

تأثیر عملیات تبریدی روی ابزار برشی بر زبری سطح و سایش ابزار در ماشینکاری فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴

محمد مهدی ابوترابی* استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران، abootorabi@yazd.ac.ir
عارف سلیمی نیا کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران، e.aref.salimi@gmail.com

چکیده

زبری سطح قطعه‌کار به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای خروجی فرایند ماشینکاری، تأثیر بسزایی بر هزینه نهایی تولید دارد. پارامترهایی مانند تیزی لبه برنده، ارتعاش و سایش ابزار برشی تأثیر زیادی بر زبری سطح قطعه‌کار می‌گذراند. در این مقاله، اثر عملیات تبریدی روی ابزار برشی بر سایش ابزار و کیفیت سطح قطعه‌کار در پارامترهای مختلف ماشینکاری (سرعت برشی، نرخ پیشروی و عمق برش) بررسی و با تراشکاری خشک و معمولی (تر) فولاد زنگ‌نزن آستنیتی ۳۰۴ AISI مقایسه شده است. برای طراحی آزمایش‌ها از روش تاگوچی و از روش نسبت سیگنال به نویز جهت تجزیه و تحلیل نتایج استفاده شده است. طبق نتایج به‌دست آمده، سایش در ابزار عملیات تبریدی شده نسبت به ابزار برشی در حالت‌های ماشینکاری خشک و معمولی کاهش یافته است. زبری سطح قطعه‌کار در حالت ماشینکاری با ابزار عملیات تبریدی شده به دلیل کاهش سایش ابزار و حفظ تیزی لبه برنده ابزار برشی کمتر از دو حالت ماشینکاری خشک و معمولی است.

واژه‌های کلیدی: تراشکاری، عملیات تبریدی، ابزار برشی، سایش ابزار، زبری سطح.

Effect of Cryogenic Treatment of Cutting Tool on Surface Roughness and Tool Wear in Machining of AISI 304 Stainless Steel

M. M. Abootorabi
A. Saliminia

Department of Mechanical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran
Department of Mechanical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract

Work piece surface roughness as one of the most important output parameters of the machining process has a significant impact on the final cost of production. Parameters such as cutting edge sharpness, vibration and cutting tool wear have a great effect on the surface roughness of the work piece. In this paper, the effect of cutting tool cryogenic treatment on tool wear and work piece surface quality in different machining parameters (cutting speed, feed rate and depth of cut) was investigated and compared with dry and conventional (wet) turning of AISI 304 austenitic stainless steel. The Taguchi method for design of experiments and the signal-to-noise ratio method for analysis of results were used. According to the obtained results, the wear of the cryogenic treated tool was reduced compared to the cutting tool in dry and conventional machining modes. The surface roughness of the work piece in machining with the cryogenic treated tool is less than in the dry and conventional machining modes due to reduced tool wear and preserving the sharpness of the cutting edge of the tool.

Keywords: Turning, Cryogenic Treatment, Cutting Tool, Tool Wear, Surface Roughness.

۱- مقدمه

می‌شود: الف) روش پیش سرد کردن قطعه‌کار به‌منظور تغییر خاصیت مواد از نرم به ترد، ب) روش خنک‌کاری تبریدی غیر مستقیم به‌منظور خنک‌کاری ناحیه برش با انتقال گرمای ابزار به محفظه نیتروژن مایع تعبیه شده در زیر سطح ابزار یا ابزارگیر، ج) روش خنک‌کاری تبریدی پاششی با هدف خنک‌کاری ناحیه برش، به ویژه سطح مشترک ابزار و براده با استفاده از نازلی جهت پاشش نیتروژن مایع و د) عملیات تبریدی که هدف از آن تغییر و بهبود خواص ابزارهای برشی است [۲]. در عملیات تبریدی، نمونه که معمولاً ابزار برشی است، توسط واحد کنترل با استفاده از گازهایی مثل نیتروژن و هلیوم تا دمایی بین ۸۰- تا ۱۹۶- درجه سلسیوس به آرامی سرد و پس از یک مکث زمانی در آن دما برای مدت زمانی معین، تحت عملیات حرارتی قرار می‌گیرد [۳]. عملیات تبریدی شامل چهار مرحله‌ی الف) کاهش دما، ب) دوره خیساندن، ج) افزایش دما و د) عملیات حرارتی است [۴]. اولین مرحله از عملیات تبریدی، مرحله کاهش دما است. دما را باید به آرامی کاهش

