



Experimental and Artificial Neural Network Modeling of the Effects of the Input Parameters on Tool Wear and Surface Roughness in Vibration Assisted Turning of Ti₆Al₄V



ARTICLE INFO

Authors

Mofazeli M.¹,
Nosouhi R.^{2*}

¹Department of Mechanical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

² Modern Manufacturing Technologies Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

* Correspondence

Address: Modern Manufacturing Technologies Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
rezanosuhi@pmc.iaun.ac.ir

How to cite this article

Mofazeli M, Nosouhi R. Experimental and Artificial Neural Network Modeling of Effects of the Input Parameters on Tool Wear and Surface Roughness in Vibration Assisted Turning of Ti₆Al₄V. Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022;22(10):187-193.

ABSTRACT

In ultrasonic vibration-assisted turning, an ultrasonic vibration is added to the tool, which leads to the periodical disengagement of the tool and the work-piece. In this research, an experimental study of ultrasonic vibration-assisted turning and conventional turning on Ti₆Al₄V Titanium alloy is conducted. First, by analyzing different parameters, four parameters are selected as the main affecting input parameters (cutting speed, feed rate, depth of cut, and ultrasonic vibration), and the effects of these four parameters are studied on two output parameters, namely tool wear and surface roughness. After the experimental tests, a statistical analysis is performed on the results and a neural network model is developed to predict the tool wear and surface roughness. The results show that the developed neural network model has a good agreement with the experimental results. In all experiments using ultrasonic vibrations, the tool wear and surface roughness were lower in comparison with the conventional turning. The cause of the tool wear and surface roughness reduction in ultrasonic mode are reducing the average forces applied to the tool, the alternative disengagement between the tool and the workpiece and increased dynamic stability of the process.

Keywords Vibrating Assisted Turning, Tool Wear, Surface Roughness, Ti-6Al-4V Titanium Alloy, Artificial Neural Network, Regression Model

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژهنامه مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته. مهر ۱۴۰۱، دوره ۲۲، شماره ۱۰، صفحه ۱۸۷-۱۹۳.



مطالعه تجربی و مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی تاثیر پارامترهای ورودی بر روی سایش ابزار و زبری سطح در تراشکاری به کمک ارتعاشات التراسونیک آلیاژ تیتانیوم Ti₆Al₄V



چکیده

در فرآیندهای ماشینکاری به کمک التراسونیک، ارتعاشی با دامنه تقریبی ۴ تا ۲۰ میکرون و فرکانس تقریبی ۲۰ kHz به ابزار یا قطعه-کار اضافه می‌شود که سبب جدایش متناوب آنها از یکدیگر شده و موجب بهبود فیزیک فرآیند می‌گردد. در این تحقیق به بررسی تجربی تراشکاری و تراشکاری التراسونیک بر روی آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V پرداخته شد. در ابتدا با بررسی پارامترهای مختلف، ۴ پارامتر به عنوان پارامترهای ورودی انتخاب شدند (سرعت برش، پیشروی، عمق برش و شرایط تراشکاری التراسونیک) و اثر این چهار پارامتر با انجام آزمایش‌های تجربی بر دو پارامتر خروجی یعنی سایش ابزار و زبری سطح مشخص گردید. پس از انجام آزمایش‌های تجربی، بر روی نتایج به دست آمده تحلیل آماری انجام گرفت و مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی سایش ابزار و زبری سطح پیشنهاد شد. بررسی میزان خطای مدل شبکه عصبی نشان داد که نتایج پیش‌بینی شده توسط شبکه‌های عصبی درصد خطای کمی دارند. در تمامی آزمایش‌های انجام شده با استفاده از ارتعاشات التراسونیک، میزان سایش ابزار و زبری سطح نسبت به تراشکاری معمولی کاهش یافته است. علت کاهش سایش ابزار و زبری سطح در حالت التراسونیک، کاهش میانگین نیروهای وارد به ابزار و جدایش متناوب ابزار-قطعه کار و افزایش پایداری دینامیکی فرآیند است.

