

مهندسی مهندسی مهندسی مهندسی مهندسی مهندسی مهندسی



ISSN 1563-1745 4/88

فصلنامه پژوهشی، آموزشی و صنعتی، سال دوازدهم، شماره ۴۶، زمستان ۱۳۸۸

نشریه انجمن مهندسین متالورژی ایران

نشریه علمی - ترویجی

فهرست مطالب:

- اوزیابی خواص مکانیکی ترکیب متخلخل NiTi تولید شده به روش متالورژی پور جهت کاربردهای پزشکی ۳
- سیدعلیرضا حسینی، سید خطیب الاسلام صدرزاده، علی اکبر اکرمی
بررسی اثر حافظه داری بر روی سطح سایش آلیاژ حافظه دار NiTi ۸
- مرتضی عابدیش اکار ذواره، محمد رضا قاسمی منفرد راد، محمود نیلی احمد آبادی
تولید الیومینیم ریز ساختار با کم روش اکسیتروزن چانیش بر روی کاتالیز مقطع ۱۳
- باک طالبان پور، رامین ابراهیمی
بررسی تاثیرات ترکیب شیمیایی، ریز ساختار و کسر سطحی آخالها بر قابلیت ماشینکاری فولادهای CK45 ۱۹
- جعید سازگاران، احمد ضابطه
بررسی اثر دافنتیت جریان و غلظت کیالت حمام آبکاری الکتریکی بر موروفولوژی و ترکیب پوشش Zn-Co ۲۵
- میثم حیدری، محمود حیدرزاده سهری
بررسی اثر متغیرهای توره سرد بر کیفیت سطحی، میکروساختار و سختی ورق منیزیم AZ61 ۳۰
- آرش بدلی، بهنخن فربد، عباس اکبرزاده
تولید فولاد زنگفرون آستینیتی AISI 301 فوق ریزدانه انانو توسط عملیات ترمومکانیکی پیشرفت ۳۶
- مصطفی اسکندری، احمد کرمانیور، عباس تقیقی زاده، محسن کریمی
بررسی اثر پوشش پائی پیرول رسانا بر رفتار خوردگی برخی در محیط کلراید خنثی ۴۱
- مهدی قاسمی، عبدالحمید جعفری، سید محمدعلی حسینی
بررسی اثر ضخامت بین لایه‌ای بر واپستگی چگونگی به ضخامت آلیاژ Ti-6Al-4V ۴۹
- سعید علی الکبری، علی اکبر ضیائی مؤید، کاظم پور آذرگ، غلامحسا حیدری
مس خالص تجاری با استحکام و رسانایی بالا تولید شده به روش اتصال توردی تجمعی (ARB) ۵۵
- سید عبدالله سینی، حبیب داشت منش
تأثیر چهتگیری رسوبات Ni_xTi_{1-x} و عملیات ترمومکانیکی بر پایداری و میزان حافظه داری دو طبقه ۶۰
- محمد صادق شاکری، جعفر خلیل علیان، وحید عباس چیان
بررسی رفتار ترمیبولوژیکی آلیاژ همکن سازی شده و پیرسازی شده Ni-Ti-55.5wt%Ni ۶۵
- رضا علی سکریان، محمد رضا قاسمی منفرد راد، سید محمد مهدی هادوی
بررسی رفتار الکتروشیمیایی رسوب دهنی فلز روی بر چکالی جریان‌های مختلف ۷۹
- محسن صارعی، مرضیه قربانی
بررسی تاثیر پیرسازی بر رفتار سایشی قایقینول ۸۶
- جلال ناصحی، حمیدرضا قاسمی منفرد راد
چالان

بررسی تأثیرات ترکیب شیمیایی، ریزساختار و کسر سطحی آخال‌ها بر قابلیت ماشینکاری فولادهای CK45

حمید سازگاران^۱، احمد ضابط^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد بار گروه مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه فردوسی مشهد

An evaluation of chemical composition, structure and surface fraction of inclusions on machinability of CK45 steels

Hamid Sazegaran¹& Ahad Zabet²

1-MS student at ferdowsi university of mashhad, engineering department, material engineering faculty

2-Assistant professor at ferdowsi university of mashhad , engineering department , material enginceering faculty

چکیده

قابلیت ماشینکاری یکی از پارامترهای مهم و موثر بر تولید قطعات فلزی، مخصوصاً قطعات مورد نیاز در صنایع خودروسازی می‌باشد. معیارهای رزشمند قابلیت ماشینکاری عبارت از عمر ابزار، نیروهای برشی و زیری سطح ماشینکاری شده می‌باشند. در این مقاله دو معیار نیروهای برشی و زیری سطح در مورد فولادهای CK 45 با ترکیبات شیمیایی متفاوت بررسی شده است. مهمترین پارامترهای متالورژیکی موثر بر قابلیت ماشینکاری ترکیب شیمیایی، ریزساختار و خصوصیات آخال‌ها می‌باشد. تأثیرات ترکیب شیمیایی، درصد کربن، عناصر آلیاژی توسط تعیین ترکیب شیمیایی به کمک کوانتمتری بررسی شده است و مشاهده شده که عناصر آلیاژی استحکام‌دهنده سبب کاهش قابلیت ماشینکاری می‌شوند. ریزساختار و خصوصیات آخال‌ها توسط میکروسکوپ نوری و نرم‌افزار CLEMEX بررسی شده است و مشاهده شده که با افزایش کسر سطحی آخال‌های سولفیدی قابلیت ماشینکاری بهبود می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: قابلیت ماشینکاری، نیروی برشی، زیری سطح تراشکاری شده، کسر سطحی آخال‌ها، فولادهای CK 45

