مجله علمی ترویجی انجمن مهندسان مکانیک ایران
ISSN: 1605-9719
سال ۲۷، شماره ۱۱۹، صفحات ۸–۱۲

تأثیر عملیات تبریدی بر خواص ابزارهای برشی

محمدمهدی ابوترابی[۱ و *]، عارف سلیمی‌نیا[۲]

[۱] استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد
*مسئول مکاتبات: abootorabi@yazd.ac.ir

چکیده

ابزار به‌عنوان یکی از اجزای اصلی در سیستم‌های ماشین‌کاری، نقش مهمی در موفقیت آمیز بودن عملیات براده‌برداری بر عهده دارد. سختی زیاد، مقاومت در برابر سایش و خوردگی، چقرمگی زیاد و سختی زیاد در دمای بالا از ویژگی‌های یک ابزار برشی مناسب محسوب می‌شود. در این مقاله، ابتدا عملیات تبریدی به‌عنوان یکی از روش‌های خنک‌کاری تبریدی معرفی شده و سپس با توجه به تحقیق‌های منتشر شده در این زمینه، تأثیر این روش بر خواص ابزارهای برشی مورد بررسی قرار گرفته است. عملیات تبریدی در زمینه‌های مختلفی کاربرد دارد. یکی از کاربردهای عملیات تبریدی، افزایش کارایی ابزارهای برشی است. عملیات تبریدی ابزارهای برشی باعث تغییر در خواص متالورژیکی و مکانیکی آن‌ها مانند افزایش سختی، بهبود ضریب هدایت حرارتی و مقاومت به سایش می‌شود. در ابزارهای فولادی، با کاهش مقدار آستنیت باقی‌مانده، سختی و مقاومت به سایش ابزار افزایش می‌یابد. علت بهبود برخی از خواص ابزارهای کاربایدی، افزایش حجم ذرات فاز اِتا (η) است.

واژگان کلیدی

عملیات تبریدی
ابزار برشی
کارباید
خواص مکانیکی

تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۱/۲۶
تاریخ پذیرش ۱۳۹۷/۰۵/۰۱

۱ مقدمه

برای ساخت ابزارهای برشی در صنعت ابزارسازی، از مواد مختلفی مثل فولاد تندبر، کاربایدها و سرامیک‌ها استفاده می‌شود. جنس‌های مختلف ابزار به‌تنهایی قادر به برآورده ساختن همه خواص مورد نیاز یک ابزار مناسب به‌صورت هم‌زمان نیستند. به همین دلیل برای بهبود کارایی ابزارهای برشی، از دیگر فرآیندها کمک گرفته می‌شود. افزایش کارایی ابزار یکی از عوامل مهم کاهش هزینه‌های تولید محسوب می‌شود. با افزایش کارایی ابزار از طریق بهبود خواص آن، ماشین‌کاری با سرعت‌های بیشتر و نرخ براده‌برداری بالاتر امکان‌پذیر می‌شود و در نهایت منجر به بهبود بهره‌وری فرآیند ماشین‌کاری می‌گردد. یکی از فرآیندهایی که به‌عنوان فرآیند کمکی برای بهبود عملکرد ابزار برشی مورد استفاده قرار می‌گیرد، عملیات تبریدی[۱] 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. خنک‌کاری تبریدی در ماشین‌کاری به عنوان یکی از روش‌های سازگار با محیط زیست به چهار روش انجام می‌شود:

الف) روش پیش سرد کردن قطعه کار 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 سطح زیر 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 [۱].