مشخصات مقاله

نویسنده‌ها

مجید مفضلی^۱
رضا نصوحی^{۲*}

^۱ دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، نجف آباد

^۲ مرکز تحقیقات فناوری‌های نوین در ساخت و تولید، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، نجف آباد

* نویسنده مسئول

آدرس: مرکز تحقیقات فناوری‌های نوین در ساخت و تولید، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، نجف آباد
rezanosuhi@pmc.iaun.ac.ir

کلیدواژه‌ها تراشکاری به کمک ارتعاشات، سایش ابزار، زبری سطح، آلیاژ تیتانیوم Ti₆Al₄V، شبکه عصبی مصنوعی

۱- مقدمه

ماشینکاری معمول سوپرآلیاژهایی همچون آلیاژهای نیکل و تیتانیوم به علت سختی بسیار بالا، با نیروهای بسیار بالای براده برداری همراه است که موجب مشکلات متعددی می‌گردد. در سال‌های اخیر روش‌های جدید ماشینکاری برای ماشینکاری مواد سخت مانند سوپر آلیاژهای نیکل و تیتانیوم و انواع کاربیدها ابداع گردیده است. یکی از این روش‌های جدید استفاده از ارتعاشات التراسونیک در فرآیندهای ماشینکاری معمول نظیر تراشکاری، فرزکاری، سوراخکاری و سنگ‌زنی است [1]. در فرآیندهای ماشینکاری به کمک التراسونیک، ارتعاش با دامنه تقریبی ۴ تا ۲۰ میکرون و فرکانس تقریبی ۲۰ kHz به حرکت اصلی ابزار یا قطعه‌کار اضافه می‌شود که سبب جدایش متناوب آنها از یکدیگر شده و موجب بهبود فیزیک فرآیند می‌گردد [2].

یکی از مهم‌ترین مزایای اعمال ارتعاش التراسونیک به فرآیندهای ماشینکاری، کاهش نیروی برشی در آنها است، که به صورت تجربی مشاهده شده است. سایر مزایای ماشینکاری ارتعاشی عبارتند از: بهبود قابل توجه در سایش ابزار، صافی سطح، پایداری برش، اندازه پلیسه و نوع براده‌های تشکیل شده. علاوه بر این، ماشینکاری برخی موادی که براده‌برداری آنها با روش‌های معمولی ماشینکاری به سختی انجام می‌شود، با روش‌های ماشینکاری به کمک ارتعاش قابل انجام است [3-4]. آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V با داشتن ویژگی‌های منحصر به فردی همچون ضریب چقرمگی و استحکام به وزن بسیار بالا، مقاومت به خوردگی و خزش مناسب و قابلیت حفظ استحکام در دماهای بالا، کاربرد گسترده‌ای در صنایع هوافضا، اتومبیل سازی و صنایع نظامی دارد. آلیاژهای تیتانیوم کاربرد وسیعی در صنایع هوا فضا جهت ساخت سازه‌ها، لوله‌های هیدرولیک، کمپرسورها و موتورهای با توربین گازی دارند. این آلیاژها همچنین در ساخت خودروها، صنایع دریایی، صنایع شیمیایی و صنعت نفت و نیز تجهیزات پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند [5-6].

به دلیل سختی بالا، قابلیت ماشینکاری این آلیاژ با روش‌های سنتی از جنبه‌های مختلف دشوار بوده و با مشکلات بی‌شمار همراه است. در روش‌های سنتی ماشینکاری، به علت درگیری فیزیکی ابزار، عمر ابزار کوتاه بوده و هزینه و مشکلات زیادی را به دنبال دارد [7]. سایش ابزار و عمر کوتاه ابزار به ویژه در ماشینکاری آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V به دلیل سختی بسیار بالای آن از شدت و اهمیت بالاتری برخوردار است. حرارت بالای ایجاد شده در حین ماشینکاری تیتانیوم که در مجاورت لبه اصلی برشی ابزار اتفاق می‌افتد، مهم‌ترین عامل سایش ابزار می‌باشد. گاهی اوقات به دلیل ایجاد حرارت و تنش بالا یک تغییر شکل دایمی در لبه ابزار برش و یا تسریع در سایش ابزار صورت می‌گیرد. بنابراین استفاده از روش تراشکاری به کمک ارتعاشات التراسونیک برای

ماشینکاری قطعات از جنس آلیاژ تیتانیوم به ویژه در افزایش عمر ابزار بسیار نوید بخش است که زوایای مختلف آن تا کنون به خوبی مورد بررسی قرار نگرفته است.

