

مقایسه قابلیت ماشین کاری چدن نشکن آستمپر شده (ADI) و فولاد کم آلیاژی 42CrMo4 در فرآیند تراشکاری

محمد رضا شبگرد^{۱*}، حسین عباسی ایروانلو^۲، هادی عیوضی باقری^۳ و اسماعیل جعفری^۴

چکیده

در این مقاله تأثیر پارامترهای ورودی (سرعت برشی و سرعت پیشروی) بر پارامترهای خروجی (انرژی ویژه تراش و زبری سطح) در فرآیند ماشین کاری چدن ADI و فولاد آلیاژی پایه کرم 42CrMo4 مورد مطالعه قرار گرفته و قابلیت ماشین کاری آن‌ها با یکدیگر مقایسه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده مشخص گردید که انرژی ویژه تراش در ماشین کاری چدن ADI بیش تر از فولاد 42CrMo4 می باشد و با افزایش سرعت برشی در هر دو نمونه، انرژی ویژه تراش کاهش می یابد. نتایج نشان می دهند که زبری سطح قطعات ماشین کاری شده چدنی بسیار کم تر از زبری سطح قطعات فولادی می باشد. همچنین، به صورت مقایسه ای مشخص گردید با افزایش سرعت پیشروی، مقدار انرژی ویژه تراش برای هر دو ماده کاهش یافته و زبری سطح قطعات ماشین کاری شده افزایش می یابد.

واژه‌های کلیدی: چدن ADI، فولاد آلیاژی 42CrMo4، انرژی ویژه تراش، زبری سطح.

۱- دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز. mrshabgard@tabrizu.ac.ir.

۲- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، باشگاه پژوهشگران جوان h.abbasiirvanlo@yahoo.com

۳- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی تبریز hadibageri@yahoo.com

۴- استادیار دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد شیراز sajjafari@shirazu.ac.ir

پیشگفتار

چدن نشکن آستمپر شده^۱ (ADI) به عنوان یک ماده مهندسی جدید، به دلیل دارا بودن خواص منحصر به فردی مانند نسبت بالای استحکام به وزن، قابلیت انعطاف پذیری و چقرمگی مناسب، داشتن مقاومت خستگی و سایشی بالا و هزینه های تولید کم تر نسبت به فولاد، جایگاه خاصی را در صنایع گوناگون بویژه صنعت خودرو به خود اختصاص داده است و به گونه گسترده در حال جایگزین شدن به جای قطعات فولادی در صنایع گوناگون می باشد. فولاد کم آلیاژی 42CrMo4، به دلیل دارا بودن ترکیب شیمیایی مناسب در شرایط سخت گردانی، کوئنچ و عملیات حرارتی، هم چنین، تافنس همراه با استحکام بالا با وجود داشتن هزینه تولید و تهیه بالا، کاربرد فراوانی در صنایع گوناگون دارد [۱]. علاوه بر هزینه تولید بالاتر یکی دیگر از معایب این فولاد در مقایسه با چدن نشکن آستمپر شده ضرورت انجام عملیات حرارتی آنیل پیش از ماشین کاری بر این فولاد و سپس انجام عملیات سخت گردانی بر روی آن می باشد که می تواند باعث ایجاد اعوجاج و در نتیجه، کاهش دقت ساخت قطعات تولیدی گردد. از سوی دیگر، مطالعات انجام شده نشان می دهد چدن ADI با وجود داشتن برخی از مشکلات ماشین کاری به علت این که دارای خواص مکانیکی مشابه با این فولاد داشته و در مقایسه با آن دارای هزینه تولید کم تر می باشد، لذا در راستای کاهش هزینه های تولید، چدن مذکور جایگزینی مناسب برای فولاد کم آلیاژی 42CrMo4 می باشد. به همین منظور، صنایع ریخته گری گوناگون از جمله شرکت ریخته گری تراکتورسازی تلاش می نمایند با غلبه بر مشکلات ماشین کاری چدن ADI، آن را جایگزین فولاد مذکور به صنایع گوناگون قطعه سازی و ماشین سازی معرفی نمایند. جدول ۱ خواص مکانیکی اندازه گیری شده مربوط به این دو ماده را نشان می دهد.