اخباری زاده و همکاران اثر عملیات تبریدی بر مقاومت در برابر سایش و سختی فولاد ابزار D6 را بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که عملیات تبریدی تأثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش آستنیت باقی‌مانده، توزیع همگن کارباید، افزایش سختی و بهبود مقاومت به سایش ابزار دارد. افزایش ۶۸ درصدی مقاومت به سایش ابزار توسط آن‌ها گزارش شده است [۲]. یانگ[۲] و دینگ[۳] به‌صورت 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 [۳]. گیل[۴] و همکاران در بررسی اثر عملیات تبریدی بر خواص متالورژیکی و مکانیکی ابزاری از جنس فولاد تندبر HSS AISI M2 نشان دادند که عملیات تبریدی باعث افزایش سختی، کاهش نرخ سایش، توزیع یکنواخت کارباید و بهبود خواص مکانیکی ابزار می‌شود [۴]. اوزبک[۵] و همکاران از عملیات تبریدی به عنوان فرآیندی مکمل جهت بهبود کارایی ابزار، به‌منظور بررسی تأثیر آن بر ارتفاع آستانه فرسایش و عمق گودال فرسایش ابزاری از جنس تنگستن کارباید استفاده کردند. آن‌ها علاوه‌بر افزایش سختی و بهبود ضریب هدایت حرارتی ابزار برشی، کاهش ۲۹ درصدی ارتفاع آستانه فرسایش و ۶۷ درصدی عمق گودال فرسایش را نیز گزارش کرده‌اند [۵]. راو[۶] و همکاران

[1] Cryogenic Treatment [2] Yong [3] Ding [4] Gill [5] Ozbek [6] Rao

در تراشکاری کامپوزیت Al6061(fly-ash) با ابزار تنگستن کارباید k10 عملیات تبریدی شده در نرخ‌های پیشروی مختلف نشان دادند که این فرآیند باعث بهبود مقاومت به سایش، کارایی بهتر ابزار و افزایش عمر ابزار به مقدار ۳۳ تا ۹۵ درصد می‌شود [۶]. سینگا[1] و گرور[2] 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 [۷].

در این مقاله، فرآیند عملیات تبریدی که یکی از روش‌های خنک‌کاری تبریدی است به عنوان یک روش کمکی جهت بهبود و تغییر خواص ابزارهای برشی، معرفی شده است. با توجه به مطالعاتی که توسط محققان در این زمینه صورت گرفته، تأثیر فرآیند عملیات تبریدی بر ابزارهای فولادی و کاربایدی نیز در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

۲ نیتروژن مایع

نقطه جوش گازهای پایدار مثل هلیوم، نئون، هیدروژن، نیتروژن و اکسیژن به کمتر از ۱۸۰– درجه سانتی‌گراد می‌رسد. این گازها در صنایعی مثل پزشکی، الکترونیک، خودروسازی و هوافضا به‌عنوان خنک‌کار مورد استفاده قرار می‌گیرند. در بین این گازها، نیتروژن مایع بیش‌ترین کاربرد را در خنک‌کاری دارد. نیتروژن فراوان‌ترین گاز موجود در هوا و گازی بی‌بو، بی‌رنگ، بی‌مزه و غیر سمی است. نیتروژن مایع، حالت مایع عنصر نیتروژن و دارای چگالی ۸۰۷ کیلوگرم بر متر مکعب است. در فشار جو، نیتروژن مایع در ۱۹۶– درجه سانتیگراد به جوش می‌آید و به گاز نیتروژن تبدیل می‌شود. نیتروژن مایع به وسیله تقطیر جزء به جزء هوا تولید می‌شود. تقطیر جزء به جزء، روشی برای جداسازی اجزای یک مخلوط است و با استفاده از حرارت صورت می‌گیرد. نیتروژن مایع علاوه‌بر نداشتن عیوب روانکارهای رایج مثل ایجاد مشکلات پوستی، آلودگی محیط زیست و تولید بخارهای سمی، دارای قدرت خنک‌کنندگی بسیار بالایی است. این خصوصیات باعث شده که از نیتروژن مایع به‌عنوان یک خنک‌کننده کارآمد و سازگار با محیط زیست یاد شود.

