

## بررسی تاثیر عملیات حرارتی بر قابلیت ماشین کاری فولاد ابزار AISI D3

محمد تاج آبادی<sup>۱</sup>، علیرضا کیانی رشید<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۲</sup> استاد، گروه مهندسی متالورژی و مواد، دانشگاه فردوسی مشهد

### چکیده

ماشین کاری یکی از فرآیندهای مهم و پرکاربرد در تولید قطعات بوده و سهم زیادی از هزینه نهایی قطعه تولید شده را شامل می‌شود. در مطالعه حاضر، بررسی قابلیت ماشین کاری فولاد ابزار سرد کار AISI D3 و فولاد کربن متوسط AISI 1045 در فرآیند فرز کاری با استفاده از دستگاه فرز CNC انجام شده و بر اساس معیارهای اندازه‌گیری نیروی برشی در حین انجام فرآیند به کمک دستگاه دینامومتر و بررسی کیفیت سطح قطعه کار با استفاده از آزمون سنجش زبری سطح پس از انجام فرآیند، به صورت کمی مورد تحلیل قرار گرفته است. به منظور ارزیابی تاثیر عملیات حرارتی بر قابلیت ماشین کاری، نمونه‌ها تحت سیکل عملیات حرارتی قرار گرفته و در شرایط یکسان ماشین کاری شده است. بررسی‌های ریزساختاری توسط میکروسکوپ نوری صورت گرفته و از نرم‌افزار تحلیل تصاویر جهت بررسی ریزساختاری استفاده شده است. بررسی‌های انجام شده بر روی نمودارهای نیروی برشی  $F_x$  و  $F_y$  نشان داد که با توجه به کاهش تا ۹/۲ درصدی نیروهای متوسط در حین انجام فرز کاری، قابلیت ماشین کاری نمونه‌های عملیات حرارتی شده بهبود یافته و همچنین زبری سطح این نمونه‌ها تا ۲۶/۷ درصد کاهش پیدا کرده است که در نتیجه، این دو عامل کاهش هزینه تولید قطعه نهایی را در پی دارد.

کلمات کلیدی: فولادهای مافوق کربنی، عملیات حرارتی، نیروی برشی، زبری سطح، قابلیت ماشین کاری.

<sup>۱</sup> m.tajabadi@mail.um.ac.ir

## مقدمه

فولادهای ابزار سرد کار گروه D به دلیل برخورداری از درصد کربن و کروم بالا و در نتیجه حضور مقدار بالای کاربید در ریزساختار آن، مقاومت به سایش بسیار عالی دارند که همراه با سختی و استحکام بالا، قیمت پایین و در دسترس بودن زمینه‌ساز استفاده گسترده از این دسته فولادها در ساخت قالب‌ها، ابزارهای برش، غلطک‌های نورد و گيج‌های اندازه‌گیری شده است [۱، ۲].

قابلیت ماشین‌کاری یکی از مهم‌ترین خصوصیات فلزات بوده و فرآیند طراحی انتخاب ماده برای ساخت یک محصول، نیازمند مشخص کردن کمی قابلیت ماشین‌کاری آن ماده است که جهت تعیین آن می‌توان نیرو و دما در حین ماشین‌کاری و همچنین خروجی‌های ماشین‌کاری شامل سطح قطعه، ابزار مورد استفاده، نرخ براده‌برداری و شکل براده را بررسی نمود [۳-۵]. ماشین‌کاری مجموعه‌ای از فرآیندهای تولید است که جهت حذف مواد ناخواسته از روی قطعه و تبدیل قطعه خام به شکل و سطح نهایی دلخواه مطابق با الزامات طراحی، انجام می‌شود [۳].

بهبود قابلیت ماشین‌کاری با در نظر گرفتن عوامل متالورژیکی موثر بر قابلیت ماشین‌کاری شامل ترکیب شیمیایی، ریزساختار و همچنین خواص مکانیکی و بهینه‌سازی آن‌ها حاصل می‌شود.