برای بهبود شرایط براده‌برداری از سیالات برشی استفاده می‌شود. سیالات برشی رایج علیرغم تأثیر مثبت بر فرایند ماشینکاری، باعث آلودگی محیط زیست می‌شوند. این سیالات برشی علاوه‌بر ایجاد مشکلات پوستی و تنفسی برای کاربر و عدم توانایی نفوذ مؤثر در ناحیه تماس ابزار - براده، یک منبع بزرگ آلودگی محسوب می‌شوند [۱]. امروزه به دلیل عوارض جانبی خنک‌کاری معمولی، علاقه به استفاده از روش‌های خنک‌کاری سبز نظیر خنک‌کاری تبریدی افزایش یافته است. خنک‌کاری تبریدی فرآیندی است که در آن از گازهایی که دارای قدرت خنک‌کنندگی بسیار بالا هستند به‌عنوان خنک‌کار در عملیات براده برداری استفاده می‌شود. این گازها عبارتند از: نیتروژن، آرگون، اکسیژن، هیدروژن و هلیوم. خنک‌کاری تبریدی در ماشینکاری به عنوان یکی از روش‌های سازگار با محیط زیست به چهار روش انجام

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: abootorabi@yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۰۳

داد چون افت سریع دما باعث به وجود آمدن ترک‌های بسیار ریز در ابزار می‌شود [۵]. یکی از مهم‌ترین مراحل عملیات تبریدی، دوره خیس‌اندن است که تبدیل آستنیت به مارتنزیت، تشکیل کاربید جدید و توزیع آن در ساختار مارتنزیت را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۶]. این دوره، زمانی بین ۱ تا ۴۰ ساعت را به خود اختصاص داده و در دمایی بین ۸۰- تا ۱۹۶- درجه سلسیوس انجام می‌شود [۴]. در مرحله افزایش دما در عملیات تبریدی، بعد از نگهداری ابزار در دمایی خاص برای مدت زمانی معین، دمای ابزار تا دمای محیط افزایش می‌یابد و برای عملیات حرارتی آماده می‌شود. آخرین مرحله عملیات تبریدی، انجام عملیات حرارتی روی ابزار است. این مرحله معمولاً در دمایی بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۱/۵ تا ۲ ساعت طول می‌کشد. از عملیات حرارتی به منظور از بین بردن تنش‌های داخلی که به علت سرد شدن بیش از حد ابزار به وجود آمده است استفاده می‌شود [۷].

دهار و کامروزامن صافی سطح، سایش ابزار، انحراف ابعادی و دمای ناحیه برش را در تراشکاری فولاد AISI ۴۰۳۷ با ابزار کاربیدی پوشش‌دار در حالت‌های ماشینکاری تبریدی پاششی، خشک و تر مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دلیل بهبود صافی سطح در ماشینکاری تبریدی نسبت به ماشینکاری خشک و تر را حفظ تیزی لبه برنده ابزار به دلیل کنترل دمای ناحیه برش بیان کردند [۸]. سینگ و گرو به بررسی اثر عملیات تبریدی بر روی نرخ سایش ابزار و نرخ برداشت ماده در ماشینکاری تخلیه الکتریکی پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که عملیات تبریدی باعث کاهش ۹ تا ۳۱ درصدی سایش ابزار و افزایش ۱۰۹ تا ۲۳۰ درصدی نرخ برداشت براده می‌شود [۹]. هی و همکاران در بررسی تجربی تغییرات دمای برش، سایش ابزار، نیروی برش و زبری سطح در تراشکاری فولاد AISI ۵۱۴۰ با ابزار کاربیدی عملیات تبریدی شده و معمولی در عمق برش ۱ میلی‌متر، نرخ پیشروی ۰/۱ میلی‌متر بر دور و سرعت‌های برشی مختلف نشان دادند که انجام عملیات تبریدی روی ابزار برشی در مقایسه با ابزار برش معمولی باعث کاهش ۲۵/۶ تا ۳۳/۸ درصدی نیروی برش و ۱۰/۷ تا ۱۶/۳ درصدی زبری سطح قطعه‌کار می‌شود. آن‌ها به منظور انجام عملیات تبریدی، ابزار کاربیدی بدون پوشش را به مدت ۳۰ ساعت در دمای ۱۹۶- درجه سلسیوس نگهداری کردند [۱۰]. یانگ و دینگ به صورت تجربی اثر عملیات تبریدی روی خواص مکانیکی تنگستن کارباید را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تنگستن کارباید عملیات تبریدی شده دارای سختی بیشتر، استحکام فشاری بالاتر، مقاومت به سایش بهتر و عمر خستگی بالاتری است. آن‌ها بیان کردند که تغییر خواص مکانیکی به مقدار زیادی به زمان نگهداری در دمای پایین وابسته است [۱۱]. گیل و همکاران در بررسی اثر عملیات تبریدی بر خواص متالورژیکی و مکانیکی ابزاری از جنس فولاد تندبر M2 نشان دادند که عملیات تبریدی باعث افزایش سختی، کاهش نرخ سایش، توزیع یکنواخت کارباید و بهبود خواص مکانیکی ابزار می‌شود [۱۲]. اوزبک و همکاران از عملیات تبریدی به عنوان فرآیندی مکمل جهت بهبود کارایی ابزار، به منظور بررسی تأثیر آن بر ارتفاع آستانه فرسایش و عمق گودال فرسایش ابزاری از جنس تنگستن کارباید استفاده کردند. آن‌ها علاوه بر افزایش سختی و بهبود رسانش گرمایی ابزار برشی، کاهش ۲۹ درصدی ارتفاع آستانه فرسایش و ۶۷ درصدی عمق گودال فرسایش را نیز گزارش کرده‌اند [۱۳]. چیچک و همکاران تأثیر عملیات تبریدی