در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای جهت بررسی تاثیر ارتعاشات التراسونیک در فرآیندهای ماشینکاری انجام شده است. در یکی از اولین کاربردها نات و همکاران در سال ۲۰۰۳ در زمینه تراشکاری به کمک ارتعاشات التراسونیک بر روی فولاد کم کربن تحقیقات تجربی انجام دادند [8]. مطابق با نتایج، نیروی برش و زبری سطح در روش تراشکاری به کمک ارتعاش التراسونیک کمتر بوده است. با اعمال ارتعاش شکل براده نیز ملایم‌تر از روش تراشکاری معمولی بوده و براده راحت‌تر جدا شده است. باییتسکی و همکاران در سال ۲۰۰۴ به کمک آنالیز المان محدود نشان دادند که حداکثر تنش در فرآیندهای تراشکاری معمولی و تراشکاری التراسونیک برابر است ولی میانگین نیروهای برشی در تراشکاری التراسونیک به مراتب پایین‌تر است [9]. نیوگر و استول در سال ۲۰۰۴ نشان دادند که در سوراخکاری آلیاژهای آلومینیوم به کمک التراسونیک، کاهش نیروی برشی و گشتاور پیچشی تا حداکثر ۵۰٪ امکان پذیر است [10]. توکلی و آذرهوشنگ در سال ۲۰۰۸ نیز نتایج مشابهی برای کاهش نیروهای مماسی در فرآیند سنگ‌زنی خشک به کمک ارتعاش التراسونیک به دست آوردند [11]. چرن و چانگ در سال ۲۰۰۶ اثرات اعمال ارتعاش التراسونیک دو بعدی بر کیفیت میکروفزکاری آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۱ را به صورت تجربی بررسی نمودند [12]. آنها مشاهده کردند که دقت عرض و صافی سطح شیارها بهبود یافته و به دلیل شرایط بهتر ماشینکاری و همچنین کاهش نیروهای برشی، عمر ابزار افزایش پیدا کرده است. سو و دیگران در سال ۲۰۰۷ ویژگی‌های فرزکاری سوپر آلیاژ پایه نیکل ۲۴۷ با ترکیب ارتعاش التراسونیک و برش داغ را مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که تغییر فرکانس ارتعاش تأثیر اندکی بر نیروی برشی دارد [13]. پوجانا و دیگر همکاران در سال ۲۰۰۹ با اعمال ارتعاشات التراسونیک در فرآیند سوراخکاری روی آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V تاثیر پارامترهای ورودی فرآیند را بر روی نیروهای ماشینکاری، نحوه تشکیل براده (با استفاده از دوربین‌های مخصوص سرعت بالا) و حرارت نوک مته (با دوربین‌های مادون قرمز) را بررسی کردند [14]. نتایج تحقیقات آنها نشان داد استفاده از ارتعاشات التراسونیک موجب کاهش نیرو و افزایش حرارت در نوک مته می‌گردد. کوبین و دیگر همکاران در سال ۲۰۰۹ نیز تحقیقات مشابهی بر روی سنگ‌زنی به کمک ارتعاشات التراسونیک بروی آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V انجام دادند و یک مدل برای پیش‌بینی نیروی برش در این فرآیند پیشنهاد دادند [15]. نتایج مدل از انطباق خوبی با نتایج تجربی برخوردار بوده است. آنها همچنین پیشنهاد دادند تا از مدل به دست آمده برای پیش‌بینی دیگر پارامترهای خروجی فرآیند استفاده گردد.

ارتعاش (۲۰ KHZ) و دامنه ارتعاش $9 \mu\text{m}$ انجام گرفت. تمامی آزمایش‌ها با استفاده از روانکار معمولی و به صورت پاشش بر روی سر ابزار انجام شد. ابزار استفاده در این تحقیق ابزار اینسرتی مدل ARNO- VCGT 160404 ak10 است.

جدول ۱) سطوح مختلف در نظر گرفته شده برای هر پارامتر

پارامتر	سطح		
	۱	۲	۳
سرعت برش (V)	20	40	60 mm/min
سرعت پیشروی (F)	0.06	0.13	0.21 mm/rev
عمق برش (D)	0.5	0.75	1 mm
شرایط ماشینکاری	با ارتعاشات التراسونیک	بدون ارتعاشات التراسونیک	

آزمایش‌ها بر روی قطعات گرد با طول 60 mm و قطر 40 mm که از جنس آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V تهیه شده‌اند، انجام شد. قطعات از یک میله با قطر 45 mm از جنس تیتانیوم Ti-6Al-4V تهیه و تا رسیدن به قطر 40 mm ماشینکاری شده‌اند. در دو انتهای هر نمونه مته مرغک زده شده و آزمایش‌ها در حالت دو مرغک انجام شده است. شکل ۱ نمونه‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.

آزمایش‌های تراشکاری بر روی یک دستگاه تراش (مدل TN 50 ماشین سازی تبریز) جهت انجام آزمایش‌های UAT و تراشکاری معمولی انجام گرفت. ابزار ارتعاشی با طراحی مود ارتعاش طولی طراحی و ساخته شده است. با طراحی ابزار ارتعاشی توسط نرم افزار ANSYS و تحلیل مودال و بدست آوردن بهترین شرایط مود طولی در فرکانس مورد نظر ابعاد و هندسه ابزار ارتعاشی بدست آمده است.