Abstract

Machinability is one of the most important and effective parameters in metal pieces production, especially necessary pieces in automotive industry. Valuable factors of machinability are divided as tool life, cutting force and surface roughness. In this paper, two factors including cutting force and surface roughness are studied in CK45 steels with different composition. The most important and effective metallurgic parameters on machinability are chemical composition, structure and inclusion characteristics. Effects of Chemical composition, carbon content and alloy element are studied by quantometry and it's observed that strengthening alloy elements have caused the decrease of machinability. Structure and inclusion characteristics are evaluated by light microscope and CLEMEX software and it's observed that with the increasing of surface fraction of inclusions would be improved the machinability.

Keywords: machinability, cutting force, surface roughness, surface fraction of inclusions, CK45 steels.

مقدمه

در سال‌های اخیر، بررسی‌های گستردۀای جهت افزایش قابلیت ماشینکاری فولادها، در راستای افزایش قابلیت تولید محصولات ماشینکاری، بهینه‌سازی سطوح ماشینکاری شده و کاهش تاثیرات زیست‌محیطی صورت گرفته است [۱ و ۲]. هدف این مقاله فراهم کردن خلاصه‌ای از ارتباط‌های کیفی و کمی پدیده برش و قابلیت ماشینکاری فولادهای CK45 در فرآیند ماشینکاری می‌باشد. مسائل مهم در قابلیت ماشینکاری بررسی هندسه تشکیل براده، نیروهای برشی، مقدار زبری سطح ماشینکاری شده، انتخاب ابزار مناسب جهت فرآیندهای کوناکون ماشینکاری، سطح نهایی و صرفه اقتصادی می‌باشد [۳].

چقرمگی، نرمی و توانایی فریت برای چسبیدن به لبه ابزار برش، کاهش قابلیت ماشینکاری را موجب می‌شود. مقدار زیاد فریت در فولاد باعث تشکیل لبه انباشته و ایجاد سطح نهایی ضعیف می‌شود، اما به علت آسان بودن برش، سایش کم ابزار را به همراه دارد. ساختار پرلیتی به واسطه ترکیبی از صفحات کاربیدی ترد در کنار لایه‌های نرم فریت موجب افزایش قابلیت ماشینکاری می‌شود. ساختار پرلیتی، سطح نهایی بهتر و براده برداری آسان‌تر را نتیجه می‌دهد. افزایش مقدار کربن در ساختار پرلیتی، عمر ابزار و قابلیت ماشینکاری فولاد را کاهش می‌دهد [۴].

تصفیه فولادهای ریختگی یکی از عوامل مهم در صنعت فولادسازی است که روی خواص مکانیکی و قابلیت ماشینکاری تاثیرات فراوانی می‌گذارد، اما تحقیقات زیادی در خصوص تعیین تاثیر فرآیندهای فولادسازی بر قابلیت ماشینکاری فولاد ریختگی صورت نگرفته است. متاسفانه؛ فاکتور ساختار، اغلب توسط واحدهای صنعتی تولید فولاد، نادیده گرفته می‌شود. مورفولوژی پرلیت لایه‌ای در یک ساختار هایپوپرلیتیک^۱ در تولید انبوه، قابلیت ماشینکاری رضایت‌بخشی را بدست می‌دهد [۴]. افزودن سرب به فولاد یکی از راهکارهای اولیه و اساسی در جهت بهبود قابلیت ماشینکاری است [۵]. سرب به عنوان روغن‌کار در بین ابزار و قطعه عمل کرده و سبب افزایش عمر ابزار و بهبود خواص مکانیکی می‌شود، اما غلظت زیاد سرب، دامنه کاربرد فولادهای حاوی سرب را به علت مشکلات زیست‌محیطی و تاثیرات منفی بر خواص مکانیکی، محدود می‌سازد. امکان حذف سرب از ترکیب فولادها، اغلب با استفاده از مورفولوژی لایه‌ای، ایجاد آخال‌های سولفیدی و اخیراً توسط انجام فرآیند عملیات حرارتی گرافیت‌زایی قابل اجراست. قابل توجه است که در فولادهای اکسیژن‌زدایی شده توسط کلسیم، یک لایه اکسیدی پیچیده که عموماً آخال‌های

انورتیت (CaAl₂Si₂O₅) می‌باشد، روی قسمت‌های جناحی و شیاری ابزار برش تشکیل می‌شود که به عنوان عامل مانع نفوذ در بین ابزار برش و قطعه کار عمل می‌کند [۶-۸]. یکی دیگر از روش‌های مفید افزایش قابلیت ماشینکاری افزودن هگزاگونال نیترید بور^۲ به فولاد است. نیترید بور به عنوان روغن‌کار جامد^۳ مشهور می‌باشد. بنابراین، افزودن نیترید بور به علت فعالیت روغن‌کاری کننده، باعث بهبود قابلیت ماشینکاری می‌شود [۹].