میزان کربن و عناصر آلیاژی فولاد یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر قابلیت ماشین‌کاری فولادها می‌باشد. همچنین افزودن عناصری مانند سرب، سلنیوم، تلوریوم، بیسموت و سولفور در فولادها باعث بهبود قابلیت ماشین‌کاری آن‌ها به دلیل تغییر در شکل و مقدار آخال‌های غیرفلزی می‌شود. میزان کربن و عناصر آلیاژی از طرفی و ریزساختار فولاد از طرف دیگر، کنترل‌کننده مهم‌ترین خواص مکانیکی موثر بر قابلیت ماشین‌کاری یعنی سختی، استحکام تسلیم و میزان شکل‌پذیری می‌باشد [۳].

نوع فازهای موجود در ریزساختار، اندازه دانه و توزیع فاز از مهم‌ترین عوامل ریزساختاری موثر بر قابلیت ماشین‌کاری می‌باشد. وردجا<sup>۱</sup> و همکارانش به بررسی تاثیر عملیات حرارتی و بهبود قابلیت ماشین‌کاری فولاد AISI 8620 پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بهترین ریزساختار از نقطه نظر قابلیت ماشین‌کاری، ریزساختار شامل فریت و پرلیت شبه گلبولی با کاهش مقدار پرلیت لایه‌ای می‌باشد. از طرفی ریزساختارهای بسیار نرم مانند فریت و پرلیت‌های گلبولی قابلیت ماشین‌کاری را کاهش می‌دهند [۶]. در فولادهای فریتی، فریت فاز نرمی است که چقرمگی و شکل‌پذیری آن سبب چسبندگی به ابزار برش در حین فرآیند ماشین‌کاری شده و قابلیت ماشین‌کاری را کاهش می‌دهد [۳]. آکاساوا<sup>۲</sup> در تحقیقات خود عنوان نمود که در فولاد SCM440 با انجام آنیل و کشش سرد و دستیابی به ریزساختاری

<sup>1</sup> Verdeja

<sup>2</sup> Akasawa

با ذرات سمنتیت کروی شده در یک زمینه فریتی بهترین صافی سطح و کمترین نیروی برشی حاصل می‌شود [۷]. از کاتالباس<sup>۳</sup> و ارکان<sup>۴</sup> نیز با بررسی فولاد کربن متوسط SAE 1050 به این نتیجه رسیدند که بهینه‌ترین ریزساختار جهت دستیابی به قابلیت ماشین‌کاری مطلوب در این فولاد، ریزساختاری فریتی-پرلیتی است که در آن باندهای پرلیت نازک است [۸].

سختی بالای فولادهای ابزار سرد کار باعث می‌شود که انجام ماشین‌کاری، تنش و ضربه بالایی در ناحیه تماس کوچک بین ابزار و قطعه ایجاد کند که نتیجه آن سایش بالای ابزار و کاهش عمر ابزار می‌باشد، بنابراین مطالعات زیادی جهت بررسی و بهینه‌سازی عوامل مکانیکی موثر بر قابلیت ماشین‌کاری انجام شده است [۹-۱۱]. سعد قاضی<sup>۵</sup> با بررسی تاثیر عملیات حرارتی بر مقاومت به سایش و خواص مکانیکی فولاد ابزار سرد کار AISI D3، پیشنهاد کرده است با شکستن شبکه کاربیدهای پرویوتکتوئید، کروی کردن آن‌ها و همچنین افزایش مقدار کاربید موجود در ریزساختار که باعث کاهش مقدار کربن و عناصر آلیاژی موجود در زمینه می‌شود، می‌توان قابلیت ماشین‌کاری را بهبود بخشید [۱۲]. در پژوهش حاضر ضمن تعیین کمی قابلیت ماشین‌کاری فولاد ابزار سرد کار AISI D3 در حین فرآیند فرزکاری، سعی شده است تاثیر عملیات حرارتی و ریزساختار بر قابلیت ماشین‌کاری مورد بررسی قرار گیرد.

