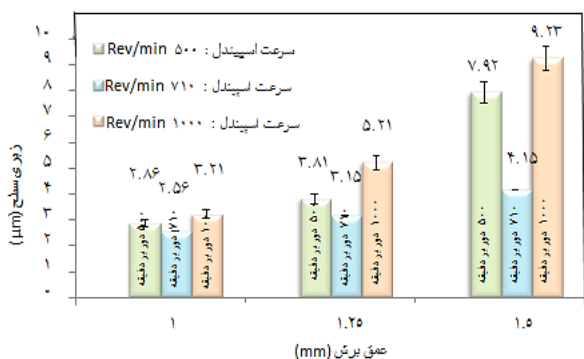
۲-۴- تاثیر عمق برش بر کیفیت سطح تراشکاری شده با ابزار خودچرخان

به منظور بررسی تاثیر عمق برش بر زبری سطح نمونه های تراشکاری شده با ابزار خودچرخان، با ثابت در نظر گرفتن نرخ پیشروی، تغییرات زبری سطح برحسب عمق برش در قالب نمودار ارائه شده است.

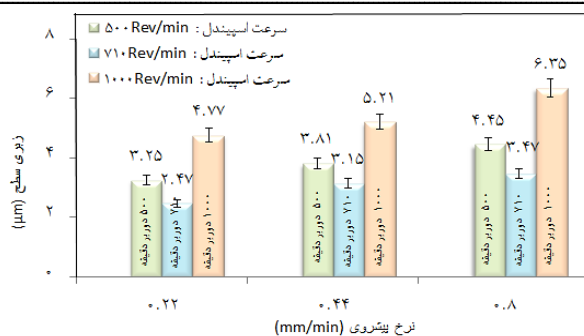
طی نمودارهای ۴ و ۵ و ۶، روند افزایش زبری سطح با عمق برش قابل مشاهده است، با توجه به آنکه دست یابی به صافی سطح بالا از موارد مطلوب برشمرده می شود، به بررسی تاثیر عمق برش بر زبری سطح، طی تراشکاری با ابزار خودچرخان به ازای سرعت اسپیندل ۷۱۰ دور بر دقیقه، نرخ پیشروی ۲۲/۰ میلی متر بر دقیقه پرداخته شد.



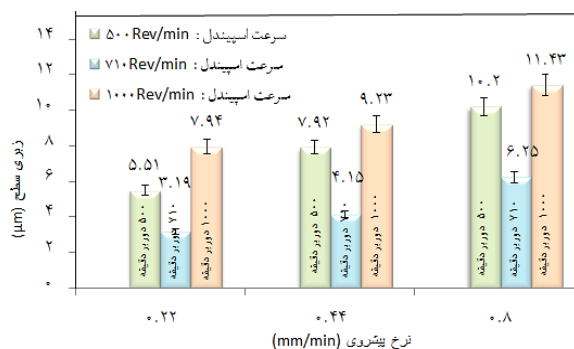
نمودار ۴) تغییرات زبری سطح برحسب عمق برش به ازای سرعت های اسپیندل مختلف و نرخ پیشروی ۲۲/۰



نمودار ۵) تغییرات زبری سطح برحسب عمق برش به ازای سرعت های اسپیندل مختلف و نرخ پیشروی ۲۲/۰



نمودار ۲) زبری سطح برحسب نرخ پیشروی به ازای سرعت های اسپیندل مختلف و عمق برش ۱/۲۵ میلی متر



نمودار ۳) زبری سطح برحسب نرخ پیشروی به ازای سرعت های اسپیندل مختلف و عمق برش ۱/۵ میلی متر

همچنین به ازای سرعت اسپیندل ۵۰۰ دور بر دقیقه و نرخ پیشروی ۲۲/۰ میلی متر بر دور، زبری سطح به مقدار ۳/۲۵ میکرومتر گزارش شده است. طی افزایش سرعت اسپیندل به ۷۱۰ دور بر دقیقه ابتدا زبری سطح به مقدار ۲۴٪ کاهش یافت. طبق مقالات مطالعه شده در این زمینه، علت کاهش زبری سطح در این حالت، کاهش لرزش قطعه کار و بهبود فرآیند براده برداری است [21]. با ادامه روند افزایش سرعت اسپیندل به ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، زبری سطح در حدود ۴۶٪ نسبت به حالت نخست افزایش نشان داد. مطابق مقالات گذشته، با افزایش سرعت اسپیندل، حرارت ناشی از اصطکاک در ناحیه برش افزایش یافته که افزایش زبری سطح را به دنبال دارد [22].