شکل ۱) نمونه‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها



شکل ۲) ابزار ارتعاشی به همراه کله‌گی التراسونیک نصب شده بر روی دستگاه تراش

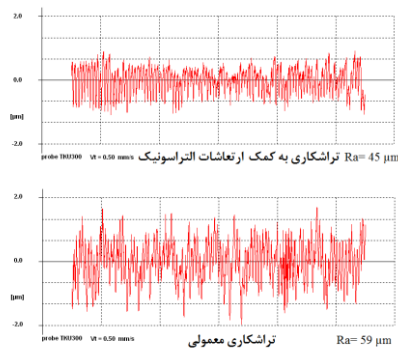
با وجود تحقیقات گسترده در زمینه تراشکاری با کمک ارتعاشات التراسونیک، تحقیقات بر روی آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V به ویژه بر روی مکانیزم و عوامل موثر در سایش ابزار به ندرت انجام گرفته است و زوایای متعدد آن تا کنون به خوبی درک نشده است که در این مقاله با انجام آزمایش‌های مختلف تجربی به آن پرداخته خواهد شد.

همچنین استفاده از سیستم‌های هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی و قابلیت‌های آن برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی این فرآیندهای ماشینکاری به ویژه فرآیندهای ترکیبی با ارتعاشات التراسونیک کمتر مورد توجه قرار گرفته است که در این تحقیق به طور گسترده به آن پرداخته خواهد شد و از آن برای مدل‌سازی فرآیند استفاده خواهد شد.

هدف از این تحقیق بررسی پارامترهای موثر در سایش ابزار کاربیدی در فرآیند تراشکاری با کمک ارتعاشات التراسونیک آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V است. تاثیر پارامترهای ورودی فرآیند شامل: پارامترهای تراشکاری (سرعت برش، پیشروی و عمق ابزار) در حالت تراشکاری معمولی و تراشکاری با کمک ارتعاشات التراسونیک بر روی پارامترهای سایش ابزار و کیفیت سطح بررسی خواهند شد. در نهایت از یک مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی سایش ابزار و کیفیت سطح استفاده خواهد شد.

۲-تجهیزات و آزمایش‌های تجربی

به منظور بررسی تاثیر پارامترهای ورودی بر روی پارامترهای خروجی، یک مجموعه آزمایش‌های تجربی بر روی یک ماشین تراش (مدل TN50- ماشین سازی تبریز) به همراه تجهیزات التراسونیک بر روی آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V انجام شد. اثر پارامترهای مختلف شامل: سرعت برش، سرعت پیشروی و عمق برش بر پارامترهای خروجی شامل سایش ابزار و زبری سطح مورد بررسی قرار گرفته است. سرعت برش، سرعت پیشروی و عمق برش از مهمترین پارامترهای ورودی در تراشکاری هستند که تغییر آنها تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر خروجی‌های فرآیند دارد. بنابراین در آزمایش‌ها این سه پارامتر به عنوان پارامترهای ورودی در نظر گرفته شده‌اند. در حالت تراشکاری التراسونیک مطابق با تجربیات و نتایج به دست آمده در قبل تنها از یک فرکانس (۲۰ kHz) و دامنه ارتعاش $9 \mu\text{m}$ استفاده شده است. از آنجایی که هدف نهایی تحقیق ایجاد یک مدل شبکه عصبی می‌باشد و مبنای همگرا شدن این نوع مدل‌ها استفاده از داده‌های زیاد می‌باشد، از روش طراحی آزمایش کامل، جهت طراحی آزمایش استفاده شده است. جدول ۱ سطوح مختلف در نظر گرفته شده برای هر پارامتر را در آزمایش‌ها نشان می‌دهد. به این ترتیب تعداد ۵۴ آزمایش با شرایط گفته شده بر روی یک ماشین تراش انجام شد که ۲۷ آزمایش در حالت تراشکاری معمولی و ۲۷ آزمایش دیگر در حالت تراشکاری با کمک ارتعاشات التراسونیک با فرکانس



شکل ۴ نمودار زبری سطح در تراشکاری معمولی و فرآیند UAT در شرایط برش سرعت برش ۶۰ mm.min، پیشروی ۰۶/۰ mm.rev و عمق برش ۷۵/۰ mm

به منظور ایجاد مدل شبکه عصبی در نرم افزار Matlab از جعبه ابزار Nftool استفاده شده است. در آغاز داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های تجربی به صورت دو فایل اکسل داده‌های ورودی و خروجی به نرم افزار وارد شده است. از ۵۴ آزمایش انجام شده ۴۸ آزمایش برای آموزش شبکه عصبی و از ۶ آزمایش دیگر جهت بررسی صحت نتایج استفاده شده است. از ۴۸ آزمایش وارد شده به نرم افزار، ۷۰ درصد به فرآیند آموزش، ۱۵ درصد به مرحله اعتبار سنجی و ۱۵ درصد به انجام تست شبکه عصبی اختصاص یافته است. اختصاص داده‌ها به بخش‌های مختلف به صورت تصادفی و توسط نرم‌افزار انجام گرفته است.