### روش تحقیق

در این تحقیق از فولاد ابزار سرد کار AISI D3 و فولاد کربن متوسط AISI 1045 استفاده شده است. قطعات فولادی مورد استفاده به صورت استوانه‌ای با قطر ۳/۵ cm می‌باشد و با استفاده از دستگاه کوانتومتر ترکیب شیمیایی این دو نمونه مطابق جدول ۱ به دست آمد. جهت بررسی تاثیر عملیات حرارتی و ریزساختار بر قابلیت ماشین‌کاری فولاد ابزار سرد کار AISI D3 از عملیات حرارتی آنیل کامل استفاده شد. برای انجام این عملیات حرارتی نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت در دمای ۹۲۰°C درون کوره قرار گرفته و پس از آن برای تکمیل فرآیند، نمونه‌ها تا رسیدن به دمای اتاق درون کوره خاموش نگه‌داری شدند. سیکل عملیات حرارتی مورد استفاده در شکل ۱ نشان داده شده است. برای جلوگیری از دگرپوره شدن نمونه‌ها در حین عملیات حرارتی، نمونه‌ها درون یک محفظه فولادی قرار گرفته و جهت حصول اطمینان از عدم دگرپوره شدن، محفظه با پودر چدن پر گردید. همچنین آزمون کوانتومتری روی نمونه‌های

<sup>3</sup> Ozcatalbas

<sup>4</sup> Ercan

<sup>5</sup> Saad Ghazi

عملیات حرارتی نشان‌دهنده این مهم بود که محافظت به خوبی انجام شده و نمونه‌ها دگرپوره نشده است. از این نمونه‌های عملیات حرارتی شده جهت انجام آزمون‌های متالوگرافی و تعیین قابلیت ماشین‌کاری استفاده شده است.

سختی هر یک از نمونه‌ها به روش سختی‌سنجی راکول توسط دستگاه Beaver بر روی ۶ نقطه از سطح نمونه‌ها انجام گرفت. همچنین پس از فرآیند سنباده‌زنی و پولیش‌کاری و اچ کردن با استفاده از محلول نایتال ۲ درصد برای فولادهای AISI D3 و AISI 1045 و پیکرال ۲ درصد برای نمونه AISI D3 آنیل کامل شده، بررسی ریزساختاری نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ نوری OLYMPUS BX60M انجام شد.

جهت دستیابی به معیار مطمئن و دقیق برای تعیین قابلیت ماشین‌کاری نمونه‌ها، از اندازه‌گیری نیروی برشی استفاده شده است. تجهیزات مورد استفاده در انجام این تحقیق، دستگاه فرز CNC<sup>۶</sup> ساخت شرکت ماشین‌سازی تبریز مدل VMC-850 و همچنین سیستم اندازه‌گیری نیروی برشی شامل دینامومتر<sup>۷</sup>، آمپلی‌فایر<sup>۸</sup>، کارت اکتساب داده<sup>۹</sup> و نرم افزار جمع‌آوری داده می‌باشد. برای بررسی قابلیت ماشین‌کاری در فرایند فرزکاری، یک سانتی‌متر از طول نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۳/۵ cm و طول ۲/۷ cm جهت دستیابی به سطح مقطع مکعبی ماشین‌کاری شده و فرزکاری جهت اندازه‌گیری نیروی برشی روی همان یک سانتی‌متر انجام گرفت. شکل ۲ نحوه قرارگیری دستگاه‌های مختلف در این آزمایش و شکل ۳ محل و نحوه قرارگیری نمونه در چهار نظام قرار گرفته روی دینامومتر را نمایش می‌دهد. ابزار مورد استفاده، مطابق شکل ۴ ابزار فرز انگشتی معمولی ۴ لبه از جنس فولاد تند بر<sup>۱۰</sup> با قطر ۱۲ میلی‌متر می‌باشد. شرایط ماشین‌کاری در این آزمایشات شامل سرعت دورانی اسپیندل، پیشروی ابزار، عمق برش و عرض برش نیز در جدول ۲ آورده شده است. تمام آزمایشات در شرایط ماشین‌کاری خشک انجام شده است.

برای سنجش پارامترهای مربوط به صافی سطح و نیز استخراج پروفیل سطح قطعه کار نمونه‌های فرزکاری شده، از دستگاه زبری سنج ساخت شرکت Taylor Hobson مدل Surtronic25 استفاده شده است.