همچنین در نمودار ۳، نیز کمترین زبری سطح به مقدار ۳/۱۹ میکرومتر و به ازای سرعت اسپیندل ۷۱۰ دور بر دقیقه و نرخ پیشروی ۲۲/۰ میلی متر بر دور به دست آمد، با افزایش نرخ پیشروی به ۴۴/۰ میلی متر بر دور، ابتدا زبری سطح در حدود ۳۰٪ افزایش نشان داد و سپس با ادامه روند افزایش نرخ پیشروی به ۸/۰ میلی متر بر دور، زبری سطح در حدود ۵۱٪ افزایش نشان داد. زیرا طبق تحقیقات پیشین، با افزایش نرخ پیشروی و در پی آن افزایش نیروهای ماشین کاری، قطعه کار دچار لرزش و ارتعاش شده و کیفیت سطح کاهش می یابد [16]. همچنین به ازای سرعت اسپیندل ۵۰۰ دور بر دقیقه و نرخ پیشروی ۲۲/۰ میلی متر بر دور، زبری سطح به مقدار ۵/۵۱ میکرومتر گزارش شده است. با افزایش سرعت اسپیندل به ۷۱۰ دور بر دقیقه زبری سطح در حدود ۳۸٪

نرخ پیشروی بالاتر در آنها، مقادیر بزرگتری برای زبری سطح حاصل شده است.

مطابق با معادله ۳ و معادله ۴، افزایش عمق برش سبب افزایش مساحت مقطع براده تغییر شکل نیافته شده و به دنبال آن افزایش نیروهای ماشین کاری و زبری سطح می شود.

$$A_c = f \cdot a_p \quad (3)$$

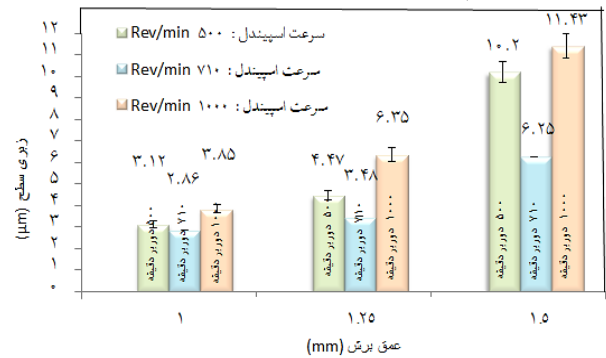
$$F_c = P_s \cdot A_c \quad (4)$$

در معادله های فوق، A_c مساحت مقطع براده تغییر شکل نیافته، a_p عمق برش و F_c نیروی تراش است [17].

همچنین مقایسه نتایج ذکر شده با زبری سطح نمونه شاهد نشان داد، استفاده از ابزار خودچرخان جهت انجام فرآیند تراشکاری، کاهش زبری سطح را در کلیه نمونه ها به همراه داشته است. در جدول ۶ قسمتی از نتایج مربوط به زبری سطح تراشکاری شده با ابزار ثابت ارایه شده است.

۳-۴- مقایسه نتایج تجربی و تحلیلی طی تراشکاری با ابزار خودچرخان

جهت مقایسه مقادیر حاصل از آزمایش های تجربی و تحلیل عددی، نتایج در قالب نمودار ۷ و ۸ و ۹ ترسیم شده است.