بر صافی سطح، نیروی محوری، سایش و عمر ابزار در سوراخ‌کاری فولاد زنگ‌نزن آستنیتی AISI ۳۰۴ با ابزاری از جنس HSS را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بیان کردند که سوراخ‌کاری با ابزار عملیات تبریدی شده در مقایسه با ابزار معمولی دارای سایش ابزار و نیروی محوری کمتر، صافی سطح بهتر و عمر ابزار بالاتری است. آن‌ها دلیل بهبود مقاومت به سایش و افزایش عمر ابزار را تبدیل آستنیت باقیمانده به مارتنزیت و توزیع همگن‌تر کاربیدها در ابزار دانستند [۱۴].

در این مقاله، اثر عملیات تبریدی ابزار برشی در تراشکاری فولاد AISI ۳۰۴ بر سایش ابزار و کیفیت سطح در پارامترهای برشی مختلف در مقایسه با تراشکاری خشک (بدون خنک‌کار) و معمولی (تر) مورد مطالعه قرار گرفته است. اثر عملیات تبریدی روی ابزار برشی بر فرآیند تراشکاری فولاد AISI ۳۰۴ برای نخستین بار در این مقاله بررسی شده است. حجم تحقیقات انجام‌شده در مورد تأثیر عملیات تبریدی ابزار برشی در مقایسه با روش خنک‌کاری تبریدی پاششی با استفاده از نازل پاشش نیتروژن مایع، بسیار کمتر است و امروزه بررسی جنبه‌های مختلف اثرات ابزار عملیات تبریدی شده بر قابلیت ماشینکاری جنس-های مختلف قطعه‌کار همچنان ادامه دارد.

۲- آماده‌سازی فرآیند و انجام آزمایش‌ها

قطعه‌کار استفاده شده در این پژوهش، از جنس فولاد AISI ۳۰۴ با قطر ۴۰ میلی‌متر است. برای اندازه‌گیری درصد عناصر آلیاژی قطعه‌کار، از کوانتومتری استفاده شده است. آزمایش کوانتومتری در سه نقطه متفاوت از سطح نمونه انجام و میانگین سه حالت به عنوان ترکیب شیمیایی در نظر گرفته شد. ترکیب شیمیایی فولاد AISI ۳۰۴ مورد استفاده در آزمایشهای تجربی در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فولاد AISI ۳۰۴

عنصر	مقدار
آهن	۷۱/۱
کربن	۰/۰۶۵
سیلیسیم	۰/۳۴۳
منگنز	۱
فسفر	۰/۰۰۵
گوگرد	۰/۰۱۹
کروم	۱۸/۴
نیکل	۸/۱۶
آلومینیوم	۰/۰۱۱
کبالت	۰/۰۰۹
مس	۰/۴۲۳
تیتانیوم	۰/۰۷۷
وانادیوم	۰/۰۷
نیوبیم	۰/۰۱۳
تنگستن	۰/۰۲
مولیبدن	۰/۲۳۱