---

<sup>6</sup> Computer Numerical Control

<sup>7</sup> Dynamometer

<sup>8</sup> Amplifier

<sup>9</sup> Data Acquisition Card

<sup>10</sup> High Speed Steel

## نتایج و بحث

ریزساختار نمونه فولاد ابزار سرد کار AISI D3، قبل و بعد از عملیات حرارتی و فولاد کربن متوسط AISI 1045 در شکل ۷-۵ نمایش داده شده است. نمونه فولاد AISI 1045 ریزساختاری حاوی ۳۴ درصد فریت و ۶۶ درصد پرلیت داشته و ریزساختار نمونه فولاد AISI D3 شامل ۱۵ درصد کاربید و ۸۵ درصد پرلیت می‌باشد که با انجام عملیات حرارتی درصد کاربید آن ۲/۵ درصد افزایش یافته و شکل آن‌ها کرووی تر شده است. سختی این نمونه‌ها نیز مطابق جدول ۳ بوده و با انجام عملیات حرارتی آنیل کامل سختی نمونه فولاد AISI D3 کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته است که متاثر از ریزساختار می‌باشد. قابلیت ماشین کاری فولاد AISI 1045 و فولاد AISI D3 قبل و بعد از انجام عملیات حرارتی آنیل کامل به صورت کمی بررسی شده و نمودارهای نیروی برشی که محور عمودی آن متوسط نیروی برشی  $F_y$  و  $F_x$  و محور افقی آن نرخ پیشروی و یا سرعت دوران اسپیندل می‌باشد در شکل ۸ و ۹ نمایش داده شده است. نمودارهای شکل ۱۰ و ۱۱ نیز تغییرات زبری سطح بر حسب نرخ پیشروی و سرعت دوران اسپیندل را نشان می‌دهد.

در شکل‌های ۱۱-۸ می‌توان اختلاف نیروی برشی و زبری سطح دو فولاد AISI 1045 و AISI D3 را به وضوح مشاهده کرد؛ به این صورت که نیروی برشی فولاد AISI D3 در نرخ پیشروی ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌متر بر دقیقه به ترتیب ۴۳۶/۴، ۵۱۱/۴۸ و ۶۰۴/۴ نیوتون و اختلاف آن با فولاد AISI 1045 به ترتیب ۳۷، ۴۳ و ۳۱ درصد می‌باشد (شکل ۸). برای تایید نتایج نیروی برشی بر حسب نرخ پیشروی، نمودار نیروی برشی بر حسب سرعت دوران اسپیندل ارائه شده و نشان می‌دهد نیروی برشی فولاد AISI D3 با افزایش دوران اسپیندل کاهش یافته و مقدار آن در سرعت دوران ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ دور بر دقیقه به ترتیب ۴۳۶/۴، ۳۲۲/۰۵ و ۲۷۳/۶ نیوتون بوده و نسبت به فولاد AISI 1045 به میزان ۱۱۷، ۵۹/۵ و ۳۹ نیوتون بیشتر است (شکل ۹). نتایج بررسی زبری سطح مطابق شکل ۱۰ بر حسب نرخ پیشروی و شکل ۱۱ بر حسب سرعت دوران اسپیندل، اختلاف چشم‌گیر ۴۵، ۲۵ و ۵۵ درصدی برای نرخ‌های پیشروی به ترتیب ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌متر بر دقیقه و همچنین اختلاف ۴۵، ۵۶ و ۳۲ درصد را برای سرعت دوران‌های ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ دور بر دقیقه نمایش می‌دهد.

این اختلاف در قابلیت ماشین کاری دو فولاد AISI 1045 و AISI D3 تاثیر درصد کربن و عناصر آلیاژی را بر قابلیت ماشین کاری نشان می‌دهد، به گونه‌ای که با افزایش درصد کربن و عناصر آلیاژی قابلیت ماشین کاری به صورت قابل توجهی کاهش یافته است.