۳ عملیات تبریدی

روش‌های مختلفی برای بهبود خواص و افزایش کارایی ابزارهای برشی وجود دارد. کارایی ابزار را می‌توان از طریق پوشش‌دهی ابزار برشی، استفاده از سیال برشی در حین براده‌برداری و عملیات تبریدی افزایش داد. عملیات تبریدی یکی از روش‌های خنک‌کاری تبریدی است. این فرآیند به‌عنوان عملیات زیر صفر شناخته می‌شود. فرآیند عملیات تبریدی شامل نگهداری نمونه‌ها در دمای پایین برای مدت زمان معین، سپس گرم کردن تا دمای اتاق می‌شود. این عملیات سهم قابل توجهی در بهبود مقاومت در برابر سایش، عمر ابزار، ثبات ابعادی و کیفیت قطعه‌های تولیدی دارد [۷]. عملیات تبریدی قادر به بهبود خواص بسیاری از مواد از جمله فلزها، آلیاژها، پلیمرها، کاربایدها، سرامیک‌ها و کامپوزیت‌ها است [۸]. در عملیات تبریدی، نمونه توسط واحد کنترل با استفاده از گازهایی مثل نیتروژن و هلیوم تا دمایی بین ۸۰– تا ۱۹۶– درجه سانتی‌گراد به آرامی سرد و پس از یک مکث زمانی در آن دما برای زمانی معین، نمونه تحت عملیات حرارتی قرار می‌گیرد [۹]. اگر عملیات تبریدی در دمایی بین ۸۰– تا ۱۴۰– درجه سانتی‌گراد انجام شود، عملیات تبریدی سطحی و اگر در دمایی بین ۱۴۰– تا ۱۹۶– درجه سانتی‌گراد به کار گرفته شود، عملیات تبریدی عمیق نامیده می‌شود. عملیات تبریدی شامل چهار مرحله‌ی

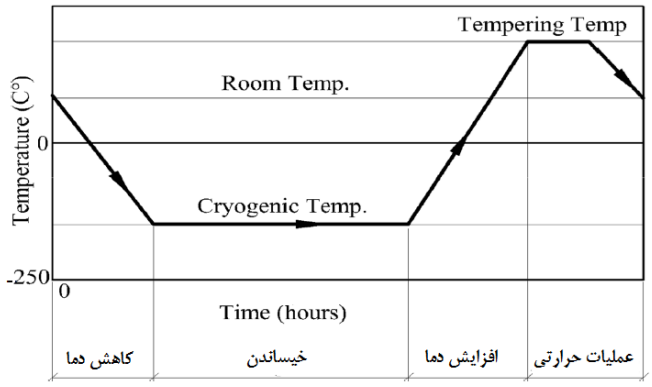
الف) کاهش دما[3]،

ب) دوره خیساندن[4]،

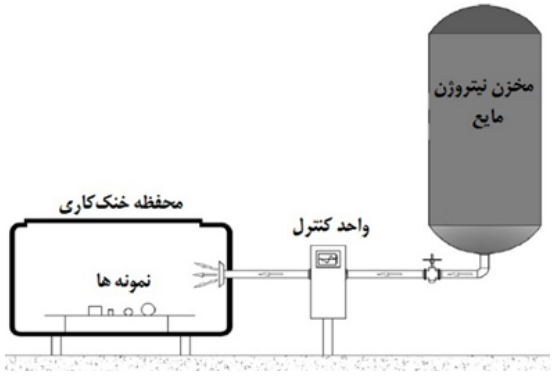
ج) افزایش دما[5] و

د) عملیات حرارتی[6]

می‌شود [۱۰]. روش انجام عملیات تبریدی در شکل ۱ نشان داده شده است. شکل ۲ تجهیزات مورد نیاز در عملیات تبریدی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، برای خنک‌کاری و کاهش دمای محفظه خنک‌کاری که ابزارها در آن قرار می‌گیرند از نیتروژن مایع استفاده می‌شود. واحد کنترل وظیفه کنترل و برنامه‌ریزی تغییرات دما را بر عهده دارد.