در ماشینکاری (تراشکاری، فرزکاری و سوراخکاری) قطعات فولادی، مشاهده می‌شود که با کاهش سرعت برش، عمر ابزار افزایش می‌یابد. سختی بیشترین تاثیر را روی سوراخکاری دارد به نحوی که با افزایش سختی، قابلیت ماشینکاری کاهش می‌یابد. به همین علت است که فولادهای کوئنچ و تمپر شده قابلیت ماشینکاری کمتری نسبت به فولادهای نرماله دارند. آخال‌ها با توجه به منشاء تشکیل، به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارتند از: (۱) رسوب آخال‌ها از مذاب یا مذاب در حال انجام، (۲) اکسیدشدن فلز مایع هنگام حمل و نقل و (۳) فرسایش مکانیکی یا شیمیایی مواد دیرگذار توسط فلز مذاب می‌باشد. این‌گونه به نظر می‌رسد که سرچشمه اکثر آخال‌ها، رسوب از فولاد مذاب هنگام سرد کردن و انجام می‌باشد [۱۰]. آخال‌های اکسیدی و نیتریدی از این جهت که نیروی برشی لازم در نوک ابزار برش را افزایش می‌دهند، باعث کاهش قابلیت ماشینکاری و افزایش مصرف ابزار می‌شوند.

آخال‌های سولفیدی همچون MnS قابلیت ماشینکاری فولاد را افزایش می‌دهند، حال آنکه تاثیرات نامناسب مشخصی روی دیگر خواص فولاد، مخصوصاً روی چقرمگی ضربه و چقرمگی شکست دارند. اخیراً کلسیم و فلزات خاکی کمیاب^۴ به تنهایی یا به صورت ترکیب برای افزایش قابلیت ماشینکاری به فولاد افزوده می‌شوند، در حالی که بعضی از خواص مکانیکی، خصوصاً چقرمگی را نیز افزایش می‌دهند. آخال‌های سولفیدی قابلیت ماشینکاری فولاد را به خاطر فاکتور تمرکز تنفس و نقش آنها به عنوان روغن‌کار و مانع نفوذ افزایش می‌دهد [۱۱].

بررسی‌ها نشان می‌دهد که طول عمر فولادهای ابزار با افزودن سولفیدها به ساختار فولادهای ماشینکاری افزایش می‌یابد. آخال‌های سولفیدی به عنوان ابزاری حمایت‌کننده در خصوص خردکردن براده‌ها و ایجاد یک لایه چسبنده سولفید منگنز بر روی لبه برش شناخته شده است. مطالعه روی فولادهای اکسیژن‌زدایی شده در تراشکاری، وجود یک لایه چسبنده به نام لایه انتقال را نشان می‌دهد. این لایه‌ها که با آخال‌ها ترکیب شده‌اند، بین ابزار و براده ظاهر شده و یک لایه نرم محسوب می‌شود. لایه مذکور به

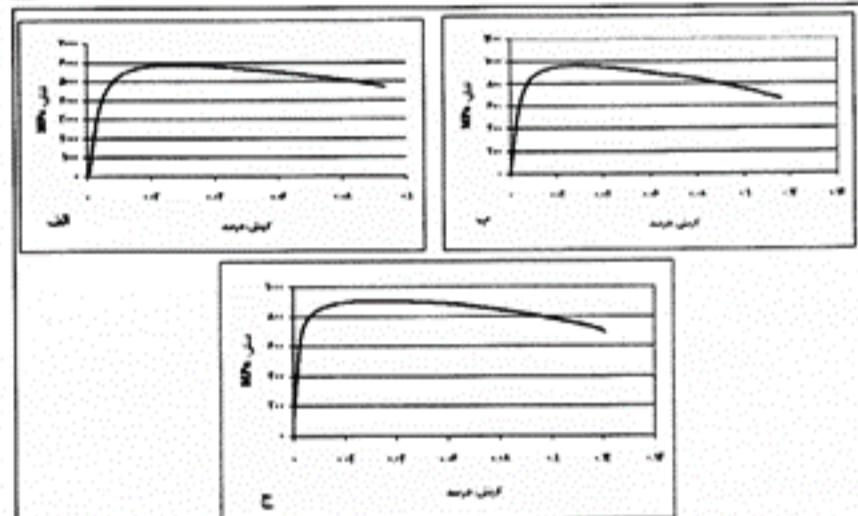
2 Hexagonal boron nitride
3 Solid lubricant
4 Rare earth metals

1- Hypopearlitic structure

| جدول ۱: ترکیب شیمیایی فولادهای مورد آزمایش. | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V | Mo | Cr | Ni | Mn | P | S | Si | C | نمونه |
| ۰/۰۰۱ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۸۹ | ۰/۰۹۲ | ۰/۷۹۴ | ۰/۰۲۰ | ۰/۰۲۸ | ۰/۰۲۱ | ۰/۰۲۶ | MD |
| ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۹ | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۲۵ | ۰/۷۲۹ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲۲ | WDI |
| ۰/۰۰۳ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۹۲ | ۰/۰۷۹ | ۰/۸۹۵ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۷۹ | ۰/۰۱۳ | SES |

| Zn | Nb | Pb | Al | Co | Sn | W | Cu | نمونه |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۰۹ | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۹۲ | MD |
| ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۳۹ | WDI |
| ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۱۸ | SES |

| درصد تغییر طول کل | دقت قدرمگی (Nmm) | حد تسلیم (N/mm ²) | حد استحکام (N/mm ²) | سختی (HRB) | نمونه |
|-------------------|------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------|-------|
| ۱۱/۹ | ۸۳۲۶۸ | ۷۶۵/۸۷ | ۹۰۴/۷۵ | ۹۸/۷۵ | MD |
| ۸/۹۴ | ۶۵۴۸۴ | ۷۴۵/۰۵ | ۹۶۱/۷۵ | ۹۹/۵ | WDI |
| ۱۲/۰۶ | ۸۲۲۰۴ | ۷۳۷/۱۲ | ۹۷۴/۲۰ | ۱۰۰ | SES |



شکل ۱: منحنی تنش-کرنش فولادهای مورد آزمایش، (الف) منحنی مربوط به فولاد MD، (ب) منحنی مربوط به فولاد WDI و (ج) منحنی مربوط به فولاد SES

و زاویه جناحی (زاویه ابزار) ۱۰ درجه استفاده شده است. سپس روی نمونهای تراشکاری شده جهت آزمایشات نیروی برشی، سه آزمون زبری سطح توسط دستگاه Surfscan 200 انجام شده است.