در این تحقیق، ابتدا تأثیر پارامترهای زمان خیس‌اندن در نیتروژن مایع (۲۴ و ۷۲ ساعت)، زمان (۱،۵ و ۲ ساعت) و تعداد مراحل عملیات

انجام و میانگین آن‌ها به عنوان زبری سطح متوسط ثبت گردید. تعدادی از تجهیزات مورد استفاده در آزمایش‌های تجربی در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۳- سطوح پارامترهای ماشینکاری در آزمایش‌های تجربی

مرحله	شرایط ماشینکاری	سرعت برشی (m/min)	نرخ پیشروی (mm/rev)	عمق برش (mm)
۱	عملیات تبریدی	۴۲	۰/۴	۰/۴
۲	تر	۴۲	۰/۳	۰/۸
۳	خشک	۴۲	۰/۲	۱/۲
۴	خشک	۶۲	۰/۴	۰/۴
۵	عملیات تبریدی	۶۲	۰/۳	۰/۸
۶	تر	۶۲	۰/۲	۱/۲
۷	تر	۸۳	۰/۴	۰/۴
۸	خشک	۸۳	۰/۳	۰/۸
۹	عملیات تبریدی	۸۳	۰/۲	۱/۲



(الف)



(د)



(ج)



(ب)

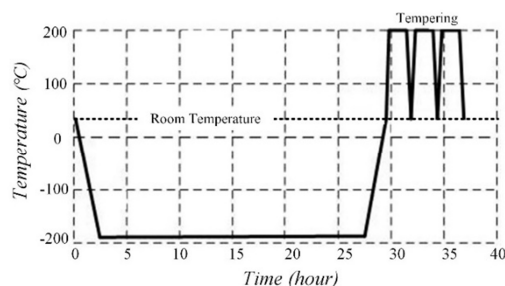
شکل ۲- برخی از تجهیزات بکار رفته در آزمایش‌های تجربی شامل (الف) دستگاه تراش مدل TN50، (ب) الماسه و ابزارگیر، (ج) مخزن نیتروژن مایع و (د) زبری سنج

۳- نتایج و بحث

۳-۱- سایش ابزار

در این بخش، سایش ابزار کاربردی مورد استفاده در آزمایش‌ها بررسی شده است. شکل ۳ نمودار نسبت سیگنال به نویز اثر پارامترهای ورودی بر سایش ابزار را نشان می‌دهد. با توجه به اهمیت کاهش سایش ابزار از حالت "کمتر بهتر" استفاده شده است. در حالت کمتر بهتر، هرچه مقدار هر پارامتر مورد بررسی کمتر باشد بهتر است. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش سرعت برشی از ۴۲ تا ۸۳ متر بر دقیقه میزان سایش ابزار افزایش یافته است. با افزایش سرعت برشی به دلیل افزایش دما و به دنبال آن نرم شدن حرارتی ابزار، مقدار سایش ابزار بیشتر می‌شود. این روند برای نرخ پیشروی و عمق برش به دلیل

حرارتی (۱ و ۳ مرحله) بر روی مقاومت به سایش ابزار برشی بررسی و سپس بهترین حالت مشاهده شده برای مقایسه با روش‌های ماشینکاری خشک و تر مورد استفاده قرار گرفته است. مطابق نتایج به دست آمده از آزمایش‌های تجربی، حالت بهینه عملیات تبریدی عبارت است از: زمان خیساندن در دمای ثابت ۱۹۶- درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت و انجام ۳ مرحله عملیات حرارتی در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت. طرحواره نحوه انجام عملیات تبریدی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمودار فرایند عملیات تبریدی