شکل ۱: روش انجام فرآیند عملیات تبریدی [۱۰]



شکل ۲: شماتیک تجهیزات مورد نیاز عملیات تبریدی [۱۰]

اولین مرحله از عملیات تبریدی، مرحله کاهش دما است. دما را باید به آرامی کاهش داد چون افت سریع دما باعث به‌وجود آمدن ترک‌های بسیار ریز در ابزار می‌شود [۱۱]. یکی از مهم‌ترین پارامترهای عملیات تبریدی، دوره خیساندن است. این سیکل زمانی، تبدیل آستنیت به مارتنزیت، تشکیل کاربید جدید و توزیع آن در ساختار مارتنزیت را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۲]. این

[1]Singh [2]Grove [3]Ascend [4]Soaking Period [5]Descend [6]Tempering Process

دوره، زمانی بین ۱ تا ۴۰ ساعت را به خود اختصاص داده و در دمایی بین ۸۰– تا ۱۹۶– درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود [۱۰]. 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 سانتی‌گراد به مدت ۱/۵ تا ۲ ساعت طول می‌کشد. از عملیات حرارتی به‌منظور از بین بردن تنش‌های داخلی که به‌علت سرد شدن بیش از حد ابزار به‌وجود آمده است استفاده می‌شود [۱۳]. عملیات تبریدی به‌علت پایداری ترمودینامیکی ساختار کریستالی در دمای پایین باعث کاهش نقص‌های بلوری، توزیع مجدد المان‌های مختلف موجود در ساختار شبکه کریستالی به‌علت تغییر در قابلیت حل ساختار شبکه کریستالی و یکنواخت‌تر شدن فضای بین اتمی به‌علت برداشته شدن انرژی از ساختار کریستالی می‌شود [۱۴].

۴ تأثیر عملیات تبریدی بر ابزارهای برشی

۱.۴ تأثیر عملیات تبریدی بر ابزارهای فولادی

از بین موادی که به‌عنوان جنس ابزار مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توان فولاد تندبر را نام برد. فولاد تندبر جزء نسل‌های اول ابزارهای برشی محسوب می‌گردد ولی هنوز در صنعت ماشین‌کاری از آن استفاده می‌شود. در ابزارهای فولادی، استحاله یا تبدیل آستنیت به مارتنزیت به‌طور کامل صورت نمی‌گیرد. به آستنیتی که بعد از عملیات حرارتی در ساختار فولاد باقی می‌ماند آستنیت باقیمانده می‌گویند. آستنیت، فازی نرم است و برای افزایش عمر ابزار باید مقدار آن کاهش یابد [۱۵]. دو مکانیزم اصلی در عملیات تبریدی فولادها رخ می‌دهد،

الف) تبدیل آستنیت باقی‌مانده به مارتنزیت که بسیار سخت و شکننده است. مقاومت ساختار مارتنزیت در مقابل تغییر شکل پلاستیک بسیار بهتر از ساختار آستنیت است. عملیات حرارتی مارتنزیت باعث افزایش مقاومت به ضربه‌ی آن می‌شود.

ب) عملیات تبریدی فولادهای پر آلیاژ از جمله فولادهای ابزار باعث شکل‌گیری تکه‌های بسیار ریز کاربید می‌شود.