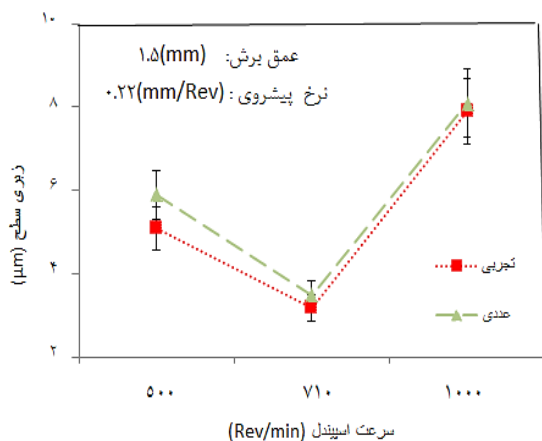


نمودار ۶) تغییرات زبری سطح بر حسب عمق برش به ازای سرعت های اسپیندل مختلف و نرخ پیشروی ۰/۸

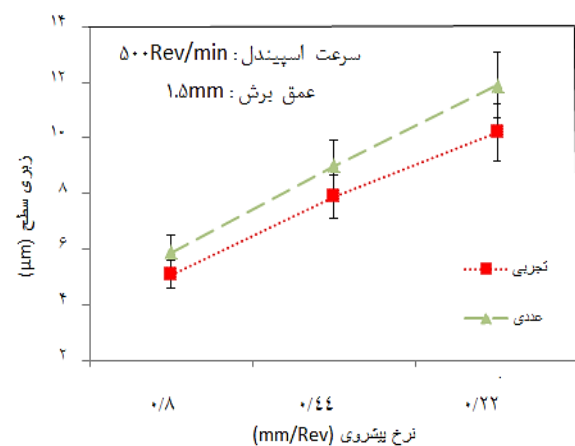
همان طور که در نمودار ۴ مشاهده می شود، مقدار زبری سطح به ازای عمق برش ۱ میلی متر و سرعت اسپیندل ۷۱۰ دور بر دقیقه، ۲/۱۲ میکرومتر گزارش شده است. با افزایش عمق برش به ۱/۲۵ میلی متر، زبری سطح در حدود ۱۶٪ افزایش نشان داد و با ادامه روند افزایش عمق برش به ۱/۵ میلی متر، زبری سطح نسبت به حالت قبل با افزایشی در حدود ۲۹٪ همراه بوده است. این روند در نمودارهای ۵ و ۶ نیز مشاهده می شود با این تفاوت که به دلیل

جدول ۶) مقایسه زبری سطح طی تراشکاری با ابزار ثابت و خودچرخان

شماره آزمایش	سرعت اسپیندل (دور بر دقیقه)	عمق برش (میلی متر)	میزان پیشروی (میلی متر بر دور)	زبری سطح ابزار ثابت (میکرومتر)	زبری سطح ابزار خودچرخان (میکرومتر)
۱	۱۰۰۰	۱	۰/۲۲	۳/۷۳	۳/۰۸
۲	۱۰۰۰	۱	۰/۴۴	۴/۱۱	۳/۲۱
۳	۱۰۰۰	۱	۰/۸	۳/۹۳	۳/۸۵
۴	۷۱۰	۱	۰/۲۲	۳/۴۱	۲/۱۲
۵	۷۱۰	۱	۰/۴۴	۴/۱۲	۲/۵۶
۶	۷۱۰	۱	۰/۸	۴/۳۸	۲/۸۶
۷	۵۰۰	۱	۰/۲۲	۴/۱۱	۲/۵۶
۸	۵۰۰	۱	۰/۴۴	۴/۵۲	۲/۸۶
۹	۵۰۰	۱	۰/۸	۵/۱۲	۳/۱۲

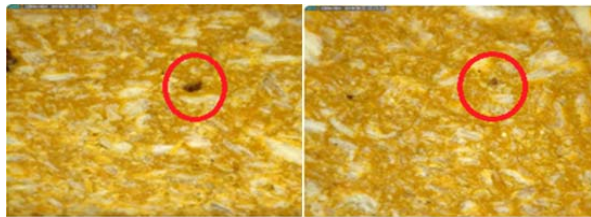


نمودار ۸) مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی (تغییرات عمق برش)



نمودار ۷) مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی (تغییرات نرخ پیشروی)