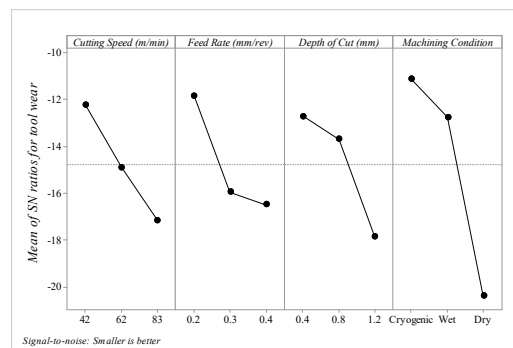
الماسه استفاده شده در آزمایش‌ها از جنس تنگستن کارباید بدون پوشش و فاقد براده‌شکن است. کد ابزار و ابزارگیر مورد استفاده طبق استاندارد ایزو به ترتیب ۱۵۰۶۰۴ SNMG و ۲۵۲۵ PSDNN است. از میکروسکوپ نوری برای اندازه‌گیری میزان سایش ابزار استفاده شده است. برای عکس‌برداری از الماسه‌های برشی، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Tescan Vega3 استفاده شد. تراشکاری در سه حالت تبریدی، تر و خشک در سرعت‌های برشی، نرخ‌های پیشروی و عمق‌های برش مختلف انجام شده است. پارامترهای ماشینکاری مورد استفاده در آزمایش‌های تجربی در جدول ۲ ذکر شده است.

جدول ۲- پارامترهای ماشینکاری

پارامتر	مقدار
سرعت برشی (m/min)	۴۲، ۶۲، ۸۳
نرخ پیشروی (mm/rev)	۰/۲، ۰/۳، ۰/۴
عمق برش (mm)	۰/۴، ۰/۸، ۱/۲
شرایط ماشینکاری	عملیات تبریدی، خشک، تر

در حالت ماشینکاری تر از مخلوطی از ۵ درصد روغن برش و ۹۵ درصد آب به عنوان سیال برشی استفاده شده است. از بین روش‌های مختلف طراحی آزمایش، روش تاگوچی برای طراحی آزمایش‌ها انتخاب شده است. سطوح پارامترهای ماشینکاری در هر یک از آزمایش‌های تجربی در جدول ۳ ارائه شده است. برای طراحی آزمایش‌ها و تجزیه و تحلیل نتایج از نرم افزار Minitab 17 استفاده شده است. از بین روش‌هایی مختلفی که برای بیان زبری سطح وجود دارد، روش زبری متوسط با نماد Ra انتخاب گردید. زبری سطح نمونه‌های ماشینکاری شده با استفاده از دستگاه زبری سنج مدل TR ۱۰۰ ساخت شرکت TIME با طول کورس ۲/۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. برای تعیین زبری سطح هر نمونه، اندازه‌گیری در چهار نقطه متفاوت از سطح نمونه

افزایش سرعت تغییر شکل و حجم براده برداری نیز مشاهده می‌شود. با افزایش با توجه به شکل ۳ با حالت شرایط ماشینکاری از خشک به تر و از تر به تبریدی، مقدار سایش ابزار کمتر می‌شود. کمترین سایش ابزار مربوط به حالت ماشینکاری با ابزار عملیات تبریدی شده و بیشترین سایش در حالت خشک است. مقدار تأثیر حالت ماشینکاری با توجه به مقادیر نسبت سیگنال به نویز بیشتر از سایر پارامترهای ورودی است. در ساختار میکروسکوپی تنگستن کارباید چهار فاز وجود دارد: (الف) فاز آلفا (α) یا تنگستن کارباید (WC)، (ب) فاز بتا (β) یا کبالت، (ج) فاز گاما (γ) یا مخلوطی از کاربیدهای شبکه مکعب (TaC , TiC , NbC), (د) فاز ایتا (η) یا کمپلکس کاربیدی چندگانه $\{\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ (M6C), $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ (M12C) [۱۵]. عملیات تبریدی با تغییر فاز کبالت باعث می‌شود که خاصیت چسبندگی آن در طول عملیات ماشینکاری تا مدت زمان بیشتری حفظ شود [۱۶]. با انجام فرآیند عملیات تبریدی، مقدار فاز ایتا (η) که سخت‌تر از بقیه فازها است بیش‌تر می‌شود که علاوه بر سختی، چقرمگی شکست را نیز افزایش می‌دهد. با افزایش مقدار فاز ایتا و پر کردن فضاهایی که قبلاً با چسب پر شده، رسانش گرمایی تنگستن کارباید نیز افزایش می‌یابد [۱۷]. افزایش رسانش گرمایی باعث کاهش تمرکز حرارت در نواحی بحرانی ابزار برشی می‌شود. در تراشکاری با ابزار عملیات تبریدی شده با کاهش دمای ابزار برشی و جلوگیری از نرم شدن ابزار، مقدار سایش آن کمتر می‌شود. افزایش سختی ابزار عملیات تبریدی شده به علت افزایش مقدار فاز ایتا (η) دلیل دیگر کاهش سایش ابزار است. مطابق شکل ۳، حالت بهینه برای دستیابی به کمترین سایش ابزار با پارامترهای آزمایش شده در این تحقیق عبارت است از: سرعت برشی ۴۲ متر بر دقیقه، نرخ پیشروی ۰/۲ میلی‌متر بر دور، عمق برش ۰/۴ میلی‌متر و ماشینکاری با ابزار عملیات تبریدی شده.