یافته‌ها

آزمایشات خواص مکانیکی شامل سختی‌سنگی و کشش می‌باشد. نتایج سختی‌سنگی براساس سه اندازه‌گیری بر روی هر یک از فولادها می‌باشد. نتایج آزمون کشش شامل حد استحکام، حد تسلیم (در کرنش ۰/۲ درصد)، چermگی بر حسب مساحت زیر نمودار تنش-کرنش تا نقطه شکست و درصد تغییر طول کل می‌باشد که براساس میانگین انجام دو آزمایش بدست می‌آید. جدول ۲ بیانگر خواص مکانیکی فولادهای مورد آزمایش می‌باشد و شکل ۱ منحنی‌های تنش-کرنش فولادها را نمایش می‌دهد.

آزمون متالوگرافی روی نمونه‌های برش خورده توسط میکروسکوپ نوری انجام شده است و تصاویر ریزساختار

عنوان روغن کار عمل کرده، از ابزار محافظت نموده و نیروی برشی را کاهش می‌دهد [۱۲].

تشکیل لبه انباشتۀ در ماشینکاری فولاد کربن متوسط کم ایازی به ریزساختار ماده کاری، حتی اگر سختی مشابهی داشته باشد، بستگی دارد. لبه انباشتۀ روی قسمت شیاری ابزار و اطراف تیغه برش می‌چسبد، به نحوی که ماده چسبنده در جهت گسترش ابزار عمل می‌کند. هرگاه دمای برش به حدی برسد که باعث تبلور مجدد ماده کار سخت شده لبه انباشتۀ گردد، سختی کم می‌شود و به انباشتۀ از بین می‌رود. افزایش سختی در فولادهای با ساختار پرلیتی، مصرف ابزار را افزایش و قابلیت ماشین کاری را کاهش می‌دهد [۱۲].

مواد و روش تحقیق

سه نمونه‌ی فولاد CK45 با ترکیبات شیمیایی متفاوت تهیه شده و آزمایشات تعیین ترکیب شیمیایی، خواص مکانیکی، متالوگرافی و معیارهای برشی (نیروی برشی و زبری سطح) روی آنها انجام گرفته است. این سه فولاد دارای قطر ۷/۲ میلیمتر بوده که توسط شرکت‌های SES، WDI و MD تولید شده‌اند و ترکیب شیمیایی آنها در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایشات خواص مکانیکی انجام شده شامل سختی‌سنگی توسط دستگاه سختی‌سنگ راکول B و آزمایش کشش توسط دستگاه Zwick مدل Z250 براساس استاندارد ASTM E ۶۷ می‌باشد. بیشینه بار دستگاه کشش برابر ۲۵۰۰۰ نیوتون باشد و شرایط تست به این صورت است که بار اولیه ۵ MPa5 سرعت ثابت حرکت فک دستگاه ۱۵ mm/min و Load Cell برابر ۲۵۰۰۰ نیوتون می‌باشد و جابجایی توسط اکستنسیو متر اندازه‌گیری شده است. نتایج به دست آمده از آزمون کشش شامل مقادیر حد استحکام، حد تسلیم، چermگی بر حسب مساحت زیر نمودار تنش-کرنش و درصد تغییر طول می‌باشد. آزمایشات متالوگرافی توسط میکروسکوپ نوری و محلول اج نایتال انجام شده است. تصاویر متالوگرافی توسط نرم افزار CLEMEX بررسی شده‌اند و درصد آخل‌ها، مساحت بزرگترین آخل، طول بزرگترین آخل و فاکتور شکر آخل‌ها و درصد فریت و پرلیت تعیین شده است.