برای بررسی تاثیر عملیات حرارتی بر قابلیت ماشین کاری فولاد AISI D3، عملیات حرارتی آنیل کامل انجام شد؛ در شکل ۸ و ۹ به ترتیب می‌توان کاهش ۴۰ و ۱۷ نیوتونی (۹/۲ و ۳/۳ درصد) نیروی

برشی در نرخ پیشروی ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌متر بر دقیقه و همچنین کاهش ۴۰ (۹/۲ درصد)، ۱۷/۲ (۵/۴ درصد) و ۱۰/۶ (۳/۹ درصد) نیوتونی نیروی برشی در سرعت دوران اسپیندل ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ دور بر دقیقه را مشاهده کرد. همچنین بررسی قابلیت ماشین کاری توسط معیار زبری سطح نشان می‌دهد که با انجام عملیات آنیل کامل، زبری سطح نمونه فولاد AISI D3 مطابق با شکل ۱۰ و ۱۱ در نرخ پیشروی ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌متر بر دقیقه به ترتیب  $0.85 \mu\text{m}$  (۲۶/۷ درصد) و  $0.31 \mu\text{m}$  (۲۴/۸ درصد) و در سرعت‌های اسپیندل ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ دور بر دقیقه به ترتیب  $0.85 \mu\text{m}$  (۲۶/۷ درصد)،  $0.42 \mu\text{m}$  (۱۵/۷ درصد) و  $0.2 \mu\text{m}$  (۹ درصد) بهبود یافته است.

این کاهش در نیروی برشی و زبری سطح و در نتیجه بهبود قابلیت ماشین کاری حاصل اصلاح ریزساختار نمونه فولاد AISI D3 با انجام عملیات حرارتی آنیل کامل و افزایش کاربدهای کروی و همچنین تبدیل ۲/۵ درصدی پرلیت به کاربید و فریت، در حین استحاله فازی می‌باشد. حضور فاز فریت که فاز نرمی است، کاهش درصد کربن و عناصر آلیاژی به دلیل افزایش درصد کاربید و همچنین افزایش کاربدهای کروی که کاهش سختی را در پی دارد، باعث بهبود قابلیت ماشین کاری شده است.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق ضمن بررسی تاثیر ترکیب شیمیایی روی قابلیت ماشین کاری با بررسی فولاد ابزار سرد کار AISI D3 و فولاد کربن متوسط AISI 1045، تاثیر انجام عملیات حرارتی آنیل کامل و اصلاح ریزساختار بر قابلیت ماشین کاری فولاد AISI D3 با اندازه‌گیری و تحلیل نیروی برشی در حین انجام فرآیند فرزکاری و زبری سطح پس از انجام فرآیند مورد بررسی قرار گرفت که نشان دهنده بهبود قابلیت ماشین کاری توسط انجام عملیات حرارتی آنیل کامل بود.

### قدردانی

از آقای دکتر بهنام معتکف ایمانی استاد محترم گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد جهت ارائه مشاوره و فراهم آوردن تجهیزات ماشین کاری مورد نیاز برای این پژوهش و آقای مهندس پوریا نعیمی امینی قدردانی می‌گردد.

### منابع

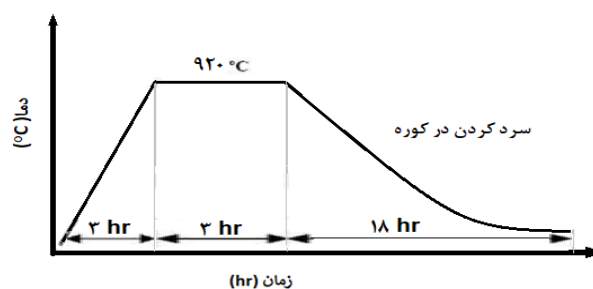
[1] Handbook, Aerospace Structural Metals, "Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys", Volume 1, 2005.

[۲] م.ع. گلعداز، "اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها"، ۱۳۸۵، اصفهان، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.