شکل ۳- نمودار نسبت سیگنال به نویز اثر پارامترهای ورودی بر سایش ابزار

۳-۲- زبری سطح

یکی از معیارهای اصلی بررسی کیفیت قطعات تولید شده به روش ماشینکاری، زبری سطح است. زبری سطح به عنوان یکی از پارامترهای سلامت سطح قطعه‌کار به عوامل مختلفی بستگی دارد. از جمله پارامترهای مؤثر بر زبری سطح می‌توان به شعاع نوک ابزار، پارامترهای برش، سایش ابزار، ارتعاش و تشکیل براده با لبه انباشته (BUE) اشاره کرد که مهمترین آن‌ها زبری سطح، شعاع نوک ابزار و نرخ پیشروی

هستند. در شکل ۴ نمودار نسبت سیگنال به نویز اثر پارامترهای ورودی بر زبری سطح نشان داده شده است. با توجه به اهمیت کاهش زبری سطح قطعه‌کار، از حالت "کمتر بهتر" استفاده شده است. مطابق شکل 3 با افزایش سرعت برشی، روند تغییر زبری سطح، با شیب ملایمی کاهشی است. زبری سطح قطعه‌کار با افزایش سرعت برشی، به دلیل افزایش دما و شکل‌گیری آسان‌تر براده و همچنین کاهش تمایل به تشکیل لبه انباشته، کاهش پیدا می‌کند. همانطور که مشاهده می‌شود، زبری سطح با افزایش نرخ پیشروی اندکی افزایش می‌یابد. دلیل افزایش زبری سطح با افزایش نرخ پیشروی در فرایند تراشکاری، افزایش گام برآمدگی‌های روی سطح قطعه‌کار و همچنین افزایش ضخامت براده تغییر شکل نیافته و در نتیجه افزایش نیروی برشی و سخت‌تر شدن شرایط برش است [۱۷]. مطابق شکل ۴ با افزایش عمق برش از ۰/۴ میلی‌متر به ۰/۸ میلی‌متر، روند تغییر زبری سطح کاهشی ولی از ۰/۸ میلی‌متر به ۱/۲ میلی‌متر، افزایشی است. روند مشاهده شده در مورد تأثیر عمق برش با نتایج به دست آمده توسط سایر محققان [۱۸] مطابقت دارد. با توجه به شکل ۴ با تغییر حالت ماشینکاری از خشک به تر و از تر به تبریدی، مقدار زبری سطح کمتر می‌شود. کمترین زبری سطح مربوط به حالت ماشینکاری با ابزار عملیات تبریدی شده و بیشترین زبری سطح در حالت خشک مشاهده می‌شود. با توجه به شیب نمودار مربوط به حالت ماشینکاری در شکل ۴، مقدار تأثیر حالت ماشینکاری بسیار بیشتر از سایر پارامترهای ورودی است. با افزایش سایش ابزار و به دنبال آن افزایش سطح تماس ابزار و قطعه‌کار، نفوذ ابزار به قطعه‌کار سخت‌تر و میزان ارتعاش ابزار بیشتر می‌شود. در ماشینکاری با ابزار عملیات تبریدی شده، کاهش سایش ابزار علت اصلی بهبود زبری سطح در مقایسه با حالت تراشکاری تر و خشک است. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، حالت بهینه برای دستیابی به کمترین زبری سطح قطعه‌کار عبارت است از: سرعت برشی 83 متر بر دقیقه، نرخ پیشروی 0.2 میلی‌متر بر دور، عمق برش 0.8 میلی‌متر و ماشینکاری با ابزار عملیات تبریدی شده.