در فرآیند مدل‌سازی شبکه عصبی، عملکرد شبکه‌های دو و سه لایه مورد بررسی قرار گرفته است. تعداد اجزای بردار ورودی شامل ۴ نورون (سرعت برش، پیشروی، عمق برش و شرایط تراشکاری) و بردار خروجی شامل ۲ نورون (سایش ابزار و زبری سطح) می‌باشد. با توجه به مزیت‌های الگوریتم پس انتشار خطا، از این الگوریتم به منظور مدل‌سازی استفاده گردید. همچنین از الگوریتم لونیبرگ مارکودرانت با تابع کارایی کاهش مربعات خطا، جهت آموزش شبکه استفاده شده است. در لایه پنهان از تابع محرک تانژانت هایپربولیک سیگموئید و در لایه خروجی از تابع محرک نوع تابع انتقال پیور لاین استفاده شده است. در جدول ۲ مشخصات شبکه عصبی مدل شده نشان داده شده است.

جدول ۲ مشخصات شبکه عصبی مدل شده

مشخصه	تنظیمات شبکه
نوع شبکه	(پرسپترون) پیشرو با الگوریتم پس انتشار خطا
الگوریتم آموزش	لونیبرگ مارکودرانت با تابع کاهش مربعات خطا
تابع محرک لایه پنهان	تانژانت هایپربولیک سیگموئید
تابع محرک لایه خروجی	پیور لاین
تعداد لایه‌ها	۳ و ۴ لایه

به منظور انتخاب تعداد نورون‌ها در شبکه عصبی از روش سعی و خطا استفاده شده است. به منظور دستیابی به مدل مناسب شبکه، شبکه در چندین حالت مختلف با تعداد نورون مختلف در

شکل ۲ ابزار ارتعاشی به همراه کله‌گی التراسونیک نصب شده بر روی دستگاه تراش را نشان می‌دهد. این ابزار دارای فرکانسی ارتعاشی 20 kHz و دامنه ۰-۲۰ μm است که در آزمایش‌ها از دامنه ۹ μm استفاده شده است. سیستم کنترل شامل یک ژنراتور می‌باشد. با کنترل ژنراتور یک مود ارتعاشی طولی در کله‌گی التراسونیک تحت کنترل قرار می‌گیرد و شکل ارتعاش مورد نظر به صورت خطی حاصل می‌گردد.

۳-۴ اندازه‌گیری زبری سطح قطعات

جهت اندازه‌گیری زبری سطح قطعات بعد از ماشینکاری از یک دستگاه زبری سنج ثابت (ساخت شرکت hommel مدل T550) استفاده گردید. دقت اندازه‌گیری زبری سنج مورد استفاده 0.01 mm می‌باشد. جهت مشخص کردن زبری سطح قطعات از پارامتر Ra استفاده شده است و به ترتیب ۳۵ و 30 mm در نظر گرفته شده‌اند. (le و lm) به ترتیب طول حرکتی پراب بر روی قطعه کار و طول زبری سنجی موثر می‌باشند). در واقع به علت شتاب پروب در ابتدا و انتهای مسیر این قسمت‌ها جهت افزایش دقت اندازه‌گیری زبری حذف می‌گردند. جهت اطمینان به نتایج خوانده شده، زبری هر قطعه سه بار اندازه‌گیری شده و میانگین آن محاسبه شده است. در شکل ۳ فرآیند اندازه‌گیری زبری قطعات نشان داده شده است.

جهت اندازه‌گیری سایش ابزار از یک میکروسکپ نوری متالورژی مدل IMM-420 برند صایران استفاده شد. این دستگاه به منظور مشاهده نمونه‌های با بزرگنمایی ۴۰ تا ۱۶۰۰ برابر بکار می‌رود. همچنین این دستگاه قابلیت اتصال به کامپیوتر را دارد که این امکان را فراهم می‌آورد از سطوح مورد نظر عکس برداری نمود و همچنین اندازه‌ها را در آن مشخص نمود.