ثابت و خودچرخان، طی سرعت اسپیندل ۵۰۰ دور بر دقیقه، نرخ پیشروی ۰/۲۲ میلی متر بر دور و عمق برش ۱/۵ میلی متر نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود ابعاد حفره های ایجاد شده طی تراشکاری با ابزار خودچرخان نسبت به نمونه تراشکاری شده با ابزار ثابت کاهش یافته است. دلیل این تفاوت، کاهش آسیب های وارد به قطعه کار به دنبال کاهش آثار حرارتی طی تراشکاری با ابزار خودچرخان است. همچنین علت ایجاد حفره روی سطح نمونه ها را می توان به نرم شدگی موضعی پلیمر در اثر حرارت ایجاد شده طی فرآیند نسبت داد.



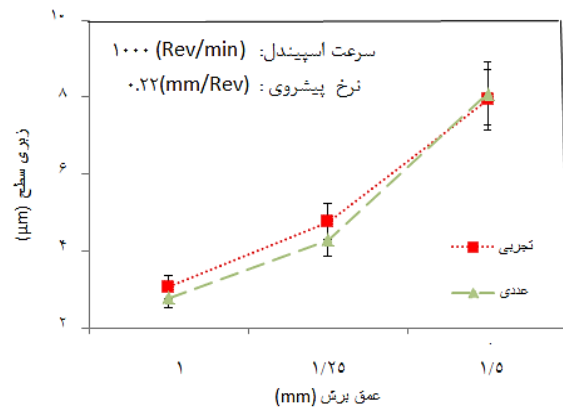
شکل ۱۰) نمایی از حفره های ایجاد شده به ازای سرعت اسپیندل ۵۰۰ دور بر دقیقه نرخ پیشروی ۰/۲۲ میلی متر بر دور و عمق برش ۱/۵ میلی متر؛ الف) طی تراشکاری با ابزار خودچرخان، ب) ابزار ثابت

همچنین به منظور بررسی آسیب هایی نظیر اثر ابزار و ایجاد میکروتورک در نمونه های تراشکاری شده و نیاز به بزرگ نمایی بالاتر، از میکروسکوپ الکترونی استفاده شد. در شکل ۱۱ نمایی از اثر ابزار روی نمونه چوب پلاستیک تراشکاری شده، نشان داده شده است. این تصویر مربوط به نمونه تراشکاری شده با ابزار خودچرخان طی سرعت اسپیندل ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و نرخ پیشروی ۰/۸ میلی متر بر دور و عمق برش ۱/۵ میلی متر است.



شکل ۱۱) نمایی از اثر ابزار روی نمونه تراشکاری شده

همان طور که در تصاویر به دست آمده از ساختار میکروسکوپی نمونه ها مشخص شده است، در شکل ۱۲- الف، ذرات چوب طی فرآیند اکستروژن، در راستای جریان پلیمر جهت گیری کرده اند و در شکل ۱۲- ب، نیز حضور میکروتورک ها در حد فاصل چوب و پلاستیک مشاهده می شود. همچنین در بعضی از قسمت ها نیز میکروتورک ها در بین ذرات چوب و در راستای محور طولی آنها شکل گرفته اند. بازه طول اندازه گیری شده برای ترک ها بین ۲۰ میکرومتر تا ۴ میلی متر بوده است که با توزیع نابرابر در اکثر قسمت های نمونه قابل مشاهده هستند.



نمودار ۹) مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی (تغییرات عمق برش)

طی نمودار ۷، روند افزایش زبری سطح با افزایش نرخ پیشروی طی دو روش تجربی و عددی نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، به ازای نرخ پیشروی ۰/۲۲ میلی متر بر دور، کمترین مقدار زبری سطح طی دو روش تجربی و عددی، به ترتیب ۵/۵ و ۵/۹ میکرومتر گزارش شده است که با خطایی در حدود ۷٪، توافقی نتایج تجربی و عددی را نشان می دهد. همچنین طی مقایسه مقادیر زبری سطح، به ازای نرخ پیشروی ۰/۴۴ و ۰/۸ میلی متر بر دور نیز، به ترتیب خطایی در حدود ۱۴ و ۱۶٪ ایجاد شده است.