شکل ۵ سه نمونه از عکس‌های تهیه شده از الماسه‌های برشی توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی را نشان می‌دهد که به ترتیب مربوط به آزمایش‌های شماره ۶ (تر)، ۸ (خشک) و ۹ (عملیات تبریدی) از جدول ۳ هستند. به دلیل استفاده از روش طراحی آزمایش تاگوچی و اینکه در حالت‌های مختلف تبریدی، تر و خشک، تراشکاری در شرایط کاملاً یکسان از نظر سرعت برشی، نرخ پیشروی و عمق برش انجام نشده‌است (جدول ۳)، امکان مقایسه شکل ابزارها وجود ندارد. با این وجود، شکل ۵ نمونه‌ای از ابزارهای برش در روش‌های مختلف برشی را نشان می‌دهد. تصویر مربوط به حالت ماشینکاری تر در شکل ۵(الف) نشان می‌دهد که میزان سایش و تغییر شکل لبه برشی از حالت ماشینکاری خشک کمتر است. سایش بیشتر، تغییر شکل پلاستیک لبه برنده و حتی لب‌پریدگی در شکل ۵(ب) مربوط به حالت ماشینکاری خشک مشاهده می‌شود. در نهایت، تصویر مربوط به ابزار برشی عملیات تبریدی‌شده در شکل ۵(ج) نشان دهنده سایش کمتر و سلامت بیشتر لبه برش در این حالت از برش است. این رفتار در ۶ آزمایش تجربی دیگر هم قابل مشاهده است.

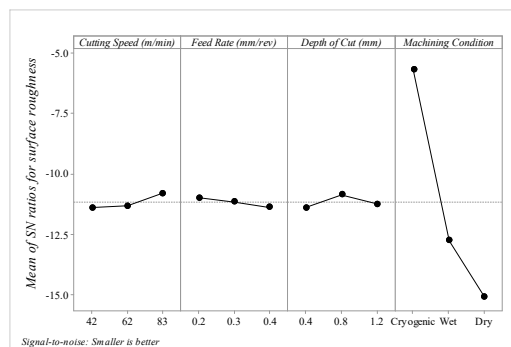
تبریدی شده در سرعت برشی ۴۲ متر بر دقیقه، نرخ پیشروی ۰/۲ میلی‌متر بر دور و عمق برش ۰/۴ میلی‌متر است.

(۳) افزایش سرعت برشی باعث کاهش میزان زبری سطح قطعه کار می‌شود ولی با افزایش نرخ پیشروی، زبری سطح بیشتر شده است. زبری سطح قطعه‌کار در تراشکاری با ابزار عملیات تبریدی شده کمتر از تراشکاری خشک و معمولی است. تأثیر استفاده از ابزار عملیات تبریدی شده بر زبری سطح بسیار بیشتر از پارامترهای سرعت برشی، نرخ پیشروی و عمق برش است.

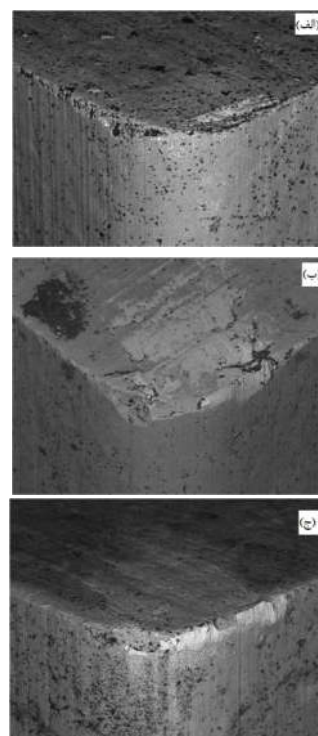
(۴) کمترین زبری سطح در سرعت برشی ۸۳ متر بر دقیقه، نرخ پیشروی ۰/۲ میلی‌متر بر دور، عمق برش ۰/۸ میلی‌متر و ماشینکاری با ابزار عملیات تبریدی شده مشاهده می‌شود.