در ارتباط با ماشین کاری چدن و انواع فولادها پژوهش های متعددی انجام شده است. شارما و همکاران^۲ [۲]، قابلیت ماشین کاری چدن ADI آستمپر شده را در

سه دمای گوناگون بررسی کرده و گزارش کردند، با افزایش دمای آستمپر، قابلیت ماشین کاری این ماده افزایش می یابد. کلوک و همکاران^۳ [۳] در مطالعات انجام شده در مورد ماشین کاری چدن ADI به این نتیجه رسیدند که چون در زمان ماشین کاری این ماده در سطح قطعه یک استحاله فازی شدید موضعی رخ می دهد و سبب می شود سختی سطح به شدت بالا رود، برای افزایش عمر ابزار در ماشین کاری چدن ADI، بهتر است نرخ متوسط براده برداری تقریباً ۰.۷۵٪ نرخ متوسط براده برداری چدن نشکن پرلیتی باشد. هم چنین، در مقایسه با فلزاتی با سختی برابر بهتر است سرعت برشی حدود ۰.۵٪ کم تر و عمق براده برداری حدود ۰.۵٪ بیش تر انتخاب شود. آویشن و همکاران [۴] با بررسی مکانیزم ماشین کاری چدن ADI نشان داده اند که در تراش کاری با سرعت های برشی پایین، به دلیل افزایش سختی سطح قطعه کار، قابلیت ماشین کاری آن کم تر می شود. در حالی که در تراش کاری با سرعت های برشی بالا، قابلیت ماشین کاری افزایش می یابد. کامرومن و همکاران^۴ [۵] قابلیت ماشین کاری فولاد 42CrMo4 در دو حالت خشک و استفاده از مایع خنک کننده با فشار بالا را مورد مطالعه قرار داده و مشخص نمودند که استفاده از مایع خنک کننده با فشار بالا باعث کاهش زبری سطح قطعات ماشین کاری شده و هم چنین، به دلیل کاهش دمای سطح ابزار و قطعه کار فرسایش ابزار نیز کاهش می یابد. سعیدی و همکاران [۶] قابلیت ماشین کاری چدن نشکن آستمپر شده با قابلیت ماشین کاری^۵ را مورد بررسی قرار داده اند. در پژوهش آن ها مشخص گردید که چدن نشکن آستمپر شده با قابلیت ماشین کاری به دلیل سختی کم تر و مقدار آستنیت باقی مانده ناچیز در ساختار، دارای نیروی برشی کم تری در مقایسه با چدن نشکن آستمپر معمولی می باشد که امر باعث افزایش قابلیت ماشین کاری آن نسبت به چدن های آستمپر معمولی می شود.

هدف این پژوهش مقایسه قابلیت ماشین کاری چدن ADI و فولاد 42CrMo4 با در نظر گرفتن پارامترهای

³ - F. Klocke

⁴ - M. Kamruzzaman

⁵ - Machinable Austempered Ductile Iron (MADI)

¹ - Austempered ductile iron

² - S.C Sharma

قرار گرفتند. ترکیب شیمیایی نمونه‌های فولاد آلیاژی 42CrMo4 در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

برای انجام آزمایش‌های ماشین‌کاری، سرعت برشی در سه سطح و سرعت پیشروی در دو سطح انتخاب گردید. عملیات ماشین‌کاری با استفاده از دستگاه تراش (CNC- TME 40) در شرایط خشک انجام گرفت و جهت محاسبه انرژی ویژه تراش ابتدا مولفه اصلی نیروی تراش (F_t) با استفاده از دینامومتر (Keystre 9257BA) اندازه‌گیری و سپس با استفاده از رابطه (۱) مقادیر انرژی ویژه تراش محاسبه گردید.

$$P_s = \frac{F_t}{A_c} \quad (1)$$

که در این رابطه، P_s انرژی ویژه تراش (N/mm^2) یا (KJ/mm^3)، F_t نیروی مماسی (N) و A_c سطح مقطع براده تغییر شکل نیافته (mm^2) می‌باشد. تمامی نمونه‌ها با استفاده از ابزار کاربیدی CM3 (k20) پوشش دار (TiN, Ti(N,C)) و با نگهدارنده ابزار (12-PCLNR) 20×20 ماشین‌کاری شدند. در تمامی آزمایش‌ها عمق برش ۱ میلی‌متر انتخاب شد و برای کمینه کردن ارتعاش در حین عملیات ماشین‌کاری از تیغچه با زاویه آزاد صفر درجه استفاده شد. همچنین، جهت اندازه‌گیری زبری سطح قطعات ماشین‌کاری شده، دستگاه زبری سنج Taylor Hobson مدل Surtronic 25 بکار گرفته شد. جدول ۴ پارامترهای ورودی جهت انجام آزمایش‌ها و مقادیر بدست آمده را نشان می‌دهد.