در نمودار ۸، روند تغییرات زبری سطح با افزایش سرعت اسپیندل، طی هر دو روش تجربی و عددی، نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، طی هر دو روش کمترین زبری سطح به ازای سرعت اسپیندل ۷۱۰ دور بر دقیقه و عمق برش ۱/۵ میلی متر، گزارش شده است. در این حالت، مقایسه مقادیر زبری سطح به دست آمده طی روش تجربی و عددی، نشان دهنده خطایی در حدود ۷٪ است، که نشان دهنده صحت مدل عددی است.

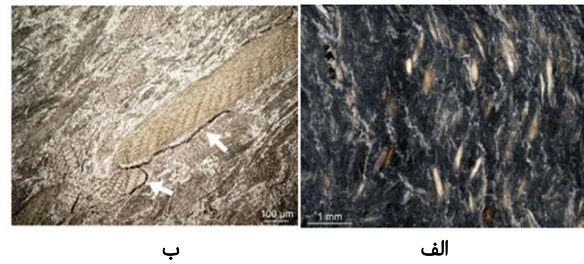
همچنین در نمودار ۹، روند افزایش زبری سطح با افزایش عمق برش، طی دو روش تجربی و عددی نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، کمترین مقدار زبری سطح به ازای عمق برش ۱ میلی متر ایجاد شده که در مقایسه با مقدار عددی، خطایی در حدود ۱۰٪ داشته است. همچنین با افزایش عمق برش به ۱/۲۵ و ۱/۵ میلی متر نیز، به ترتیب خطاهایی در حدود ۱۱ و ۳٪ ایجاد شده است.

۴-۴- تاثیر پارامترهای ماشین کاری بر سلامت سطح تراشکاری شده با ابزار خودچرخان

پس از انجام فرآیند تراشکاری با ابزار خودچرخان روی نمونه های چوب پلاستیک و اندازه گیری زبری سطح نمونه ها، به بررسی سلامت و کیفیت سطوح تراشکاری شده با استفاده از تصاویر میکروسکوپ دیجیتالی و میکروسکوپ الکترونی پرداخته شد. به این منظور ابتدا با استفاده از میکروسکوپ دیجیتالی، از سطح نمونه تراشکاری شده با ابزار ثابت و نمونه تراشکاری شده با ابزار خودچرخان تصویربرداری شد. در شکل ۱۰ تصاویر دریافتی از میکروسکوپ دیجیتالی برای نمونه های تراشکاری شده با ابزار

دو روش تجربی و عددی نیز نشان دهنده وجود توافق مطلوب، میان نتایج است.

۴- بررسی تصاویر حاصل از توپوگرافی سطوح نیز، نشان دهنده افزایش حفره و ترک‌های ایجاد شده بر سطح نمونه‌ها به دنبال افزایش نرخ پیشروی و عمق برش بوده، همچنین افزایش سرعت اسپیندل به ۱۰۰۰ دور بر دقیقه نیز افزایش تعداد حفره‌ها را در پی داشته است.



شکل ۱۲ (الف) نمایی از جهت گیری ذرات چوب، (ب) ترک‌های ایجاد شده روی نمونه‌ها طی فرآیند تراشکاری

تشکر و قدردانی: موردی توسط نویسندگان ذکر نشده است.

تأییدیه اخلاقی: نویسندگان، با اعلام موافقت خود مبنی بر ارسال این مقاله به نشریه دانشگاه تربیت مدرس، تعهد می‌نمایند که این مقاله در زمان ارسال برای این مجله در هیچ نشریه ایرانی یا غیرایرانی در حال بررسی نبوده و تا تعیین تکلیف قطعی در این نشریه برای هیچ نشریه ایرانی یا غیرایرانی دیگری ارسال نخواهد شد.

تعارض منافع: نویسندگان، با اختیار و آگاهی کامل، کلیه حقوق مادی مربوط به انتشار این مقاله (صرفاً انتشار مقاله و نه محتوای مقاله) را به نشریه دانشگاه تربیت مدرس، واگذار می‌نمایند و نشریه در انتشار این مقاله به هر صورت اختیار تام دارد و منافع مادی احتمالی متعلق به نشریه است.

