سختکاری فولاد 16MnCr5 و Ck45 در ابزارهای خاک‌ورز

نیلوفر دستمزد[*۱]، علی اسحق بیگی[۱] و فخرالدین اشرفی زاده[۲]

۱- بترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، Email: n.dastmozd@ag.iut.ac.ir

۲- استاد دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده:

یکی از عوامل اصلی محدودکننده عمر و کیفیت ابزارهای خاک‌ورز، سایش است. سایش ابزارهای خاک‌ورزی دارای مشخصه-های منحصر به‌فردی است. موادی که در ساخت تیغه های ادوات خاک‌ورز بکار می‌روند، در حین کار، تحت سایش شدید توسط ذرات ساینده خاک با بافت گوناگون و رطوبت مختلف قرار می‌گیرند. در بیشتر موارد، آلیاژهای به‌کار رفته در ساخت ابزارهای خاک-ورز خواص ضد سایشی کافی را ندارند، لذا به‌کار گیری روش‌های مهندسی سطح، به منظور افزایش مقاومت سایشی، ضروری است. عملیات حرارتی و سخت‌کاری از روش‌های معمول جهت افزایش مقاومت سایشی ابزار خاک‌ورز است. در مقاله حاضر، با بررسی عوامل مؤثر بر سایش خراشان و معرفی روش‌های سختکاری ابزار خاک‌ورز، سختکاری دو نوع فولاد سمانته 16MnCr5و فولاد کربنی Ck45 در ابزارهای خاک‌ورز مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با انجام عملیات حرارتی مختلف، فولاد 16MnCr5 قابلیت حصول سختی بیشتری نسبت به فولاد Ck45 را دارد. انجام عملیات کربن‌دهی گازی روی فولاد 16MnCr5، سختی سطحی این فولاد را به میزان سختی مطلوب ابزار خاک‌ورز نزدیک‌تر کرده و از طرفی به دلیل داشتن منگنز نسبت به سایش مقاوم‌تر و به دلیل کم کربن بودن دارای مغزی نرم‌تر و در نتیجه ضربه پذیرتر است که برای ابزار خاک‌ورز مناسب‌تر می-باشد.

کلمات کلیدی: سایش خراشان، سختکاری سطحی، عملیات حرارتی.

مقدمه:

عملیات خاک‌ورزی مقادیر زیادی انرژی برای برش، شکستن، برگرداندن لایه‌های خاک، کاهش اندازه کلوخه‌ها و از بین بردن ساختار متراکم خاک نیاز دارد که سبب سایش قابل ملاحظه‌ای در ابزار خاک‌ورزی می‌شود(Horv *et al*., 2008). این نوع سایش از نوع سایش خراشان[1] است و زمانی اتفاق می‌افتد که از دو جسم در تماس که نسبت به یکدیگر حرکت دارند، یکی سخت‌تر یا دارای ذرات سخت‌تر باشد (کسرایی و صبور روح اقدم، ۱۳۸۳). انجام عملیات شخم با تیغه‌های ساییده شده، موجب فشردگی خاک، کاهش عمق شخم، افزایش هزینه سوخت و استهلاک لاستیک تراکتور می‌شود. از این رو دست‌یافتن به هر دو خاصیت سختی و مقاومت به سایش، نیاز پایه هر ابزار خاک‌ورز است. عملیات حرارتی، یک از روش‌هایی است که در دستیابی به این خواص مکانیکی نقش دارد. مهم‌ترین عملیات حرارتی عبارتند از: تنش‌زدایی، آنیل کردن، نرماله کردن، سختکاری، تمپرینگ، آستمپرینگ و سختکاری سطحی(ZumGahr, 1987). در کلیه روش‌های مذکور، خواص مکانیکی اصلی نظیر استحکام مکانیکی، مقاومت به ضربه[2] و غیره تغییر می‌کند و پوشش سطحی ایجاد شده مقاومت سایشی را افزایش می‌دهد. معمول‌ترین روش ارزیابی سایش در ابزار خاک‌ورز، استفاده از آزمون‌های مزرعه‌ای و یا استفاده از دستگاه سایش خراشان چرخ لاستیکی و ذرات ساینده می‌باشد. میزان سایش ابزار خاک‌ورزی توسط ذرات ساینده خاک، وابسته به خواص مکانیکی و ساختاری موادی است که ابزارهای خاک‌ورز از آن تهیه شده است. نوع بافت خاک و همچنین شرایط کار از قبیل عمق کار و محتوای رطوبتی خاک نیز موثر می‌باشد (تیمناک و همکاران.، ۱۳۸۸). برای دسترسی به کم‌ترین نرخ سایش، سختی ابزارهای خاک‌ورز باید بیشتر از ۵۵۰HV باشد(Gupta *et al*., 2004). مقدار سایش تابعی از سختی سطح است، بنابراین، هرچه سطح تیغه سخت‌تر باشد ساییدگی آن کم‌تر خواهد بود (Prasad and Prasad, 1991).