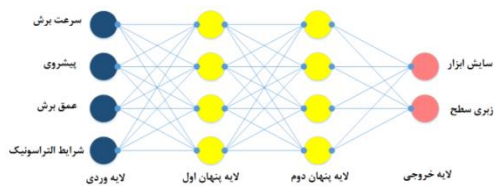


شکل ۳ فرآیند اندازه‌گیری زبری قطعات

۳- نتایج و بحث

کلیه آزمایش‌های تجربی با توجه به شرایط ذکر شده در جدول ۱ انجام گرفت. پس از انجام هر آزمایش بر روی کلیه نمونه‌ها مطابق با شرایط تشریح شده قبل، زبری سطح و سایش ابزار در سطح آزاد (Vb) اندازه‌گیری شد.

شبکه، فرآیند آموزش شبکه شروع شده است. در شکل ۶ ورودی-ها و خروجی های شبکه نشان داده شده است.



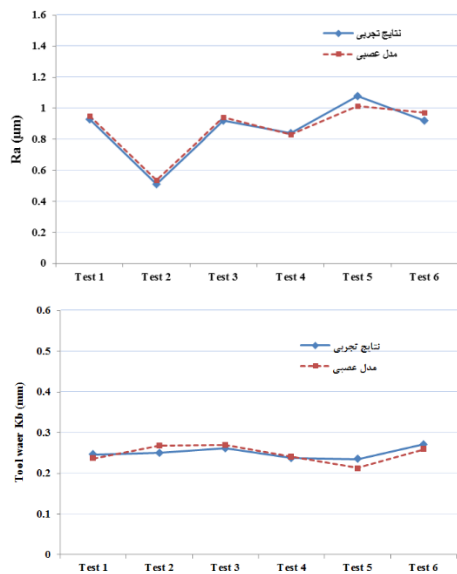
شکل ۶) ورودی ها و خروجی های شبکه عصبی

در جدول ۴ نتایج پیش بینی شده از مدل شبکه عصبی و نتایج تجربی در حالت های مختلف نشان داده شده است. نتایج به دست آمده از مدل شبکه عصبی نسبت به نتایج تجربی دارای خطای بسیار کمی هستند و شبکه به خوبی قادر بوده است میزان زبری سطح و سایش ابزار را پیش بینی نماید. میزان خطای میانگین شبکه در موارد بررسی شده ۴/۳۴ درصد بوده است.

جدول ۴) مقایسه نتایج تجربی و پیش بینی شده توسط شبکه عصبی و مقایسه میزان خطا

No	Ra (EXP*)	Vb (EXP)	Ra (ANN*)	Vb (ANN)	%Ra ERROR	% Vb ERROR
1	0.93	0.246	0.9522	0.2365	2.38	3.86
2	0.51	0.251	..5365	0.2680	5.19	6.77
3	0.92	0.261	0.9420	0.2697	2.39	3.33
4	0.84	0.237	0.8297	0.2407	1.22	1.55
5	1.08	0.235	1.0148	0.2133	6.03	9.23
6	0.92	0.271	0.9736	0.2591	5.82	4.39
میانگین درصد خطا					3.83	4.85
میانگین کلی خطای مدل شبکه عصبی					4.34	

در شکل ۷ به ترتیب نمودار مقایسه نتایج تجربی و پیش بینی شده توسط شبکه عصبی برای زبری سطح و سایش ابزار نشان داده شده است.

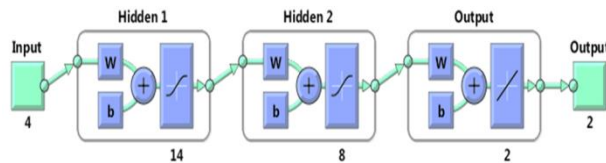


شکل ۷) نمودار مقایسه نتایج تجربی و پیش بینی شده توسط شبکه عصبی برای زبری سطح و سایش ابزار

دو حالت سه و چهار لایه (با احتساب لایه خروجی) مورد بررسی قرار گرفت و درصد خطای شبکه عصبی در همه حالت ها محاسبه گردید. در جدول ۳ حالت های مورد بررسی قرار گرفته و میزان کمترین و بیشترین و میانگین درصد خطا در آنها نمایش داده شده است. همچنین در شکل ۵ ساختار شبکه نهایی نشان داده شده است.