سهم نویسندگان: حمیدرضا حسین پور (نویسنده اول)، نگارنده مقدمه/روش‌شناس/پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث (۳۳٪)؛ پیام سرائیان (نویسنده دوم)، روش‌شناس/پژوهشگر کمکی/تحلیلگر آماری/نگارنده بحث (۳۴٪)؛ احسان شکوری (نویسنده سوم)، روش‌شناس/پژوهشگر کمکی/تحلیلگر آماری (۳۳٪).

منابع مالی: موردی توسط نویسندگان ذکر نشده است.

۸- علایم

- R_a زبری متوسط (μm)
- v سرعت اسپیندل (rev/min)
- a_p عمق برش (mm)
- f نرخ پیشروی (mm/rev)

منابع

- 1- Sangwan K, Saxena S, Girish K. Optimization of Machining Parameters to Minimize Surface Roughness using Integrated ANN-GA Approach. Procedia CIRP. 2015;29(8):305-310.
- 2- Pritchard G. Wood filled plastics: The time has come. Plastic Engineering Europe. 2005;3:20-25.
- 3- Hosokawa A, Ueda T, Orishi R, Tanaka R, Furumoto T. Turning of difficult to machine materials with actively driven rotary tool. CIRP Annals. 2010;59(1):89-92.
- 4- Kishawy H, Wilcox J. Tool wear and chips formation during hard turning with self-propelled rotary tools. International journal of Machine Tools and Manufacture. 2003;43(4):433-439.
- 5- Li L, Kishawy H. A model for cutting forces generated during machining with self-propelled rotary tools. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2006;46(12-13):1388-1394.
- 6- Hao W, Zhu X. Prediction of cutting force for self-propelled rotary tool using artificial neural networks.

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش، پس از تولید نمونه‌های چوب پلاستیک، به منظور بررسی تاثیر پارامترهای ماشین‌کاری بر کیفیت و سلامت سطح نمونه‌های تراشکاری شده با ابزار خودچرخان، ابتدا فرآیند تراشکاری با تغییر پارامترهای سرعت اسپیندل، نرخ پیشروی و عمق برش روی نمونه‌ها انجام شد. سپس میزان اثر هر پارامتر بر کیفیت و سلامت سطوح تراشکاری شده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. همچنین به منظور انجام تحلیل عددی، شبیه‌سازی فرآیند نیز توسط نرم‌افزار دفرم انجام شده است که اهم نتایج به‌دست‌آمده به شرح ذیل است.

۱- مقایسه مقادیر زبری سطح طی فرآیند تراشکاری با ابزار خودچرخان نشان داد که نرخ پیشروی بیشترین اثر را بر کیفیت سطوح تراشکاری شده داشته است، به‌طوری که طی تراشکاری با سرعت اسپیندل ۷۱۰ دور بر دقیقه، عمق برش ۱ میلی‌متر و نرخ پیشروی ۰/۲۲ میلی‌متر بر دور، افزایش نرخ پیشروی به ۰/۴۴ و ۰/۸ میلی‌متر بر دور، به‌ترتیب افزایش زبری سطح در حدود ۲۱ و ۳۵٪ را به همراه داشته است.

۲- نتایج نشان داد، طی تراشکاری قطعات چوب پلاستیک با ابزار خودچرخان، افزایش سرعت اسپیندل از ۵۰۰ به ۷۱۰ دور بر دقیقه، ابتدا سبب کاهش زبری سطح شد و ادامه روند افزایش سرعت اسپیندل به ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، افزایش زبری سطح قطعات را به دنبال داشته است. به‌طوری که به‌ازای عمق برش ۱ میلی‌متر و نرخ پیشروی ۰/۲۲ میلی‌متر بر دور، با افزایش سرعت اسپیندل از ۵۰۰ به ۷۱۰ دور بر دقیقه، ابتدا زبری سطح در حدود ۱۷٪ کاهش نشان داد و با ادامه روند افزایش سرعت اسپیندل به ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، زبری سطح نمونه در حدود ۲۰٪ افزایش یافته است.