درصد عناصر آلیاژی موجود در فولاد نیز موجب تغییر در خواص مکانیکی آن می‌گردد. کاهش سایش وابستگی زیادی به محتوی اولیه کربن فولاد، عناصر آلیاژی و پوشش‌های ایجاد شده در طی عملیات حرارتی، خنک سازی و کار گرم دارد. عناصر آلیاژی نظیر کرم، نیکل و منگنز مقاومت سایشی فولاد را بهبود می‌بخشد؛ اما افزایش میزان کربن در فولاد، نرخ سایش را افزایش می‌دهد(Gupta *et al*., 2004). ابزارهای خاک‌ورز که در معرض سایش خراشان کم تنش هستند معمولا از فولادهای کربنی یا کم آلیاژ ساخته می‌شوند. عمر قطعه تحت سایش با عملیات سطحی نظیر پاشش رنگ و غیره و نیز عملیات حرارتی افزایش می‌یابد. نیتراته کردن سطوح صفحه برگردان خاک‌ورز برگردان‌دار، موجب افزایش سختی سطح، مقاومت به سایش و خوردگی می‌شود و به دلیل افزایش عمر قطعه، هزینه کاهش می‌یابد(Polak *et al*., 1988). تیان و همکاران (۱۹۸۹) با آزمایش‌های مزرعه‌ای و آزمایشگاهی نشان دادند که مقاومت سایشی تیغه‌های خاک‌ورز که سطح آن‌ها با ضخامت ۱۶۰ میکرون توسط بور پوشش داده

[1] Abrasive wear

[2] Toughness

شده بود نسبت به تیغه‌های فولادی بدون پوشش در آزمایشگاه ۹ برابر و در مزرعه ۳۲ برابر و عمر این تیغه‌ها نسبت به تیغه‌هایی که به صورت همدما کوئنچ[۳] گردیده بودند بیش از ۱۵ برابر بود (Tian *et al.*, 1989). ژو و همکاران (۱۹۹۸) بیان نمودند که پوشش دادن سطوح ابزار کشاورزی با لایه بور، مقاومت به سایش را افزایش می‌دهد ولی لایه بور بسیار شکننده می‌باشد. بنابراین استفاده از لایه کروم بر روی لایه بور مقاومت سایشی ابزار کشاورزی را ۳۱ تا ۶۸ درصد نسبت به لایه بور تنها افزایش داد و شکنندگی لایه هم وجود نداشت(Xu *et al.*, 1998). هدف از پژوهش حاضر بررسی افزایش سختی دو نوع فولاد 16MnCr5 و Ck45 متداول در ساخت ادوات خاک‌ورز بواسطه عملیات حرارتی بهینه برای هر کدام از آنها می‌باشد.

مواد و روش‌ها:

در تحقیق حاضر دو نوع فولاد 16MnCr5 و Ck45 که به‌طور مرسوم در ساخت ابزارهای خاک‌ورز استفاده می‌شود، انتخاب گردید و ترکیب شیمیایی آن‌ها با روش کوانتومتری مشخص شد که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. فولاد 16MnCr5 با درصد کربن پایین و مغز چقرمه، جزء فولادهای سمانتاسیون به شمار می‌رود که عموما تحت انجام عملیات سطحی کربن‌دهی قرار می‌گیرد که با تشکیل یک لایه سخت سطحی، مقاومت به سایش این فولاد افزایش می یابد.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی فولادهای مورد استفاده

شماره استاندارد	شناسه	C*	Mn*	Si*	Cr*	P*	S*
۱/۷۱۳۱	16MnCr5	۰/۱۶	۱/۱۲	۰/۲۸	۱/۰۸	۰/۰۱۶	۰/۰۰۳
۱/۱۱۹۱	Ck45	۰/۴۱	۰/۷۶	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۱

* ترکیب شیمیایی عناصر بر حسب درصد وزنی گزارش شده است.