- [3] Handbook, A. S. M. "Machining, vol. 16", ASM International, Metals Park, 1989.
- [4] American Society of Mechanical Engineers. Standards Committee B46, "Classification, and Designation of Surface Qualities. Surface texture: Surface roughness, waviness and lay", Amer Society of Mechanical, 2003.
- [5]. Y. Isik, "Investigating the machinability of tool steels in turning operations", Materials & design, 2007, 1417-1424.
- [6] L. F. Verdeja, J. I. Verdeja, and R. Gonzalez, "Machinability improvement through heat treatment in 8620 low-carbon alloyed steel", Machining Science and Technology, 2009, 529-542.
- [7] T. Akasawa, I. Fukuda, K. Nakamura, T. Tanaka, "Effect of microstructure and hardness on the machinability of medium-carbon chrome-molybdenum steel", Journal of materials processing technology, 2004, 48-53.
- [8] Y. Ozcatalbas, and F. Ercan. "The effects of heat treatment on the machinability of mild steels", Journal of Materials Processing Technology, 2003, 227-238.
- [9] J. P. Davim, L. Figueira, "Machinability evaluation in hard turning of cold work tool steel (D2) with ceramic tools using statistical techniques" Materials & design, 2007, 1186-1191.
- [10] H. Ding, R. Ibrahim, "Experimental study on machinability improvement of hardened tool steel using two dimensional vibration-assisted micro-end-milling", International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2010, 1115-1118.
- [11] C. Vila, H. R. Siller, C. A. Rodriguez, G. M. Bruscas, J. Serrano, "Economical and technological study of surface grinding versus face milling in hardened AISI D3 steel machining operations", International Journal of Production Economics, 2012, 273-283.
- [12] S. S. Ghazi, K. M. Mashloosh, "Influence of heat treatment on resistance of wear and mechanical properties of die steel kind D3", Am J Sci Indus Res, 2015, 33-40.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی فولادهای مورد آزمایش.

S	P	Al	Cu	Co	Mo	Ni	Cr	Mn	Si	C	نمونه
۰/۰۱۷	۰/۰۱۴	۰/۰۰۴	۰/۱۵	۰/۰۲۴	۰/۰۶	۰/۲۵	۱۱/۲	۰/۱۹	۰/۴۰	۲/۰۰۴	AISI D3
۰/۰۳۴	۰/۰۱۷	۰/۰۰۲	۰/۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۲۲	۰/۷۰	۰/۲۵	۰/۵۰۷	AISI 1045



شکل ۱. سیکل عملیات حرارتی مورد استفاده در این تحقیق.



شکل ۲. نحوه قرارگیری دستگاه های مختلف در آزمایش اندازه گیری نیروی برشی.

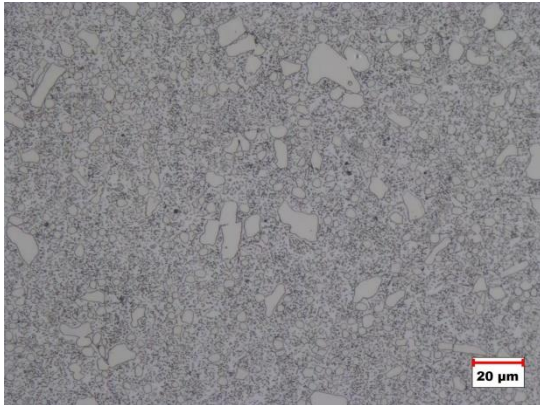


شکل ۳. محل و نحوه قرارگیری ابزار، نمونه، چهار نظام و دیناموتر. شکل ۴. نمایی از ابزار فرز انگشتی.

جدول ۲. شرایط ماشین کاری در آزمایشات تعیین قابلیت ماشین کاری

سطح ۵	سطح ۴	سطح ۳	سطح ۲	سطح ۱	
۳	۳	۳	۳	۳	عمق برش (mm)
۱	۱	۱	۱	۱	عرض برش (mm)
۲۰۰	۲۰۰	۴۰۰	۳۰۰	۲۰۰	نرخ پیشروی (mm/min)
۶۰۰	۵۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	دور اسپیندل (RPM)





شکل ۶. تصویر ریزساختاری فولاد AISI D3 پس از انجام آنیل کامل.