بحث و نتایج

تأثیر جنس قطعه کار بر روی انرژی ویژه تراش

شکل‌های ۱ و ۲ تأثیر جنس قطعه کار همزمان با افزایش سرعت برشی را بر انرژی ویژه تراش نشان می‌دهند. همان گونه که مشاهده می‌شود، انرژی ویژه تراش چدنی (ADI) بیش‌تر از نمونه‌های ماشین‌کاری شده فولادی (42CrMo4) می‌باشد. دلیل این امر را در درجه نخست می‌توان به استحاله تغییر شکل مومسان آستنیت به مارتنزیت، در نتیجه اعمال نیروهای مکانیکی

ورودی (سرعت برشی و سرعت پیشروی) بر مهم‌ترین پارامترهای خروجی (انرژی ویژه تراش و زبری سطح قطعه کار) می‌باشد.

مواد و روش پژوهش

بمنظور تهیه چدن ADI، نمونه قطعات جهت ماشین‌کاری چدن در شرکت ریخته‌گری تراکتورسازی ایران عملیات ریخته‌گری انجام گرفت. در این شرکت جهت تهیه مذاب از ۶۰ درصد چدن نشکن برگشتی و ۴۰ درصد قراضه فولادی در کوره القایی ۱ تنی فرکانس پایین استفاده شد. عمل آلیاژسازی به وسیله مس خالص و نیکل الکترولیزی با درجه خلوص ۹۹/۹ درصد و فرو مولیدن Fe-Mo 65-70% انجام گرفت. پس از دستیابی به ترکیب شیمیایی بهینه، عمل جوانه‌زای به وسیله فرو سیلیسیم Fe-Si 75% پیش از ریختن مذاب در پاتیل و در دمای $1476^\circ C$ انجام شد. همچنین، عملیات کروی سازی به روش ساندویچی و با استفاده از آلیاژ فروسیلیسیم منگنز Fe-Si-Mg 5.5% در بوته پیش‌گرم شده انجام گرفت. برای مشخص شدن ترکیب شیمیایی مذاب، یک نمونه پولکی فتواسپکترومتری به قطر ۳ سانتی‌متر و ضخامت $3/5$ میلی‌متر با استفاده از ریختن مذاب در قالب مسی تهیه شد و پس از سنگ‌زنی با دستگاه سنگ مغناطیسی و چربی‌زدایی، ترکیب شیمیایی آن مشخص گردید. ترکیب چدن بدست آمده بر اساس استاندارد ASTM A897 جزء گروه ۱ که نرم‌ترین و مناسب‌ترین گروه برای ماشین‌کاری است، می‌باشد. همچنین، بمنظور آستمپر کردن، تمامی نمونه‌ها، در دمای ثابت ($3^\circ C \pm 875$) و به مدت ۶۰ دقیقه در کوره حمام نمک با ترکیب (50%NaCl - 50%Na₂CO₃) آستنیت‌دهنده و بلافاصله در کوره حمام نمک دیگری (40%NaNO₂-40%NaNO₃-20%KNO₃) در دمای ($3^\circ C \pm 375$) به مدت ۶۰ دقیقه آستمپر شدند. جدول ۲ ترکیب شیمیایی نمونه‌های ریخته‌گری چدن ADI را نشان می‌دهد. همچنین، برای آماده سازی نمونه های فولاد آلیاژی 42CrMo4، نمونه‌ها بر اساس استاندارد EN 10083-1 با قطر 17 mm آماده سازی شده و مورد عملیات حرارتی

کم‌تری برای تغییر شکل براده مصرف می‌شود و این مسئله باعث کاهش مقدار انرژی ویژه تراش می‌گردد [۷].

تأثیر جنس قطعه کار بر روی زبری سطح

شکل ۵ تأثیر جنس قطعه کار بر زبری سطح قطعات ماشین کاری شده چدنی و فولادی نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود، مقدار زبری سطح قطعات ماشین کاری شده چدنی (ADI) بسیار کم‌تر از زبری نمونه‌های فولادی (42CrMo4) می‌باشد زیرا ساختار چدن نشکن آستمپر شده ترکیبی از فریت و آستنیت پر کربن است، با توجه به این که فریت چدن حاوی سیلیسیم است، اثر سخت شونده‌ی سیلیسیم حل شده در فریت سبب می‌شود که سطح حاصل از ماشین کاری این چدن صاف و هموارتر باشد [۹]. همچنین، به دلیل وقوع پدیده کار سختی در حین ماشین کاری این چدن و ایجاد یک لایه سخت روی سطح قطعه کار بعد از ماشین کاری، تماس سطح آزاد ابزار با سطح ماشین کاری شده آسیبی به سطح فصل مشترک ابزار و قطعه کار وارد نمی‌کند و در نتیجه این لایه سخت می‌تواند موجب بهبود کیفیت سطح ماشین کاری شده شود.