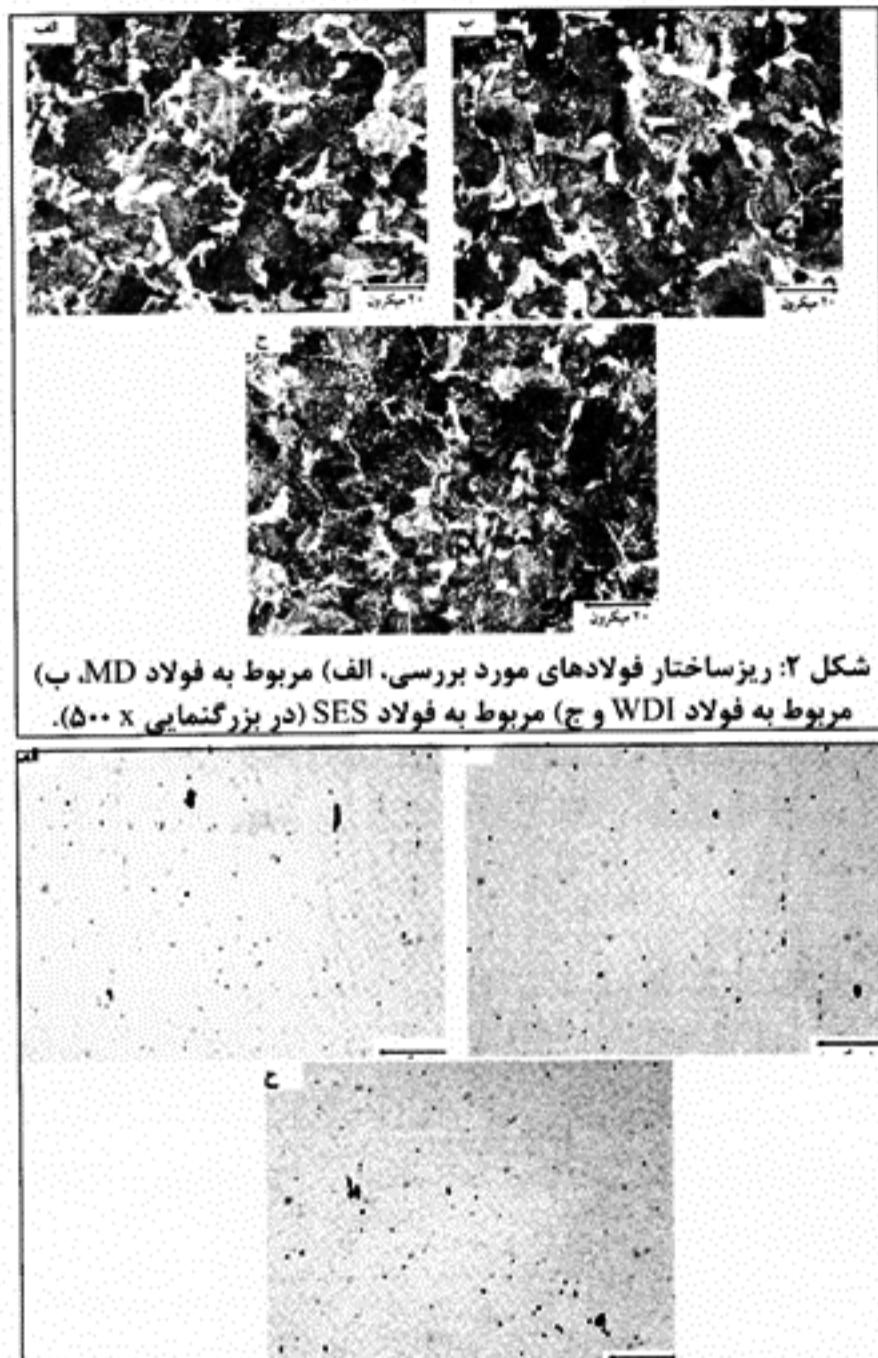
و معیار قابلیت ماشینکاری، یعنی نیروی برشی در حين تراشکاری و زبری سطح بعد از تراشکاری اندازه‌گیری شده‌اند. سیروی برشی توسط دستگاه تراش TN50B_B اندازه‌گیری شده است که بر روی این دستگاه تراش یک Load Cell جهت تعیین سیروی برشی در راستای محور تراشکاری نصب شده است. جهت تراشکاری از ابزارهای فولاد تندر (HSS) با زاویه براده ۸ درجه

فولادهای مورد بررسی در شکل ۲ نمایش داده شده است. جهت تصویربرداری و تعیین خصوصیات آخالها از برش‌های طولی (نمونه‌ها به صورت عمود بر سطح مقطع برش داده شده‌اند) استفاده شده است. شکل ۲ تصاویر آخالهای فولادهای مورد بررسی را نمایش می‌دهد. جدول ۲ نتایج به دست آمده از بررسی‌های متالوگرافی توسط پردازش تصاویر به کمک نرم‌افزار CLEMEX را نمایش می‌دهد.