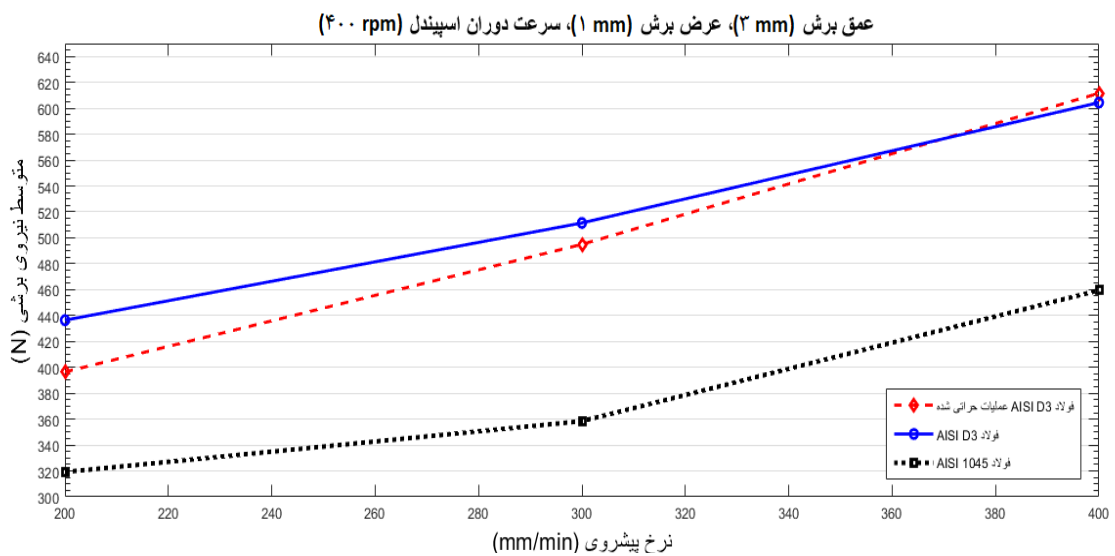
شکل ۵. تصویر ریزساختاری فولاد AISI D3.



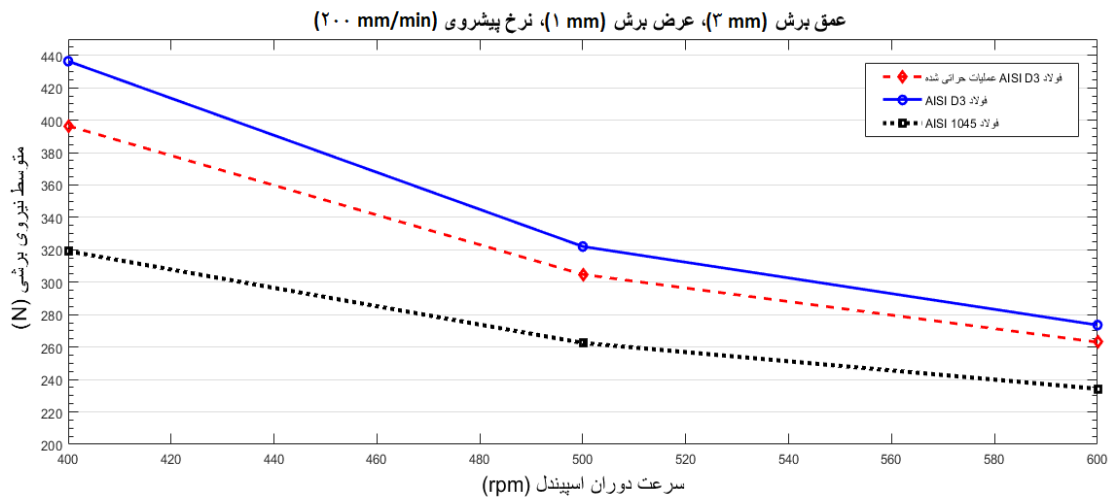
شکل ۷. تصویر ریزساختاری فولاد AISI 1045.

جدول ۳. سختی نمونه‌های مورد استفاده.