تأثیر سرعت برشی بر زبری سطح

بر اساس شکل ۵ با افزایش سرعت برشی در ماشین کاری چدن ADI زبری سطح تقریباً ثابت می‌ماند. به نظر می‌رسد علت این امر کم بودن میزان ضریب اصطکاک مابین ابزار و چدن و ایجاد شدن براده‌های منقطع در فرآیند تراشکاری این ماده است. به گونه‌ای که هر دو عامل سبب شده اند افزایش سرعت برشی تأثیری چشمگیر بر کاهش ضریب اصطکاک مابین ابزار - قطعه کار و ابزار- براده نداشته و در نتیجه، به دلیل نزدیک تر بودن ارتفاع واقعی ناهمواری‌ها به ارتفاع تئوریک آن‌ها، سرعت برشی اثر چندانی بر زبری سطح نداشته باشد [۱۰]. هم‌چنین، شکل ۵ تأثیر سرعت برشی بر زبری سطح قطعات فولاد 42CrMo4 را نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود با افزایش سرعت برشی زبری سطح کاهش می‌یابد. دلیل کاهش زبری سطح در اثر افزایش سرعت برشی را چنین می‌توان توجیه نمود که با افزایش

(TRIP)^۱ در چدن ADI مرتبط دانست و این چنین گفت که در هنگام ماشین کاری چدن ADI در سطح قطعه کار آستنیت پر کربن موجود در اثر اعمال نیروی ماشین کاری به صورت موضعی به مارتنزیت تبدیل شده و به سبب افزایش سختی سطحی و موضعی قطعه کار، موجب افزایش نیرو و انرژی ویژه تراش می‌گردد [۴]. از سوی دیگر، افزایش نیروی برش سبب افزایش فشار در فصل مشترک ابزار و قطعه کار گردیده و موجب افزایش میزان تغییر شکل براده می‌شود، به گونه‌ای که این عامل با تأثیر مضاعف سبب افزایش انرژی ویژه تراش می‌گردد [۷].

تأثیر سرعت برشی بر انرژی ویژه تراش

شکل‌های ۳ و ۴ تأثیر سرعت برشی را بر انرژی ویژه تراش نمونه‌های فولادی و چدنی در مقادیر گوناگون سرعت پیشروی نشان می‌دهند. بر اساس این شکل‌ها، با افزایش سرعت برشی، انرژی ویژه تراش (P_s) در هر دو جنس قطعه کار (فولادی و چدنی) کاهش می‌یابد. دلیل این مسئله را این گونه می‌توان بیان کرد که نخست با افزایش سرعت برشی، مساحت صفحه برش کاهش یافته و در نتیجه، حجم ناحیه تغییر شکل اولیه نیز کم‌تر می‌شود و مقدار انرژی مصرفی برای تغییر شکل براده کاهش می‌یابد، دوم این که با افزایش سرعت برشی نیروی اصطکاک روی سطح قلم کم‌تر شده و باعث افزایش بازده ماشین کاری و در نتیجه، کاهش مقدار انرژی مصرفی می‌گردد [۸ و ۷].

تأثیر سرعت پیشروی بر انرژی ویژه تراش

همان گونه که شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهند، با افزایش سرعت پیشروی مقدار انرژی ویژه تراش کاهش می‌یابد. چون در تراش متعامد، نرخ پیشروی با ضخامت براده تغییر شکل نیافته برابر است [۷] و با در نظر گرفتن این امر که لایه‌های نزدیک به سطح ابزار با تغییر شکل بیش‌تری نسبت به لایه‌های دورتر از سطح مواجه می‌شوند، لذا با افزایش نرخ پیشروی به گونه نسبی انرژی

¹ - Transformation Induced Plasticity

نتیجه‌گیری

در این پژوهش قابلیت ماشینکاری چدن ADI و فولاد 42CrMo4 از لحاظ مقادیر انرژی ویژه تراش و زبری سطح ماشین‌کاری شده مورد بررسی قرار گرفت و نتایج مهم زیر بدست آمد:

- ۱- مقدار انرژی ویژه تراش برای ماشین‌کاری چدن ADI بیش‌تر از نمونه‌های فولادی 42CrMo4 می‌باشد.
- ۲- با افزایش سرعت برشی در فرآیند تراشکاری قطعات با جنس‌های گوناگون (قطعات فولادی و چدنی) انرژی ویژه تراش کاهش می‌یابد.
- ۳- مستقل از جنس قطعه کار، با افزایش سرعت پیشروی مقدار انرژی ویژه تراش برای قطعات فولادی و چدنی روندی نزولی دارد.
- ۴- زبری سطح قطعات ماشین‌کاری شده چدن ADI بسیار کم‌تر از نمونه‌های فولادی 42CrMo4 می‌باشد.
- ۵- افزایش سرعت برشی تأثیر چندانی بر زبری سطح قطعات ماشین‌کاری شده چدنی ADI نداشته در حالی که با افزایش سرعت برشی زبری سطح قطعات فولادی 42CrMo4 کاهش می‌یابد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از مدیریت و پرسنل محترم بخش فنی و مهندسی شرکت ریخته‌گری تراکتورسازی ایران- تبریز جهت همکاری صمیمانه آن‌ها در انجام این پژوهش سپاسگزاری کنند.

سرعت برشی تغییر شکل پلاستیکی آسان‌تر شده و اصطکاک بین سطح آزاد و سطح ماشین‌کاری شده و همچنین، اصطکاک بین سطح قلم و براده در اثر افزایش درجه حرارت کاهش می‌یابد. با کاهش نیروی اصطکاک براده راحت‌تر جدا شده و زبری سطح کم‌تر می‌شود [۷].

تأثیر سرعت پیشروی بر زبری سطح ایجاد شده

شکل ۶ تأثیر سرعت پیشروی بر زبری سطح قطعات ماشین‌کاری شده را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، با افزایش مقدار پیشروی، زبری سطح ماشین‌کاری شده افزایش می‌یابد. دلیل این مسئله را می‌توان به ارتباط مستقیم مقدار پیشروی ابزار و متوسط زبری سطح مرتبط دانست که در رابطه (۲) ارائه شده است.

$$R_a = \frac{0.0321 f^2}{r_e} \quad (2)$$

که در آن R_a زبری سطح، f مقدار پیشروی ابزار و r_e شعاع نوک قلم می‌باشد [۱۰]. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد زبری سطح با توان دوم مقدار پیشروی ابزار متناسب بوده و با تغییر آن به شدت تغییر می‌کند. با در نظر گرفتن رابطه ذکر شده بدیهی است با زیاد شدن نرخ پیشروی ابزار، مقدار زبری سطح قطعه کار افزایش یابد.

References

- 1- Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates, ASTM (E 647-00), 2001
- 2- K.H.W. Seah, and S.C. Sharma, "Machinability of Alloyed Austempered Ductile Iron", International Journal of Machine Tools and Manufacturing, 35 (10), pp.1475-1479, 1995.
- 3- F. Klocke, and C. Klpper, "Machinability Characteristics of Austempered Ductile Iron(ADI)", In Proceedings of the 2002 World Conference on ADI for Casting Producers, Suppliers and Design Engineers, Ductile Iron

Society and American Foundry Society, USA, 2002

- 4- B. Avishan, S. Yazdani, and V. Jalali, "The Influence of Depth of Cut on the Machinability of on Alloyed Austempered Ductile Iron", Materials Science and Engineering, A (523), pp. 93-98, 2009
- 5- M. Kamruzzaman, N. R. Dhar, "The Influence of High pressure Coolant on Temperature Tool Wear and Surface Finish in Turning 17CrNiMo6 and 42CrMo4 Steels", Journal of Engineering and Applied Sciences Vol. 4 (6), pp. 93-103, 2009

۶- م.ت. سعیدی، ن. ورهرام، جی.وی.اس.ناگسوارا راؤ، ن. باقرسای "بهبود ویژگی‌های مکانیکی چدن‌های نشکن آستمپر جهت افزایش قابلیت ماشین کاری و استحکام خستگی" نشریه مواد نوین، شماره ۳، ص ۱۱-۲۲، بهار ۹۰

۷- م. رازفر، اصول ماشینکاری و ابزار شناسی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ چهارم، ۱۳۸۴

8- E. M. Trent and P. K. Wright, "Metal cutting", 4th ed., Butterworth- Heinemann, Boston, 2000.

۹- م. ر. افضل، قطعات ریختگی چدن، ترجمه، مرکز انتشارات صنعت فولاد، چاپ اول ۱۳۷۳

۱۰- م. ر. خوئی، م. ر. افضل، مبانی ماشین کاری و ماشین‌های ابزار، ترجمه، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول ۱۳۷۸.