جدول ۳) خطای شبکه با تعداد نوروں های مختلف

شماره	ترتیب لایه ها	درصد میانگین خطا (خطای نسبی)
۱	4-9-2	6.56
۲	4-10-2	7.37
۳	4-11-2	8.64
۴	4-12-2	8.43
۵	4-13-2	9.30
۶	4-14-2	11.60
۷	4-9-4-2	7.35
۸	4-10-5-2	6.23
۹	4-11-5-2	6.54
۱۰	4-12-6-2	7.24
۱۱	4-13-7-2	5.94
۱۲	4-14-8-2	4.11
13	4-15-9-2	7.26
14	4-16-10-2	8.50



شکل ۵) ساختار شبکه نهایی با ۱۴ نوروں در لایه پنهان اول و ۸ نوروں در لایه پنهان دوم تحلیل نتایج به دست آمده از محاسبه میزان درصد خطا بیانگر این است که میزان لایه ها و نوروں ها، تاثیر مستقیم و قابل توجهی بر عملکرد و میزان خطای شبکه عصبی دارد. مطابق با نتایج، کمترین میزان خطا در مدلی به دست آمده است که از یک شبکه چهار لایه با ۱۴ نوروں در لایه اول و ۸ نوروں در لایه دوم تشکیل شده است. در این حالت میانگین خطای شبکه ۱۱/۴ درصد بوده است.

در حالت کلی می توان گفت شبکه چهار لایه عملکرد بهتری نسبت به شبکه سه لایه داشته است. در هر دو حالت با افزایش تعداد نوروں ها از یک مقدار مشخص خطا افزایش یافته است که می تواند به علت پیچیده شدن ساختار شبکه و سخت شدن تنظیم ضرایب باشد. این امر نشان دهنده این است که تعداد نوروں بر عملکرد و میزان خطا شبکه عصبی تاثیر مستقیم و قابل توجه دارد.

با توجه به نتایج به دست آمده حالت نهم در جدول ۳ به عنوان مناسب ترین حالت شبکه با حداقل خطا انتخاب گردید و شبکه عصبی ۴ لایه با تعداد ۱۴ نوروں در لایه اول و ۸ نوروں در لایه دوم مدل شد. پس از انتخاب تعداد نوروں و دیگر تنظیمات

۴- نتیجه‌گیری

سرعت برش و همچنین حالت UAT، میزان زبری کاهش یافته است. در حالت کلی می‌توان گفت، شرایط ماشینکاری ایده‌آل جهت کمترین مقدار زبری سطح، استفاده از سرعت‌های برشی بالا به همراه انتخاب پایین‌ترین سرعت پیشروی و مقادیر عمق برشی کم است.

در ادامه با استفاده از شبکه‌های عصبی دو مدل برای پیش‌بینی نتایج خروجی ایجاد شد. در مدل‌سازی شبکه عصبی چندین ساختار شبکه با تعداد نورون‌های مختلف در لایه پنهان، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج خطای شبکه نشان داد که تعداد نورون-ها در لایه پنهان تأثیر قابل توجهی بر عملکرد شبکه دارد. در نهایت یک شبکه عصبی چهارلایه با تعداد ۱۴ نورون در لایه پنهان اول و ۸ نورون در لایه پنهان دوم انتخاب گردید.

بررسی میزان خطای مدل شبکه عصبی نشان داد که نتایج پیش-بینی شده توسط شبکه‌های عصبی درصد خطای کمی دارند. شبکه عصبی مدل شده دارای خطای ۳۴/۴ درصد در پیش‌بینی نتایج بوده است.

منابع:

- 1- Davim, J. Paulo, ed. *Machining of Titanium Alloys*. Springer, 2014.
- 2- Brehl, D. E., and T. A. Dow. Review of vibration-assisted machining. *Precision engineering* 32.3, 153-172, 2008.
- 3- Tabatabaei, S. M. K., S. Behbahani, and S. M. Mirian. Analysis of ultrasonic assisted machining (UAM) on regenerative chatter in turning. *Journal of Materials Processing Technology* 213.3, 418-425, 2013.
- 4- Amir Goodarzvand Chegini, Javad Akbari. Ultrasonically assisted turning of NiTi based shape memory alloy. School of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, 2009.
- 5- Cakir, Fatih Hayati, et al. Finite element modeling of ultrasonic assisted turning of Ti6Al4V alloy. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 195, 2839-2848, 2015.
- 6- Tabatabaei, S. M. K., S. Behbahani, and S. M. Mirian. Analysis of ultrasonic assisted machining (UAM) on regenerative chatter in turning. *Journal of Materials Processing Technology* 213.3, 418-425, 2013.
- 7- Yip, W. S., S. To, and Y. Deng. Preliminary experimental study on ultrasonic assisted diamond turning Ti6Al4V alloy. *Proceedings of the 15th International Conference of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, EUSPEN 2015*. euspen, 2015.
- 8- Pramanik, A. Problems and solutions in machining of titanium alloys. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 70.5-8, 919-928, 2014.
- 9- C. Nath, M. Rahman, S. S. K. Andrew. A study on ultrasonic vibration cutting of low alloy steel, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 192-193, pp. 159-165, 2003.