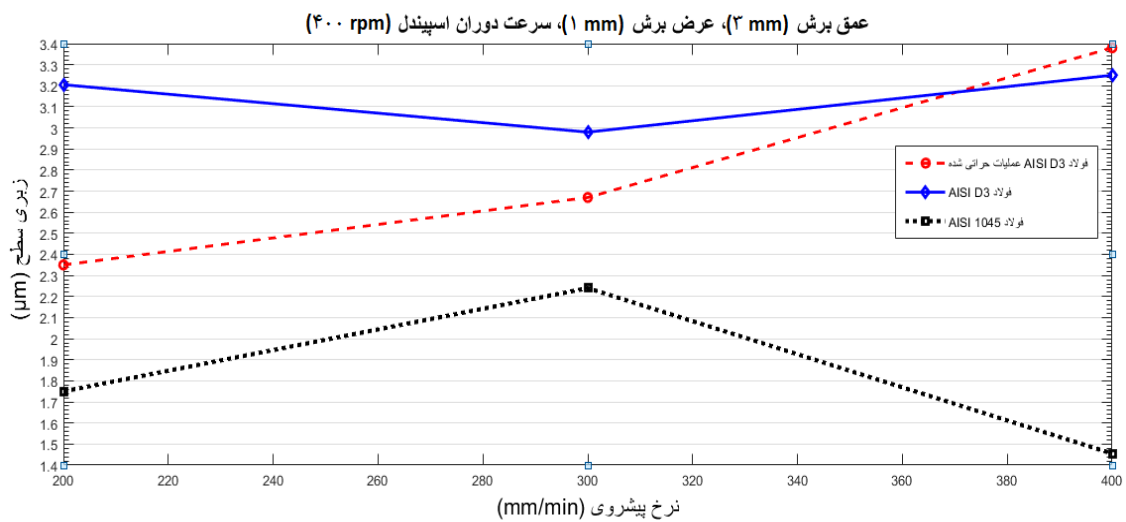
سختی (راکول A)	نمونه
۶۵/۱	فولاد AISI D3
۵۵/۳	فولاد AISI D3 آنیل کامل شده
۵۶/۸	فولاد AISI 1045



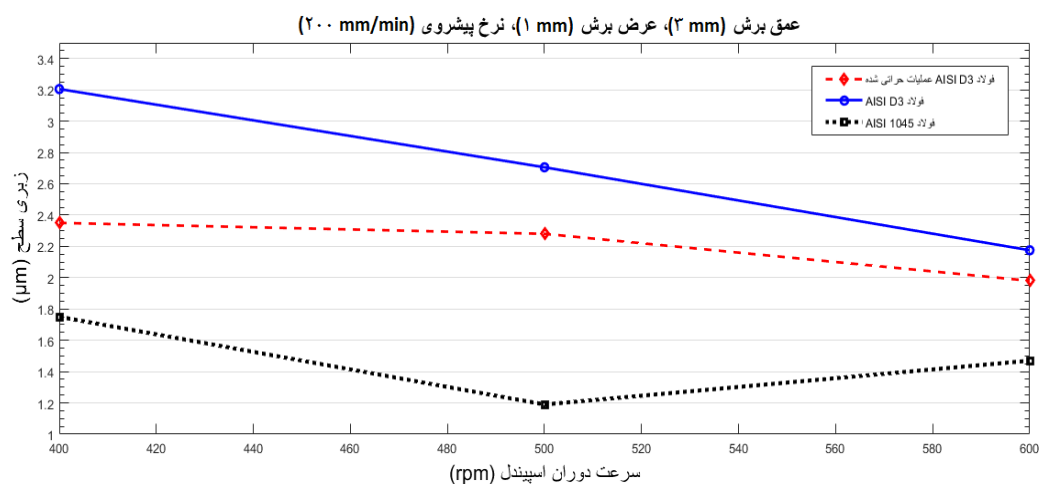
شکل ۸. نمودار متوسط نیروی برشی بر حسب نرخ پیشروی برای سه نوع نمونه فولاد AISI D3 قبل و بعد از عملیات حرارتی و همچنین فولاد AISI 1045.



شکل ۹. نمودار متوسط نیروی برشی بر حسب سرعت دوران اسپیندل نمونه‌های مورد بررسی.



شکل ۱۰. نمودار زبری سطح بر حسب نرخ پیشروی برای سه نوع نمونه فولادی مورد استفاده.



شکل ۱۱. نمودار زبری سطح بر حسب سرعت دوران اسپیندل برای سه نوع نمونه فولادی مورد استفاده.