پیوست‌ها

جدول ۱- نتایج آزمایش‌های مکانیکی نمونه‌های آزمایشی

نمونه	استحکام کششی (MPa)	استحکام تسلیم (MPa)	ازدیاد طول نسبی (%)	سختی (BHN)	انرژی ضربه (J)
ADI	۹۲۵	۵۷۲	۷/۹۵	۹۷	۲۸۲
42CrMo4	۱۰۵۷	۷۳۶	۱۰/۳	۳۷	۲۴۵

جدول ۲- ترکیب شیمیایی نمونه‌های ریخته‌گری چدن ADI

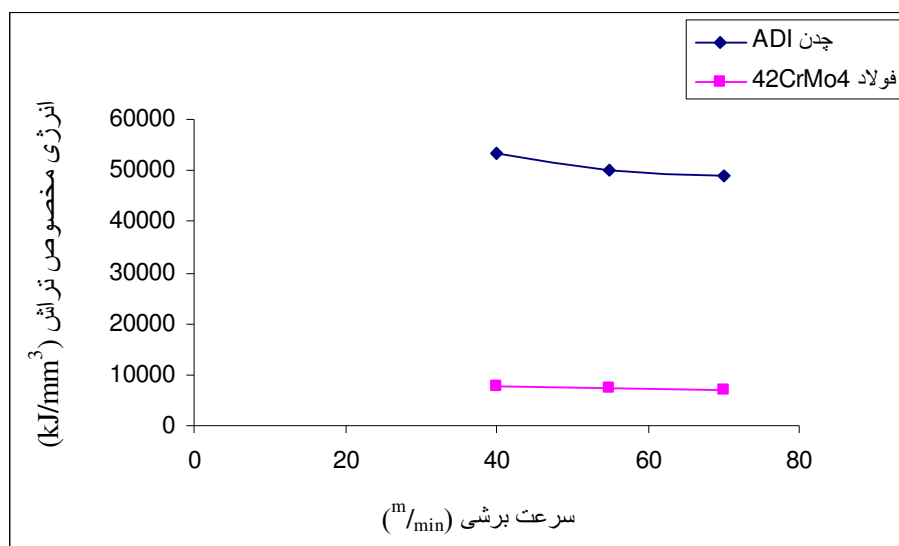
عناصر	C	Si	Mg	Mn	Cu	Ni	Mo	P
درصد	۳/۷۲	۲/۵۴	۰/۰۵	۰/۲۵	۰/۷۲	۰/۶۵	۰/۰۷	۰/۰۱

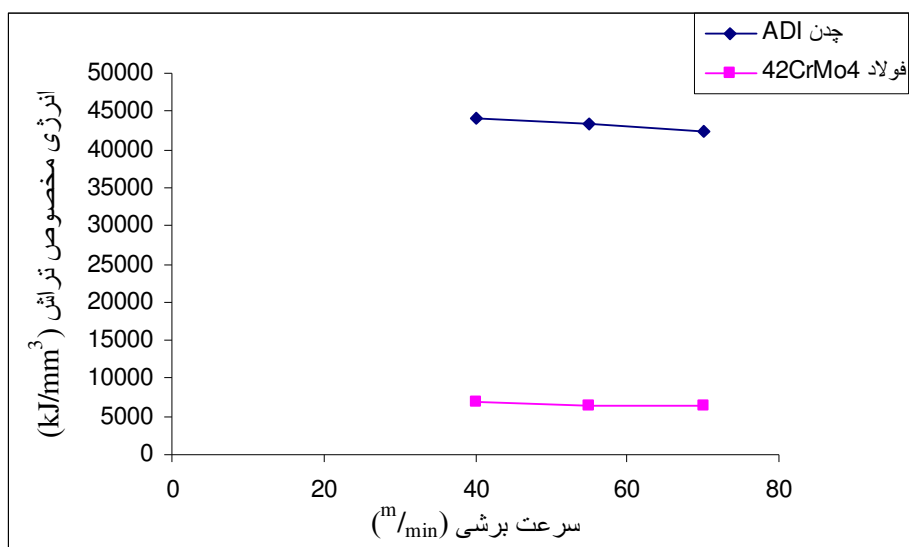
جدول ۳- ترکیب شیمیایی نمونه‌های فولادهای عملیات حرارتی 42CrMo4