این تکه‌های کوچک کاربید در ساختار مارتنزیت بین تکه‌های بزرگتر کاربید موجود در فولاد پراکنده می‌شوند. این ذرات ریز در ساختار مارتنزیت به فولاد کمک می‌کند تا مقاومت به سایش آن افزایش پیدا کند. شکل‌گیری کاربید در ساختار مارتنزیت باعث به‌وجود آمدن ماده‌ای پایدارتر، همگن‌تر، سخت‌تر، مقاوم‌تر در برابر سایش و چقرمه‌تر می‌شود [۱۶]. فیروزدور و همکاران به بررسی اثر عملیات تبریدی بر سایش ابزار در سوراخ‌کاری سرعت بالا با مته M2 HSS پرداختند [۱۷]. آن‌ها نتیجه گرفتند که عملیات تبریدی باعث بهبود ۷۷ تا ۱۲۶ درصدی عمر ابزار می‌شود (شکل ۳). طبق شکل ۳ با افزایش تعداد سوراخ‌های ایجاد شده، سایش ابزار افزایش می‌یابد ولی سایش ابزاری که تحت عملیات تبریدی قرار گرفته است کمتر از ابزار معمولی است. در پژوهشی دیگر، چیچک[1] و همکاران تأثیر عملیات تبریدی بر صافی سطح، نیروی محوری، سایش و عمر ابزار در سوراخ‌کاری فولاد زنگ‌نزن آستنیتی AISI 304 با ابزاری از جنس M30 HSS را مورد بررسی قرار دادند [۱۸]. آن‌ها بیان کردند که ابزار عملیات تبریدی شده در مقایسه با ابزار معمولی دارای سایش ابزار و نیروی محوری کمتر، صافی سطح بهتر و عمر ابزار بالاتری است. شکل ۴ نیروی محوری در سرعت‌های برشی مختلف و نرخ پیشروی ۰/۰۶ میلی‌متر بر دور را نشان می‌دهد. همان‌طور که واضح است با افزایش سرعت برشی، ابتدا روند تغییر نیروی محوری کاهشی است ولی در ادامه با افزایش سرعت برشی روند افزایشی است و کمترین نیروی محوری در سرعت برشی ۱۲ متر بر دقیقه مشاهده می‌شود. در تمام سرعت‌های برشی، مقدار نیروی محوری برای ابزاری که تحت عملیات تبریدی قرار گرفته، کمتر از ابزار معمولی است. چیچک و همکاران علت کاهش نیروی محوری هنگام سوراخ‌کاری با ابزار عملیات تبریدی شده را کاهش سایش و دمای نوک ابزار دانستند. در شکل ۵ زبری سطح در سرعت‌های برشی مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در سرعت‌های برشی مختلف، صافی سطح قطعه‌کارهایی که با ابزار عملیات تبریدی شده ماشین‌کاری شده است کمتر از ابزار معمولی است. با افزایش سرعت برشی از ۱۲ تا ۱۶ متر بر دقیقه، میزان زبری سطح افزایش پیدا کرده است و بیشترین و کمترین مقدار زبری به‌ترتیب در سرعت‌های برشی ۱۰ و ۱۲ متر بر دقیقه مشاهده می‌گردد.

۲.۴ تأثیر عملیات تبریدی بر ابزارهای کاربایدی

ابزارهای کاربایدی کاربرد فراوانی در صنعت ماشین‌کاری دارند. این ابزارها به روش متالورژی پودر تولید می‌شوند. در ساخت ابزارهای کاربایدی، کبالت به مقدار ۳ تا ۲۰ درصد به‌عنوان چسب مورد استفاده قرار می‌گیرد. خواص ابزارهای کاربایدی به‌طور قابل ملاحظه‌ای به مقدار کبالت بستگی دارد. با افزایش مقدار کبالت، چقرمگی افزایش پیدا می‌کند ولی مقدار سختی و استحکام کاهش می‌یابد [۱۹]. 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 کاربایدهای شبکه مکعبی

(TaC, TiC, NbC, WC)

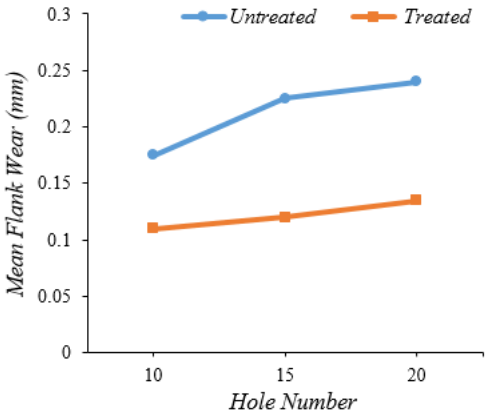
د) فاز اِتا (η) یا کمپلکس[2] کاربایدی چندگانه

{Co3W3C (M6C), Co6W6C (M12C)} [۱۶].