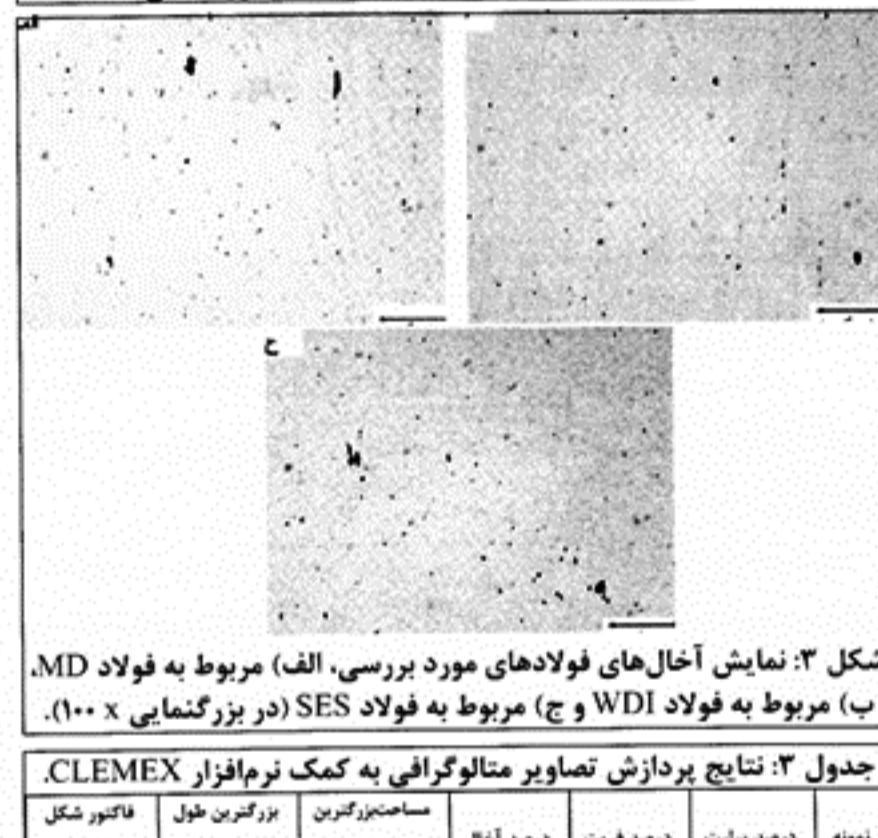
آزمایشات قابلیت ماشینکاری براساس معیارهای نیروی برشی و زبری سطح انجام شده‌اند. آزمون نیروی برشی فولادهای مورد بررسی در دو سرعت برش $22/6 \text{ m/s}$ و $21/65 \text{ m/s}$ دو عمق برش $0/2 \text{ mm}$ و $0/4 \text{ mm}$ و در نرخ تغذیه یا سرعت پیشروعی $0/05 \text{ mm/rev}$ انجام شده‌اند و نتایج براساس میانگین سه آزمون می‌باشد. شکل ۴ نمودارهای نیروی برشی به صورت ولتاژ بر حسب زمان به دست آمده از Load Cell را نمایش می‌دهد. بر روی نواحی تراشکاری شده در بخش آزمایشات نیروی برشی، سه اندازه‌گیری زبری‌سنجدی سطح تراشکاری شده صورت می‌گیرد و نتایج حاصله میانگین نه اندازه‌گیری می‌باشد. جدول ۴ نتایج آزمایشات نیروی برشی هنگام تراشکاری فولادهای مورد بررسی و زبری سطح تراشکاری شده آنها را ارائه می‌دهد.

بحث

براساس جدول ۲، سختی سه فولاد کاملاً یکسان می‌باشد و می‌توان گفت سایر خواص مکانیکی همانند حد استحکام، حد تسلیم، چقلمگی و درصد تغییر طول کل نیز تفاوت چشمگیری ندارند. بنابراین خواص مکانیکی فولادها تاثیر چندانی در اختلافات معیارهای قابلیت ماشینکاری ندارند. براساس جدول ۴ می‌توان گفت که فولاد SES در سرعت برش $22/6 \text{ m/s}$ و عمق برش $0/2 \text{ mm}$ و در سرعت برش $21/65 \text{ m/s}$ و عمق برش $0/4 \text{ mm}$ بیشترین زبری سطح ماشینکاری شده را دارد. در سرعت برش $22/6 \text{ m/s}$ و عمق برش $0/2 \text{ mm}$ فولاد WDI بیشترین سطح تراشکاری شده را فراهم می‌سازد. نیروهای برش در سرعت برش $22/6 \text{ m/s}$ و عمق برش $0/4 \text{ mm}$ و در سرعت برش $21/65 \text{ m/s}$ و عمق برش $0/2 \text{ mm}$ تفاوت چشمگیری را نشان نمی‌دهد، اما نیروهای برشی در سرعت برش $22/6 \text{ m/s}$ و عمق برش $0/2 \text{ mm}$ اختلاف شدیدی دارد و فولاد MD بیشترین و فولاد SES کمترین مقدار نیروی برشی را دارند. به علت کوچک بودن قطر نمونه‌های فولادی مورد استفاده در آزمایشات نیروی برشی، هنگام تراشکاری ارتعاشات شدیدی وجود دارد و در



شکل ۲: ریزساختار فولادهای مورد بررسی. (الف) مربوط به فولاد MD. (ب) مربوط به فولاد WDI و (ج) مربوط به فولاد SES (در بزرگنمایی $\times 500$).



شکل ۳: نمایش آخالهای فولادهای مورد بررسی. (الف) مربوط به فولاد MD. (ب) مربوط به فولاد WDI و (ج) مربوط به فولاد SES (در بزرگنمایی $\times 100$).

جدول ۳: نتایج پردازش تصاویر متالوگرافی به کمک نرم‌افزار CLEMEX.

| نمونه | درصد پریت | درصد فربت | مساحت آخال (mm ²) | بروزگرین طول آخال (mm) | فاکتور شکل آخال |
|-------|-----------|-----------|-------------------------------|------------------------|-----------------|
| MD | ۸۷/۱ | ۱۵/۹ | ۰/۴ | ۱۶/۰ | ۲/۰-۲ |
| WDI | ۸۵ | ۱۵ | ۰/۲ | ۲۹۲/۶ | ۴۷۹/۰ |
| SES | ۸۶/۷ | ۱۷/۹ | ۰/۱ | ۱۲/۹ | ۲/۵۷ |

جدول ۴: نتایج آزمایشات نیروی برشی و زبری سطح تراشکاری شده در سرعت پیشروعی $0/05 \text{ mm/rev}$.