در این تحقیق به بررسی تجربی تراشکاری و تراشکاری التراسونیک بر روی آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V پرداخته شد. در ابتدا با بررسی پارامترهای مختلف، ۴ پارامتر به عنوان پارامترهای ورودی انتخاب شدند (سرعت برش، پیشروی، عمق برش و شرایط تراشکاری التراسونیک) و اثر این چهار پارامتر با انجام آزمایش‌های تجربی بر دو پارامتر خروجی یعنی سایش ابزار و زبری سطح مشخص گردید. پس از انجام آزمایش‌های تجربی، بر روی نتایج به دست آمده تحلیل آماری انجام گرفت و دو مدل رگرسیون برای برای پیش‌بینی سایش ابزار و زبری سطح پیشنهاد شد. در ادامه تأثیر پارامترهای ورودی بر خروجی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج به دست آمده را میتوان در زیر خلاصه نمود:

۱- در تمامی آزمایش‌های انجام شده با استفاده از ارتعاشات التراسونیک، میزان سایش ابزار و زبری سطح کاهش یافته است. در تحلیل این نتایج می‌توان گفت علت کاهش سایش ابزار در حالت UAT، کاهش میانگین نیروهای وارد به ابزار و جدایش متناوب ابزار-قطعه کار است که به ابزار فرصت بیشتری برای خنک شدن می‌دهد و میزان سایش کاهش می‌یابد. همچنین در مواردی که براده تمایل به تشکیل لبه انباشته دارد، حضور ارتعاشات التراسونیک و منقطع شدن برش، مانع از تشکیل آن شده و اثرات مخرب لبه انباشته روی سطح براده ابزار و سطح ماشینکاری شده حذف می‌شود. همچنین به دلیل جدایش منظم ابزار و قطعه کار، شرایط روانکاری با نفوذ بیشتر سیال برشی به منطقه برشی بهبود می‌یابد که موجب کاهش تخریب ابزار در طی ماشینکاری می‌شود. همچنین کاهش زبری سطح در شرایط التراسونیک را می‌توان با توجه به کاهش نیروی برشی، کاهش سایش ابزار و افزایش پایداری دینامیکی در فرآیند UAT توضیح داد. همچنین حذف تقریبی لبه انباشته در فرآیند تراشکاری به کمک التراسونیک که عامل بسیار مخربی بر کیفیت سطح است، از دیگر دلایل افزایش کیفیت سطح است.

۲- در آزمایش‌های انجام شده با افزایش سرعت برش، سایش ابزار کاهش یافته است. با این وجود با افزایش نرخ پیشروی و عمق برش، سایش ابزار افزایش یافته است. نتایج تحلیل واریانس نشان داد که نرخ پیشروی نسبت به تغییر سرعت برش و عمق برش اثر گذاری بیشتری بر سایش ابزار داشته است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت جهت کاهش سایش ابزار، علاوه بر استفاده از ارتعاشات التراسونیک می‌بایست از سرعت دورانی بیشتر و عمق و پیشروی کمتر استفاده نمود.

۳- نتایج تجربی تراشکاری روی آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V نشان داد که سرعت پیشروی و عمق برش اثر افزایشی بروی میزان زبری سطح داشته‌اند. با این وجود می‌توان گفت پیشروی بیشترین اثر را بر روی میزان زبری سطح داشته است. با افزایش

- International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 48, pp. 1585-1591, 2008.
- 14- G. L. Chern, Y. C. Chang, Using two-dimensional vibration cutting for micro-milling, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 46, pp. 659-666, 2006.
- 15- C. Y. Hsu, C. K. Huang, C. Y. Wu, Milling of MAR-M247 nickel-based superalloy with high temperature and ultrasonic aiding, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 34, pp. 857-866, 2007.
- 10-
- 11- V. I. Babitsky, A. V. Mitrofanov, V. V. Silberschmidt, Ultrasonically-assisted turning of aviation materials. simulations and experimental Study, Ultrasonics, Vol. 42, pp. 81-86, 2003.
- 12- R. Neugebauer, A. Stoll, Ultrasonic application in drilling, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 149, pp. 633-639, 2004.
- 13- T. Tawakoli, B. Azarhoushang, Influence of ultrasonic vibrations on dry grinding of soft steel,