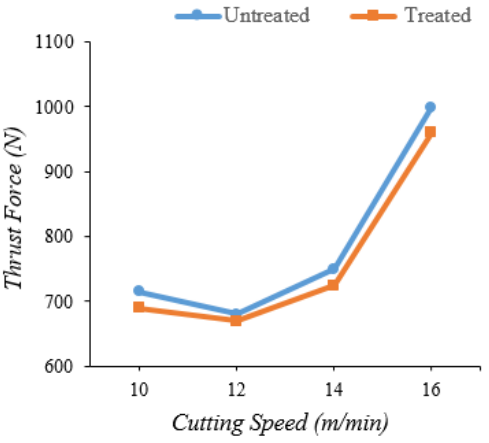
عملیات تبریدی با تغییر فاز کبالت باعث می‌شود که خاصیت چسبندگی آن در طول عملیات ماشین‌کاری تا مدت زمان بیش‌تری حفظ شود [۲۰]. در طول فرآیند عملیات تبریدی، مقدار فاز اِتا (η) که سخت‌تر از بقیه فازها است بیش‌تر می‌شود که علاوه‌بر سختی، چقرمگی شکست را نیز افزایش می‌دهد. با افزایش مقدار فاز اِتا و پر کردن فضاهایی که قبلاً با چسب پر شده، قابلیت هدایت حرارتی تنگستن کارباید افزایش می‌یابد [۱۳]. افزایش قابلیت هدایت حرارتی باعث کاهش دمای نوک ابزار و در نهایت، کاهش سایش آن می‌شود.

[1] Cicek [2] Complex

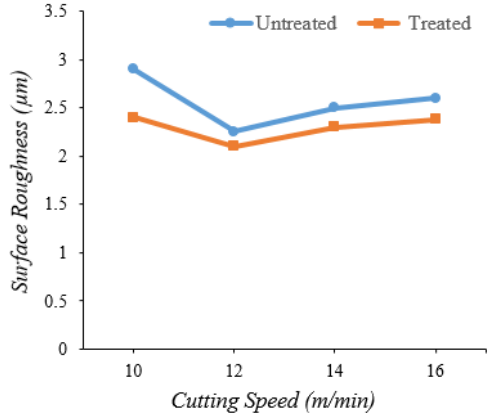
سریرامارددی[1] و همکاران به‌صورت تجربی به بررسی اثر عملیات تبریدی تنگستن کارباید بر سایش ابزار، نیروی برش و زبری سطح در تراشکاری فولاد CK45 پرداختند [۲۱]. بهبود مقاومت در برابر سایش، کاهش نیروی برش و زبری سطح توسط آن‌ها گزارش شده است. آن‌ها بیان کردند که هنگام استفاده از ابزار عملیات تبریدی شده، به‌علت کاهش سایش و دمای نوک ابزار، نیروی برش کاهش می‌یابد.



شکل ۳: مقایسه عمر ابزار بر حسب تعداد سوراخ با ابزار عملیات تبریدی شده و معمولی [۱۷]

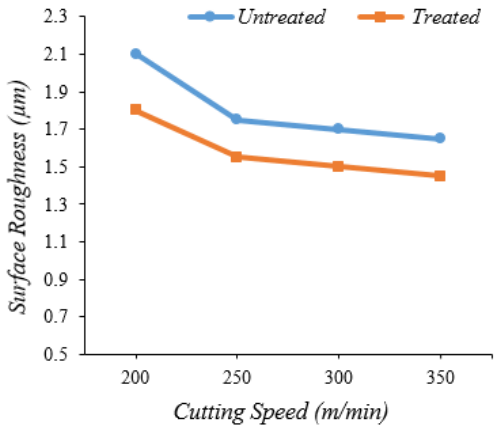


شکل ۴: مقایسه نیروی محوری در سرعت‌های برشی مختلف با ابزار عملیات تبریدی شده و معمولی [۱۸]

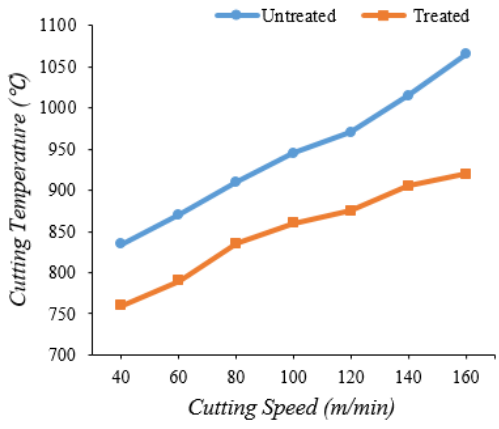


شکل ۵: مقایسه صافی سطح در سرعت‌های برشی مختلف با ابزار عملیات تبریدی شده و معمولی [۱۸]