۳- بررسی نتایج نشان داد، افزایش عمق برش سبب افزایش زبری سطح در نمونه‌ها شده است، به‌طوری که به‌ازای سرعت اسپیندل ۷۱۰ دور بر دقیقه و نرخ پیشروی ۰/۲۲ میلی‌متر بر دور، افزایش عمق برش از ۱ میلی‌متر به ۱/۲۵ و ۱/۵ میلی‌متر، به‌ترتیب در حدود ۱۶ و ۲۹٪، افزایش در زبری سطوح را سبب شده است. مقایسه مقادیر به‌دست‌آمده برای زبری سطح نشان داد که بعد از نرخ پیشروی، سرعت اسپیندل بیشترین تاثیر را بر کیفیت و سلامت سطوح تراشکاری شده داشته است. علاوه بر آن، مقایسه مقادیر زبری، طی

- 15- Akhyar G, Purnomo B, Hamni A, Harun S, Burhanuddin Y. The machined surface of magnesium AZ31 after rotary turning at air cooling condition. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Bristol: IOP Publishing Ltd; 2018.
- 16- Suresh R, Basavarajappa S, Gaitonde VN, Samuel GL. Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2012;33:75-86.
- 17- Boothroyd G, Knight A. Fundamentals of machining and machine tools. 3rd Edition. Boca Raton, Florida; CRC Press. 2005.
- 18- Hutyrová Z, Harnicarova M, Zajac J, Valícek J. experimental study of surface roughness of wood plastic composites after turning. Advanced Materials Research. 2014;856:108-112.
- 19- Harnicarova M, Mitalova Z, Kusnerova M, Valícek J. Analysis of physical-mechanical and surface properties of wood plastic composite Materials to determine the energy balance. Defect and Diffusion Forum. 2017;370:78-89.
- 20- Zhu Z, Buck D, Guo X. Machinability investigation in turning of high density fiberboard. PlosOne. 2018;43:1-13.
- 21- Kini M, Chincholkar A. Effect Of Machining Parameters On Surface Roughness And Material Removal Rate In Finish Turning Of Glass Fibre Reinforced Polymer Pipes. Materials and Design. 2010;31(7):3590-3598.
- 22- Rao T, Krishna A, Kumar Katta R, Krishna KR. Modeling and multi-response optimization of machining performance while turning hardened steel with self-propelled rotary tool. Advance Manufacturing. 2015;3(1):84-95.
- Journal of Materials Processing Technology. 2006;180(1-3):23-29.
- 7- Ezugwu E. Improvements in the machining of aero-engine alloys using self-propelled rotary tooling technique. Journal of Materials Processing Technology. 2007;185(1-3):60-71.
- 8- Wang Z, Ezugwu E. Evaluation of a Self-Propelled Rotary Tool in the Machining of Aerospace Materials. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2008;25:1025-1031.
- 9- Davim J. Surface integrity in machining. Berlin: Springer; 2019. pp. 1-365.
- 10- Kishawy H, Pang L, Balazinski M. Modeling of tool wear during hard turning with self-propelled rotary tools. International Journal of Mechanical Sciences. 2011;53(11):1015-1021.
- 11- Kossakowska J, Jemielniak K. Application of Self Propelled Rotary Tools for turning of difficult-to-machine Materials. Journal of Materials Processing Technology. 2012;1:425-430.
- 12- Laghari R, Li J, Xie Z, Wang S. Modeling and optimization of tool wear and surface roughness in turning of using response surface methodology. 3DR Express. 2018;46(9):1-13.
- 13- itechpolymer.com [Internet]. Tehran: iTech Polymer; 2019 [Unknown Cited]. Available from: www.itechpolymer.com
- 14- Zajak J, Botko F, Radchenco S. Evaluation of roughness parameters of machined surface of selected wood plastic composite. In: Smart technology trends in industrial and business management. Cagáňová D, Balog M, Knapčíková L, Soviar J, Mezarciöz S, editors. Berlin: Springer; 2019. pp. 345-352.