| نمونه | سرعت برش (m/s) | عمق برش (mm) | نیروی برشی (N) | زبری سطح (میکرون) |
|-------|----------------|--------------|----------------|-------------------|
| MD | ۲۲/۶ | ۰/۴ | ۴۴/۹۴۵ | ۲/۰-۲۲ |
| WDI | ۲۲/۶ | ۰/۴ | ۳۸/۸۷۹ | ۱/۹۲۶ |
| SES | ۲۲/۶ | ۰/۴ | ۴۴/۰۷ | ۲/۳۸۸ |
| MD | ۲۲/۶ | ۰/۲ | ۲۱/۲۵۴ | ۲/۴۵۳ |
| WDI | ۲۲/۶ | ۰/۲ | ۲۱/۸۲۵ | ۲/۸۵۳ |
| SES | ۲۲/۶ | ۰/۲ | ۱۸/۷۲۵ | ۲/۷۹۲ |
| MD | ۳۱/۶۵ | ۰/۲ | ۴۲/۶۴۱ | ۱/۹۴۴ |
| WDI | ۳۱/۶۵ | ۰/۲ | ۲۶/۸۹۵ | ۲/۰۶۶ |
| SES | ۳۱/۶۵ | ۰/۲ | ۳۸/۲۲۷ | ۲/۸۶۶ |

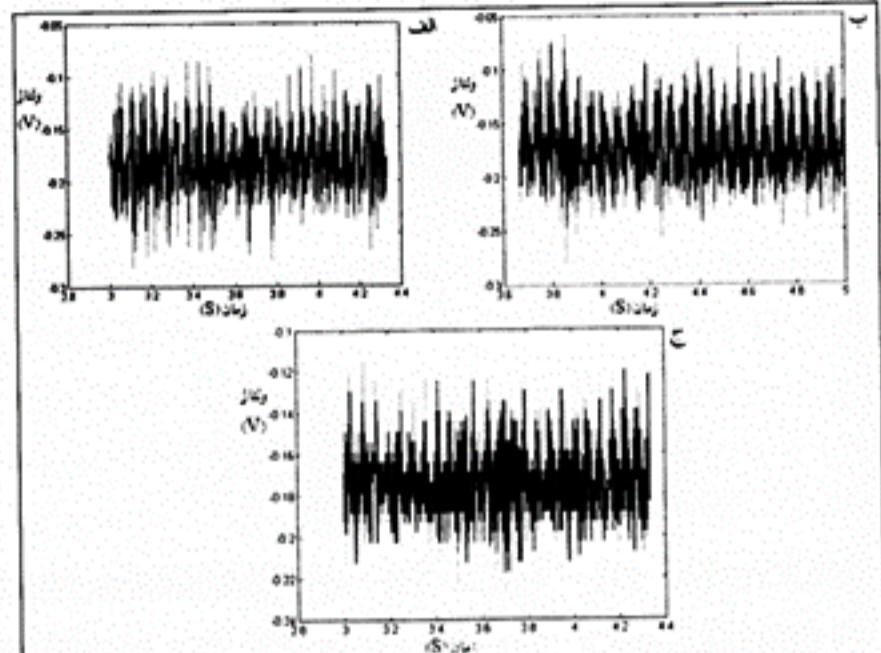
فولادهای مورد بررسی می‌توان گفت که آخال‌های شکل ۲ همه از نوع آخال‌های سولفیدی MnS می‌باشند. هر سه فولاد دارای مقادیر منگنز تقریباً یکسان می‌باشند، اما مقادیر کوکرد موجود در آنها تفاوت دارد و سبب تفاوت در کسر سطحی آخال می‌شود. کشیدگی آخال‌ها و فاکتور شکل آنها (نسبت طول به عرض آخال) نیز تاثیر شدیدی بر قابلیت ماشینکاری می‌گذارد. آخال‌ها در فولاد SES کمترین طول و فاکتور شکل و در فولاد WDI بیشترین طول و فاکتور شکل را دارند. بنابراین، با افزایش طول و فاکتور شکل در آخال‌های سولفیدی قابلیت ماشینکاری بهبود می‌یابد. مهمترین تاثیر کشیدگی آخال‌ها ایجاد لایه‌های ترد در مقابل ابزار برش و در نتیجه شکنندگی بیشتر برآده می‌باشد که این پدیده موجب کاهش دمای ابزار برش و کاهش پدیده نفوذ در نوک ابزار می‌شود. با در نظر گرفتن ترکیب شیمیایی، ساختار و خصوصیات آخال‌ها می‌توان فولاد SES را به عنوان بدتر اشترین فولاد دانست که این نتیجه مطابق با نتایج کسب شده از معیار زبری سطح تراشکاری شده می‌باشد. در مورد فولادهای MD و WDI به صورت واضح نمی‌توان گفت که کدامیک قابلیت ماشینکاری بهتری نسبت به دیگری دارد، اما با توجه به خصوصیات آخال‌ها می‌توان فولاد WDI را به عنوان فولاد برتر دانست.

نتیجه‌گیری

- ۱- سه عنصر نیکل، کروم و مولیبدن تاثیر شدیدی بر قابلیت ماشینکاری دارند و سبب افزایش زبری سطح تراشکاری شده و کاهش قابلیت ماشینکاری در فرآیند تراشکاری می‌شوند.
- ۲- درصد پرلیت بر قابلیت ماشینکاری موثر است و افزایش آن در فولادهای CK45 سبب کاهش قابلیت ماشینکاری می‌شود.
- ۳- افزایش مقدار و کسر سطحی آخال‌های سولفیدی موجب بهبود قابلیت ماشینکاری می‌شود و هر چه آخال‌ها کشیده‌تر و فاکتور شکل بزرگتری داشته باشند، سبب کاهش زبری سطح تراشکاری شده و بهبود قابلیت ماشینکاری را در پی دارد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از شرکت قطعات محوری خراسان جهت همکاری در زمینه تهیه فولادهای مورد آزمایش و در مورد در اختیار قرار دادن امکانات انجام آزمایش زبری سطح به ویژه مهندس گلچیان و مهندس امینی تقدير و تشکر به عمل می‌آید.