در شکل ۶ نمودار زبری سطح در سرعت‌های برشی مختلف که توسط این محققان به‌دست آمده نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش سرعت برشی، زبری سطح کاهش می‌یابد ولی زبری سطح قطعه‌کارهایی که با ابزار عملیات تبریدی شده براده‌برداری شده است در مقایسه با ابزار معمولی کمتر است. هی[2] و همکاران تغییرات دمای برش و سایش ابزار، نیروی مماسی و زبری سطح در تراشکاری فولاد AISI 5140 با ابزار کاربایدی عملیات تبریدی شده و معمولی در عمق برش ۱ میلی‌متر، نرخ پیشروی ۰/۱ میلی‌متر بر دور و سرعت‌های برشی مختلف را مورد بررسی قرار دادند [۲۲]. آن‌ها ابزار کاربایدی بدون پوشش را به‌مدت ۳۰ ساعت در دمای ۱۹۶– درجه سانتی‌گراد نگهداری کردند. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که انجام عملیات تبریدی روی ابزار برشی در مقایسه با ابزار برش معمولی باعث کاهش زبری سطح قطعه‌کار تا ۱۰/۷ درصد و نیروی برش تا ۳۳/۸ درصد می‌شود. شکل ۷ دمای برش در عمق برش و نرخ پیشروی ثابت و سرعت‌های برشی مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، با افزایش سرعت برشی، دما نیز سیر صعودی دارد و در تمام سرعت‌های برشی، مقدار دمای برش در ابزاری که تحت عملیات تبریدی قرار گرفته است کمتر از ابزار معمولی است. دمای برش با ابزار عملیات تبریدی شده از ۱۰/۷ تا ۱۶/۳ درصد نسبت به ابزار معمولی کاهش پیدا کرده است.



شکل ۶: مقایسه زبری سطح در سرعت‌های برشی مختلف با ابزار عملیات تبریدی شده و معمولی [۲۱]



شکل ۷: مقایسه دمای برش در سرعت‌های برشی مختلف با ابزار عملیات تبریدی شده و معمولی [۲۲]

[1] Sreeramareddy [2] He

۵ نتیجه‌گیری

چقرمگی، سختی و مقاومت به سایش از مهم‌ترین خواص ابزارهای برشی به‌شمار می‌روند. در این مقاله، تأثیر عملیات تبریدی به‌عنوان یکی از روش‌های بهبود خواص ابزار برشی بر کارایی ابزارهای کاربایدی و فولادی مورد بررسی قرار گرفته است. عملیات تبریدی علاوه‌بر کاربرد در زمینه افزایش کارایی ابزارهای برشی، برای بهبود خواص بسیاری از مواد از جمله فلزها، پلیمرها و کامپوزیت‌ها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. با تغییر و بهبود خواص ابزار در اثر عملیات تبریدی، کارایی ابزار برشی افزایش می‌یابد. با توجه به نوع جنس ابزار، علت‌های متفاوتی برای تغییر خواص آن‌ها وجود دارد. در ابزارهای فولادی، تبدیل آستنیت باقی‌مانده به مارتنزیت و تشکیل کاربید جدید، علت بهبود خواص ابزار برشی است. علت تغییر خواص ابزار تنگستن کارباید، افزایش مقدار فاز اِتا (η) است. با تشکیل فاز اِتا در ابزارهای تنگستن کارباید، علاوه‌بر افزایش سختی و چقرمگی، قابلیت هدایت حرارتی ابزار نیز افزایش می‌یابد. با افزایش قابلیت هدایت حرارتی ابزار کاربایدی، عمر آن به‌علت کاهش دما و در نتیجه کاهش سایش ابزار، افزایش می‌یابد.

مراجع

[1] Y. Yildiz, M. Nalbant, A review of cryogenic cooling in machining processes, Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 48, pp. 947-964, 2008.