عناصر	C	Si	S	Mn	Cr	Mo	P
درصد	۰/۴۲	۰/۲۵	۰/۰۳	۰/۷۵	۱/۱	۰/۲۲	۰/۰۳

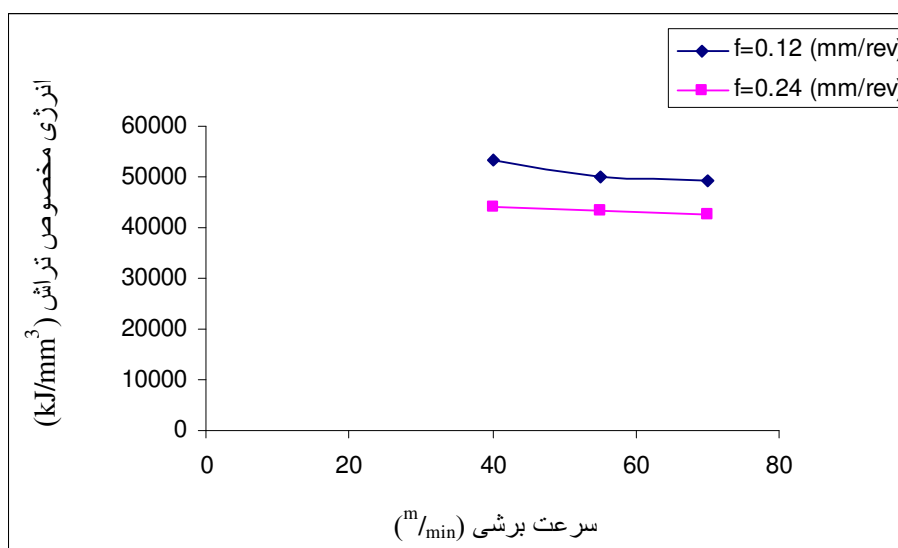
جدول ۴- شرایط آزمایش‌های ماشین‌کاری

F_t (N)		Ra(μ m)		سرعت برش (m/min)	سرعت پیشروی (mm/rev)	عمق برش (mm)	آزمایش‌ها
فولاد 42CrMo4	چدن ADI	فولاد 42CrMo4	چدن ADI				
۷۲۰۸	۵۳۲۴۱/۵	۶/۰۳	۰/۶۴۱	۴۰	۰/۱۲	۱	۱
۷۵۳۲/۵	۵۰۱۶۰	۴/۶۳	۰/۶۴۶	۵۵	۰/۱۲	۱	۲
۷۱۰۳	۴۹۱۱۰/۰۶	۴/۳۷	۰/۷	۷۰	/۱۲	۱	۳
۶۵۸۰/۸۳	۴۴۲۱۰/۹	۳/۹۳	۱/۲۲	۴۰	/۲۴	۱	۴
۶۳۴۴/۱۷	۴۳۳۵۲/۴	۳/۴۱	۱/۲۵	۵۵	۰/۲۴	۱	۵
۶۳۶۸/۹۲	۴۲۴۵۲/۵	۲/۷۵	۱/۲۷	۷۰	۰/۲۴	۱	۶

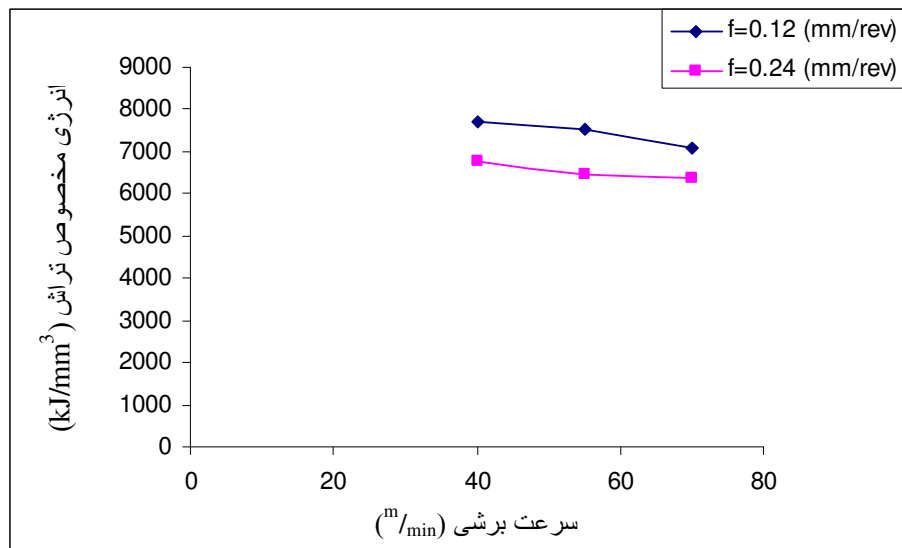
شکل ۱- تأثیر جنس قطعه کار بر انرژی ویژه تراش در سرعت‌های برشی گوناگون ($f=0.12$ mm/rev)