درصد منگنز بالای این فولاد موجب ایجاد خاصیت فنری و چقرمگی این فولاد می‌گردد. بنابراین برای ابزارهای خاک‌ورز که در حین کار با موانع موجود در مزرعه برخورد می‌کنند و نیاز به مقاومت به ضربه بالا دارند، مناسب است. فولاد کربنی Ck45 جزء فولادهای متوسط کربن است که دارای ویژگی‌هایی نظیر قابلیت آهنگری و ماشینکاری و انجام عملیات حرارتی است. علاوه بر موارد ذکر شده در انتخاب فولادها، فاکتورهایی مانند قیمت مناسب و تولید در ایران هم در نظر گرفته شد. به منظور مطالعه اثر سختی‌کاری، نمونه‌های آماده شده تحت عملیات حرارتی مختلف قرار گرفتند. از هر نوع فولاد سه نمونه در دو تکرار آماده گردید و عملیات حرارتی انتخابی برای دست‌یابی به سختی مورد نظر که HRC ۵۲–۴۸ (HV ۵۰۰) بود، روی نمونه‌ها به‌شرح جدول ۲ انجام شد. به منظور اندازه‌گیری سختی نمونه‌ها، ابتدا سطح آن‌ها با کاغذ سمباده صیقل داده شد و سپس سختی سنجی آنها در ۵

[۳] کوئنچ کردن عبارتست از سرد کردن سریع فولاد از دمای سختکاری(دمای آستنیته) تا دمای محیط یا دمای خاص دیگر.

نقطه به روش ویکرز توسط دستگاه سختی سنج انجام شد که این دستگاه در دانشکده ممهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان موجود است.

جدول ۲. شرح عملیات حرارتی

نوع فولاد	شناسه	نوع عملیات حرارتی
16MnCr5	۱	در دمای ۹۰۰ درجه به مدت یک ساعت آستنیته شد سپس در آب کوئنچ شد.
16MnCr5	۲	در دمای ۹۰۰ درجه به مدت یک ساعت آستنیته شد سپس در روغن کوئنچ شد.
16MnCr5	۳	پیشگرم کردن نمونه‌ها به مدت دو ساعت در دمای ۴۰۰درجه سانتی‌گراد و پس از سرد کردن در کوره، در کوره محتوی گاز CH_4 با درصد کربن ۱/۲٪ و در دمای ۹۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد (به مدت ۳ ساعت و ۳۰ دقیقه). سپس انتقال نمونه به محیط حاوی۰/۸٪ کربن و در دمای ۹۲۰ درجه سانتی‌گراد و زمان حدود ۱ ساعت و سرد کردن نمونه در کوره، سپس حرارت دادن نمونه در دمای۸۳۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۰ دقیقه و کوئنچ روغن، سپس برای دستیابی به سختی مورد نظر بازپخت نمونه در دمای ۳۵۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲ ساعت.
Ck45	۱	در دمای ۸۲۵ درجه سانتی‌گراد آستنیته شد، سپس کوئنچ در آب و بازپخت در دمای ۲۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت.
Ck45	۲	نگهداری در دمای ۷۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه، سپس کوئنچ آب و بازپخت در دمای ۲۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت.
Ck45	۳	نگهداری در دمای ۷۵۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه، سپس کوئنچ آب و بازپخت در دمای ۲۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت.

نتایج و بحث:

عملیات حرارتی مختلف و طبق موارد ذکر شده در جدول شماره ۲ انجام شد. مقادیر سختی هر شناسه در جدول ۳ نشان داده شده است. هر عدد میانگین مقدار اندازه‌گیری شده در دو تکرار است. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، عملیات حرارتی موجب افزایش سختی فولاد گردید و از آنجا که با افزایش سختی، مقاومت به سایش افزایش می‌یابد؛ می‌توان گفت که عملیات حرارتی انجام شده منجر به افزایش مقاومت به سایش گردید (گلعذار، ۱۳۶۷). علاوه بر این، از بین روش‌های کربن‌دهی، کربن‌دهی گازی به‌دلیل سرعت و عمق نفوذ بیشتر، اقتصادی‌تر بوده و مناسب‌ترین روش برای سخت‌کاری سطحی فولاد 16MnCr5 که دارای درصد کربن پایین است، می‌باشد. از بین شناسه‌های حرارتی، فولاد 16MnCr5 شناسه شماره ۳ با سختی ۴۹۰HV بیشترین

مقدار سختی و بیشترین نزدیکی به سختی مورد نظر را دارد. در بین شناسه‌های حرارتی فولاد Ck45، شناسه شماره ۱ بیشترین مقدار سختی را دارد اما مقدار سختی آن در محدوده سختی مورد نظر و مطلوب برای ابزار خاک‌ورز نمی‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که عملیات حرارتی و سختی‌کاری سطحی به‌کار گرفته شده در تحقیق حاضر منجر به افزایش سختی و در نتیجه مقاومت به سایش فولاد پایه گردید و از آنجا که ابزار خاک‌ورز باید هر دو خاصیت سختی و مقاومت به ضربه را داشته باشد، به نظر می‌رسد که فولاد 16MnCr5 که تحت عملیات کربن‌دهی، سختی سطح آن بیشتر افزایش یافته و از طرفی دارای مغزی نرم و چقرمه است، برای استفاده در ابزار خاک‌ورز مناسب تر می‌باشد.