[2] A. Akhbarizadeh, A. Shafyei, M. A. Golozar, Effects of cryogenic treatment on wear behavior of D6 tool steel. Materials and Design, Vol. 30, pp. 3259–3264, 2009.

[3] J. Yong, C. Ding, Effect of cryogenic treatment on WC–Co cemented carbides, Materials Science and Engineering, Vol. 528, pp. 1735-1739, 2011.

[4] S. S. Gill, J. Singh, R. Singh, H. Singh, Effect of Cryogenic Treatment on AISI M2 High Speed Steel: Metallurgical and Mechanical Characterization, Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 21, pp. 1320-1326, 2012.

[5] N. A. Ozbek, A. Cicek, M. Gulesin, O. Ozbek, Investigation of the effects of cryogenic treatment applied at different holding times to cemented carbide inserts on tool wear, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 86, pp. 34-43, 2014.

[6] P. Rao, M. Bhagyashekar, N. Viswanathc, M. A review of cryogenic cooling in machining processes. Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 97, pp. 930-940, 2014.

[7] A. singha, N. k. groverb, Wear Properties of Cryogenic Treated Electrodes on Machining Of En-31, Materials Today: Proceedings, Vol. 2, 1406-1413, 2015.

[8] B. Podgornik, V. Leskovsek, J. Vizintin, Influence of deep cryogenic treatment on tribological properties of P/M high-speed steel, Materials and Manufacturing Processes, Vol. 24, pp. 734-738, 2009.

[9] D. Senthilkumar, I. Rajendran, 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.

[10] S. Akincioglu, H. Gokkaya, I. Uygur, A review of cryogenic treatment on cutting tools, International Journal of Advanced Manutacturing Technology, Vol. 78, pp. 1609-1627, 2015.

[11] A. Y. L. Yong, K. H. W. Seah, M. Rahman, Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide tools in turning. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 46, pp. 2051-2056, 2006.

[12] W. Reitz, J. Pendray, Cryoprocessıng of materials: a review of current status. Materials and Manufacturing Processes, Vol. 16, pp. 829-840, 2001.

[13] S. G. Simranpreet, S. Jagdev, S. Rupinder, S. Harpreet, Metallurgical and mechanical characteristics of cryogenically treated tungsten carbide (WC–Co), International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 58, pp. 119-131, 2012.

[14] D. Fredrick, P. Rozalia, Cold Facts about Cryogenic Processing, Heat Treating Progress, pp. 33-36, 2009.

[15] L. D. Mohan, S. Renganarayanan, A. Kalanidhi, Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steel, Cryogenics, Vol. 41, pp.149-55, 2001.

[16] A. S. Chopra, V. G. Sargade, Metallurgy behind the Cryogenic Treatment of Cutting Tools: An Overview, Materials Today: Proceeding, Vol. 2, pp. 1814-1824, 2015.

[17] V. Firouzdor, E. Nejati, F. Khomamizadeh, Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 206, pp. 467-472, 2008.

[18] A. Cicek, T. Kivak, I. Uygur, E. Ekici, Y. Turgut, Performance of cryogenically treated M35 HSS drills in drilling of austenitic stainless steels, International Journal Advance Technology, Vol. 60, pp. 65-73, 2011.

[19] I. Davim, J. Paulo, Machining: fundamentals and recent advances, Springer, 2008.

[20] S. Simranpreet, H. S. Gill, S. Rupinder, S. Jagdev, Flank Wear and Machining Performance of Cryogenically Treated Tungsten Carbide Inserts, Materials and Manufacturing Processes, Vol. 26, pp. 1430-144, 2011.

[21] T. V. Sreeramareddy, T. Sornakumar, M. Venkataramareddy, R. Venkatram, Machinability of C45 steel with deep cryogenic treated tungsten carbide cutting tool inserts, International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, Vol. 27, pp. 181–185, 2009.

[22] H .B. He, W. Q. Han, H. Y. Li, J. Yang, T. Gu, T. Deng, Effect of Deep Cryogenic Treatment on Machinability and Wear Mechanism of TiAlN Coated Tools during Dry Turning, International Journal of Precion Engineering Manufacturing, Vol. 15, pp. 655-660, 2014.