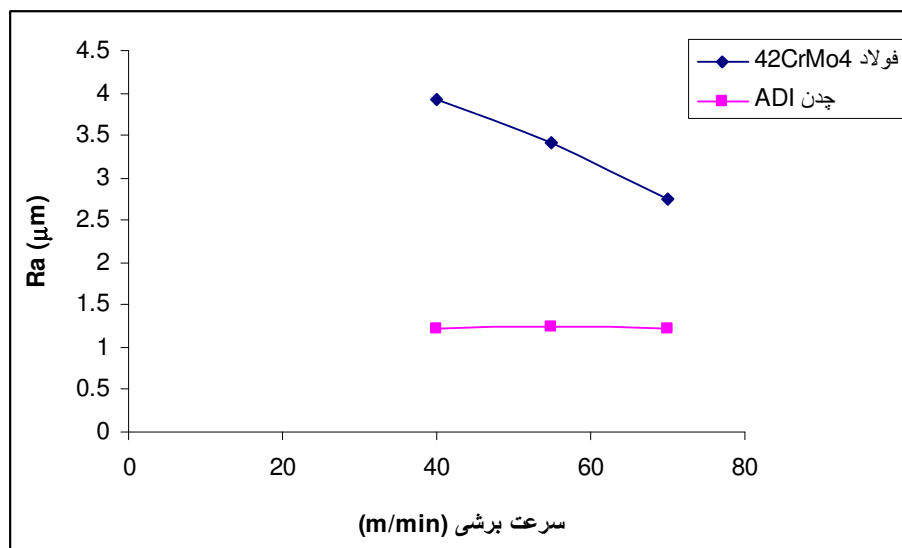
شکل ۲- تأثیر جنس قطعه کار بر انرژی ویژه تراش در سرعت‌های برشی گوناگون ($f=0.24$ mm/rev)



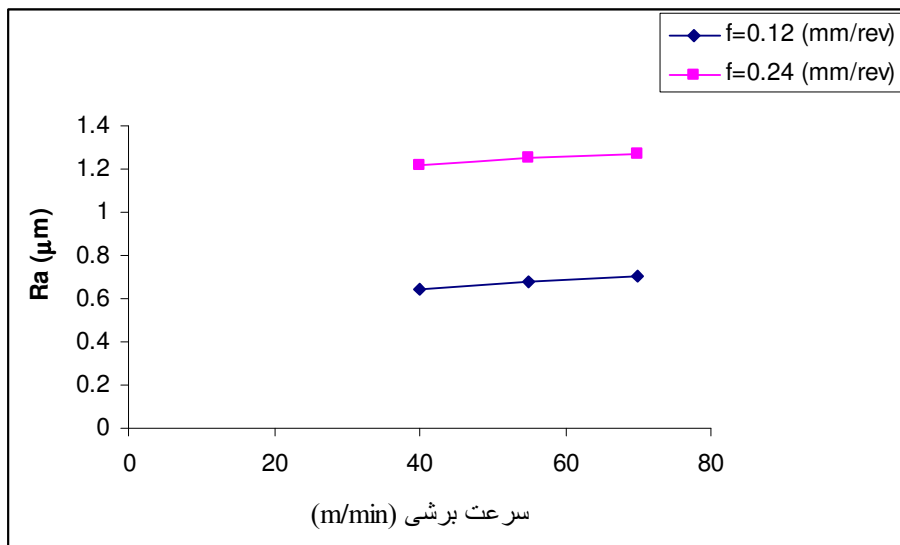
شکل ۳- تأثیر سرعت برشی بر انرژی ویژه در سرعت‌های پیشروی متفاوت (جنس قطعه: فولاد 42CrMo4).



شکل ۴- تأثیر سرعت برشی بر انرژی ویژه تراش در سرعت‌های پیشروی متفاوت (جنس قطعه: چدن ADI).



شکل ۵- تأثیر جنس قطعه کار بر زبری سطح در سرعت‌های برشی گوناگون ($f=0.24$ mm/rev).



شکل ۶- تأثیر سرعت پیشروی بر زبری سطح قطعات ماشین کاری شده (جنس قطعه: چدن ADI)