۵- مراجع

- [1] Saliminia A., Abootorabi M. M., The effect of lubrication type on tool temperature and wear in turning of AISI 304 steel, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 18, No. 04, pp. 153-162, 2018.
- [2] Yildiz Y., Nalbant M., A review of cryogenic cooling in machining processes, *Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 48, pp. 947-964, 2008.
- [3] Senthilkumar D., Rajendran I., Influence of shallow and deep cryogenic treatment on tribological behavior of En 19 steel, *Journal of Iron and Steel Research, International*, Vol. 18, pp. 53-59, 2011.
- [4] Akincioglu S., Gokkaya H., Uygur I., A review of cryogenic treatment on cutting tools, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 78, pp. 1609-1627, 2015.
- [5] Yong A. Y. L., Seah K. H. W., Rahman M., Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide tools in turning, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 46, pp. 2051-2056, 2006.
- [6] Reitz W., Pendray J., Cryoprocessing of materials: a review of current status. *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 16, pp. 829-840, 2001.
- [7] Simranpreet S. G., Jagdev S., Rupinder S., Harpreet S., Metallurgical and mechanical characteristics of cryogenically treated tungsten carbide (WC-Co), *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 58, pp. 119-131, 2012.
- [8] Dhar N. R., Kamruzzaman M., Cutting temperature, tool wear, surface roughness and dimensional deviation in turning AISI-4037 steel under cryogenic condition, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 47, pp. 754-759, 2007.
- [9] Sing A., Grover N. K., Wear Properties of Cryogenic Treated Electrodes on Machining Of En-31, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 2, pp. 1406-1413, 2015.
- [10] He H. B., Han W. Q., Li H. Y., Yang J., Gu T., Deng T., Effect of Deep Cryogenic Treatment on Machinability and Wear Mechanism of TiAlN Coated Tools during Dry Turning, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 15, pp. 655-660, 2014.
- [11] Yong J., Ding C., Effect of cryogenic treatment on WC-Co cemented carbides, *Materials Science and Engineering*, Vol. 528, pp. 1735-1739, 2011.
- [12] Gill S. S., Singh J., Singh R., Singh H., Effect of Cryogenic Treatment on AISI M2 High Speed Steel: Metallurgical and Mechanical Characterization, *Journal*



شکل ۴- نمودار نسبت سیگنال به نویز اثر پارامترهای ورودی بر زبری سطح



شکل ۵- تصاویر مربوط به سطح ابزار (الف) آزمایش شماره ۶ در حالت تر، (ب) آزمایش شماره ۸ در حالت خشک و (ج) آزمایش شماره ۹ مربوط به ابزار عملیات تبریدی شده

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، تأثیر عملیات تبریدی روی ابزار برشی بر سایش ابزار و زبری سطح در مقایسه با حالت‌های تراشکاری خشک (بدون روانکار) و تراشکاری با خنک‌کاری معمولی (تر) روی فولاد زنگ‌نزن آستیتی ۳۰۴ AISI با ابزار کاربیدی، بررسی شده است. مهمترین نتایج این تحقیق عبارتند از:

- (۱) با افزایش سرعت برشی، نرخ پیشروی و عمق برش، میزان سایش ابزار افزایش می‌یابد. سایش ابزار برشی در ابزار عملیات تبریدی شده نسبت به دو حالت تراشکاری خشک و معمولی کمتر شده است.
- (۲) کمترین سایش ابزار مربوط به ماشینکاری با ابزار عملیات

- of *Materials Engineering and Performance*, Vol. 21, pp. 1320-1326, 2012.
- [13] Ozbek N. A., Cicek A., Gulesin M., Ozbek O., Investigation of the effects of cryogenic treatment applied at different holding times to cemented carbide inserts on tool wear, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 86, pp. 34-43, 2014.
- [14] Cicek A., Kivak T., Uygur I., Ekici E., Turgut Y., Performance of cryogenically treated M35 HSS drills in drilling of austenitic stainless steels, *International Journal Advance Technology*, Vol. 60, pp. 65-73, 2011.
- [15] Chopra A. S., Sargade V. G., Metallurgy behind the Cryogenic Treatment of Cutting Tools: An Overview, *Materials Today: Proceeding*, Vol. 2, pp. 1814-1824, 2015.
- [16] Simranpreet S., Gill H. S., Rupinder S., Jagdev S., Flank Wear and Machining Performance of Cryogenically Treated Tungsten Carbide Inserts, *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 26, pp. 1430-144, 2011.
- [17] Heydari B., Abootorabi M. M., Karimi zarchi H. R., The effect of workpiece hardness and cutting parameters on surface roughness in dry hard turning of X210Cr12 cold tool steel, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 6, pp. 241-247, 2017.
- [18] Lawal S. A., I. A. Choudhury, Nukman Y., Evaluation of vegetable and mineral oil-in-water emulsion cutting fluids in turning AISI 4340 steel with coated carbide tools, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 66, pp. 610-618, 2014.