شکل ۴: منحنی نیروی برشی بر حسب زمان در سرعت برش $22/6 \text{ m/s}$ ، عمق برش $1/4 \text{ mm}$ و پیشروی 0.5 mm/rev . (الف) منحنی مربوط به فولاد MD، (ب) منحنی مربوط به فولاد WDI و (ج) منحنی مربوط به فولاد SES

نظر گرفتن معیار زبری سطح تراشکاری شده جهت بررسی قابلیت ماشینکاری نتایج واضح‌تری را نسبت به معیار نیروی برشی ارائه می‌دهد. با در نظر گرفتن معیار زبری سطح تراشکاری شده می‌توان به صورت کلی بیان کرد که فولاد SES بدترین قابلیت ماشینکاری را دارد و فولادهای MD و WDI از دیدگاه قابلیت ماشینکاری اختلاف چندانی ندارند. مهمترین عوامل تاثیرگذار بر قابلیت ماشینکاری را می‌توان به سه عامل ترکیب شیمیایی، ریزساختار و خصوصیات آخال‌ها مرتبط دانست. براساس جدول ۱، سه فولاد حاوی مقادیر کربن و منگنز مشابه‌ای می‌باشند. نیکل، کروم و مولیبدن به عنوان سه عنصر استحکام دهنده و تاثیرگذار بر قابلیت ماشینکاری معرفی می‌شوند. مجموع این سه عنصر در فولاد SES از سه فولاد دیگر بیشتر بوده و اختلاف شدید در مقادیر این عناصر سبب کاهش قابلیت ماشینکاری در فولاد SES می‌گردد. با توجه به شکل ۲ و حوال ۲، مشاهده می‌شود که درصد پرلیت در فولاد SES بیشترین مقدار و در فولاد MD کمترین مقدار را دارد. با افزایش مقدار جهت سختی افزایش می‌یابد و در نتیجه آن قابلیت ماشینکاری کاهش می‌یابد. تاثیر دیگر افزایش پرلیت کاهش لایه لایه بودن ساختار است که خود سبب کاهش قابلیت ماشینکاری می‌گردد. عبارت دیگر، فریت فازی نرم بوده و در هنگام تراشکاری حشره بر شکنندگی خود می‌خورد و سبب بهبود قابلیت ماشینکاری می‌شود. حاره سومین عامل موثر بر قابلیت ماشینکاری می‌باشد و تحریب آخال‌های خوش‌تراش همانند سولفیدها سبب بهبود قابلیت تراشکاری می‌گردد. مشاهده می‌شود که فولادهای MD و WDI در حدود ۰.۱ درصد و فولاد SES دارای ۰.۰ درصد آخال می‌باشد. همچنین فولاد WDI دارای بیشترین مساحت آخال و فولاد SES دارای کمترین مساحت آخال می‌باشد. با توجه به ترکیب شیمیایی

مراجع

۱. علی حائزیان اردکانی، مواد و فرآیندهای تولید، جلد سوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۱.
۲. محمد رضا رازفر، اصول ماشینکاری و ابزارشناسی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک)، مرکز نشر، ۱۳۷۹.
- ۳- M.E. Finn, Metals Handbook, ninth ed., vol.16, Machining, ASM International, Ohio, USA, 1989, pp.666-680.
- 4- Yu. M. Brunzel and I. M. Fomin, Effect of the pearlite structure of structural steel on its machinability, Translated from Metallovedenie i Termicheskaya Obrabotka Metallov, No. 1, pp. 29- 31, January, 1997.
- 5- M. A. Krishtal, A. A. Borgardt, and Yu. D. Yashin, Effect of lead on the machinability free-cutting steel, Tol'yatti Polytechnic Institute, Translated from Metallovedenie i Termicheskaya Obrabotka Metallov, No. 3, pp. 10-12, March, 1977.
- 6- G. Poulachon, et al, Sulphide inclusion effects on tool-wear in high productivity milling of tool steels, Wear 253 (2002) 339–356.
- 7- D.V.Edmonds and K.He, Acceleration of graphitisation in carbon steels to improve machinability, Institute for materials research, University of Leeds, LS2 9JT, UK.
- 8- K.He, A.Brown, R.Brydson and D.V.Edmonds, An EFTEM study of the dissolution of cementite during the graphitisation annealing of quenched medium carbon steel, Institute for materials research, University of Leeds, LS2 9JT, UK.
- 9- R.Tanaka, et al, Machinability of BN free-machining steel in turning, International Journal of Machine Tools & Manufacture 47 (2007) 1971–1977.
- 10- M. Murshed, et al, Effect of abrasive inclusions on the machinability of cast steel, AFS Transactions 01-112, pp 1-11.
- 11- L.Jiang, K.Cui and H.Hfenninen, Effects of the composition, surface fraction and area fraction of sulfide inclusions on the machinability of re-sulfurized free-machining steel, Journal of Materials Processing Technology 58 (1996) 160-165.
- 12- G.Poulachon, et al, An investigation of the influence of sulphide inclusions on tool-wear in high speed milling of tool steels, Wear 250 (2001) 334–343.
- 13- T.Akasawa, et al, Effect of microstructure and hardness on the machinability of medium-carbon chrome-molybdenum steel, Journal of Materials Processing Technology 153–154 (2004) 48–53.