جدول ۳. مقادیر سختی اندازه‌گیری شده

نوع فولاد	سختی فولاد خام (HV)	سختی شناسه۱ (HV)	سختی شناسه۲ (HV)	سختی شناسه۳ (HV)
16MnCr5	۱۷۴	۲۷۲	۲۳۲	۴۹۰
Ck45	۲۶۰	۳۶۲	۲۹۲	۳۲۹

در تولید انبوه قطعات روش کربن‌دهی گازی اقتصادی‌تر می‌باشد. از طرفی مکانیزه کردن این روش نسبت سایر روش ها امکان پذیرتر می‌باشد. کربن‌دهی گازی سریع و نیاز به نیروی انسانی کمتری نیز دارد. معمول‌ترین منبع تولیدکربن در این روش گاز طبیعی(CH_4) می‌باشد. کیفیت کربن‌دهی در این روش بالاتر از دو روش قبل است.

نتیجه‌گیری کلی:

۱. عملیات حرارتی و سختی‌کاری سطحی به‌کار گرفته شده، منجر به افزایش سختی و در نتیجه مقاومت به سایش فولاد پایه گردید.

۲. به نظر می‌رسد که فولاد 16MnCr5 که تحت عملیات کربن‌دهی گازی، سختی سطح آن بیشتر افزایش یافته و از طرفی دارای مغزی نرم و چقرمه است، برای استفاده در ابزار خاک‌ورز مناسب‌تر می‌باشد.

منابع:

۱. تیمناک، ف.، جوانبخت، م. اقرا، ر. و کرمکش، م. ۱۳۸۸. پدیده سایش و انتخاب مواد مناسب جهت ساخت تیغه گاوآهن. دهمین سمینار ملی مهندسی سطح، اصفهان.

۲. کسرایی، م.، و صبور روح اقدم، ع. ۱۳۸۳. مطالعه سایش در ابتدای تیغه برش گاوآهن برگرداندار. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد۴، صفحه۱۱۷-۱۲۴.

۳. گلعذار، م. ۱۳۶۷. اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها. ویرایش دوم، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.

4. Gupta, A. K., D. M. Jesudas, P. K. Das, K. Basu. 2004. Performance evaluation of different types of steel for duck foot sweep application. Biosystems Engineering 88, 63-74.
5. Horv, Z., D. Filipovic, S. Kosutic, R. Emert. 2008. Reduction of mouldboard plough share wear by a combination technique of hard facing. Tribology International 41(8): 778-782.
6. Polak, M., J. Bily, P. Seckar. 1988. The effect of nitration on the resistance of moldboards to abrasive wear. Zemedelska, Technika 34, 541-548.
7. Prasad, B. K., S. V. Prasad. 1991. Abrasion induced microstructural changes during low stress abrasion of plain carbon (0.5%) steel. Wear 151, 1-12.
8. Tian, Z. X., W. L. Sun, M. Y. Shang, X. C. Jiang, W. X. Han, M. H. Wang. 1989. Application of boronizing technology on ploughshares and study on the abrasive wear characteristics under low stress of boronized layer. Potentialities Agricultural Engineering in Rural Development 248-249.
9. Xu, B., C. M. Feng, Y. P. Song. 1998. Experiment and study on improving the abrasive wear resistance of steel by rechrome boronizing. Transaction Chinese Society of Agricultural Engineering 14, 163-167.
10. ZumGahr, K. H. 1987. Microstructure and wear of materials. Elsevier Science Publishing Company Inc. 85, 168-170.

Steels hardening of 16MnCr5 and Ck45 for tillage tools

Nilufar Dastmozd[1], Ali Esehaghbeygi[1], Fakhreddin Ashrafizadeh[2]

1. College of Agriculture, Isfahan University of Technology, 84156-83111, Isfahan, Iran
2. Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, 84156-83111, Isfahan, Iran

n.dastmozd@ag.iut.ac.ir

Abstract:

The primary cause that limits persisting of many agricultural tools is wear. Wear of tillage tools is unique characteristics. The materials that be used in the blades are under extreme abrasion by abrasive particles in the soil with different textures and different moisture content. In most case, the alloys used for tillage tools do not have enough anti-wear properties; therefore, the application of engineering methods to improve the abrasion resistance is needed. Heat treatment and surface hardening are methods for increasing the wear resistance of tillage tools. In the present study wear affecting of abrasion and scratch hardening of tillage tools, made with 16MnCr5 and Ck45 steel alloys be compared. The results showed the heat treatment increased steel hardening and the surface hardening of 16MnCr5 was more than Ck45. The surface hardness of 16MnCr5 with gas carburizing was better for tillage tools because of its core were soft and tougher, and suitable for tillage tools.

Key words: Heat treatment, Surface hardening, Scratch abrasive.