

مطالعه تجربی ماشینکاری آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۳ در شرایط خشک

حمید ویسی^۱، رسول سیار^۱، محمد رضا ابراهیمیان^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی کار قزوین، rasulsayar.rs@gmail.com

۲- دکتر، استادیار، موسسه آموزش عالی کار، قزوین، ebrahimian.reza@gmail.com

چکیده:

فرآیند ماشینکاری به دلیل محاسن زیادی که دارد یکی از فرآیندهای تولیدی پر کاربرد جهت تبدیل ماده‌ی خام به محصول نهایی می‌باشد که به شکل وسیع در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. آلیاژهای سری ۶۰۰۰ آلومینیوم از جمله آلیاژ A16063 از مواد پرمصرف در صنایع مختلف بخصوص خودرو سازی و ساخت پروفیل درب و پنجره‌های ساختمانی است. از اصلی ترین مزیت‌های آلومینیوم که منجر به کاربرد گسترده‌ی آن میشود، میتوان به استحکام نسبتا بالا، مقاومت به خوردگی و سبکی اشاره کرد. به دلیل ایجاد بارهای مکانیکی حین عملیات تراشکاری و تغییر شکل پلاستیک، برخی خواص مکانیکی ماده تغییر میکنند و کنترل تغییرات ذکر شده در ماشینکاری اهمیت زیادی دارد و تاثیر فراوانی بر روی عمر و کارکرد قطعات دارد. زبری سطح یکی از پارامترهای مهم در عملیات ماشینکاری روی سطح قطعه است. نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان داده که با افزایش نفوذ ابزار ماشینکاری تا عمق 0.5 mm نیروی مناسبی اعمال میشود و بیشتر از 0.5 mm نیروی اضافی ایجاد میشود که باعث کاهش نیروی براده برداری و بوجود آمدن لبه‌ی انباشته میشود. از طرفی تغییرات زبری سطح وابسته به پیشروی است و با افزایش پیشروی ناهمواری های سطح بیشتر میشود.

کلمات کلیدی: ماشینکاری آلومینیوم، نیرو ماشینکاری، صافی سطح

مقدمه:

امروزه در صنایع اتومبیل سازی و ساختمانی تقاضا برای مواد با چگالی کم که توانایی تحمل نیروی قابل ملاحظه‌ای داشته باشد افزایش یافته است. آلیاژهای آلومینیوم به دلیل وجود قابلیت تحمل نیروی زیاد نسبت به وزن خود یکی از محبوبترین مواد برای شرایط فوق میباشد [۱]. وجود خواص منحصر به فرد شامل قابلیت ماشینکاری، ضریب انتقال حرارت، سبک بودن و مقاومت به سایش آلیاژ Al6063 را به آلیاژی پرکاربرد در صنایع خودروسازی و ساختمانی تبدیل کرده است [۲]. تخمین زده میشود که تقریباً ۱۵٪ از ارزش تمام شده ساخت اجزای مکانیکی در جهان از عملیات ماشین کاری برگرفته میشود [۳]. در سالهای اخیر، بخصوص در صنایع ماشینکاری پیشرفته تلاش برای دستیابی به کیفیت سطح، دقت و نرخ تولید بالا و صرفه جویی در هزینه بسیار اهمیت پیدا کرده است. در فرایند تراشکاری کیفیت سطح با توجه به زبری سطح اندازه گیری میشود [۴]. در عملیات ماشینکاری پارامترهایی مانند سرعت برشی، عمق برش، پیشروی و شعاع ابزار تاثیر قابل مشاهده‌ای روی سطح نهایی دارد [۵]. بنابراین به منظور دستیابی به زبری سطح مناسب، تنظیم پارامترهای برش قبل از انجام فرآیند ماشینکاری بسیار مهم است [۶]. تخمین نیروی برشی یکی از روشهای تشخیص شرایط برش میباشد که اندازه‌گیری آن برای دستیابی به دقت ابعادی و ثبات ماشینکاری بسیار مهم است [۷]. افزایش نیروی ماشینکاری در عملیات تراشکاری تاثیر بسیار زیادی روی دمای ماشینکاری و کیفیت سطح دارد و در نتیجه کنترل نیروهای ماشینکاری توسط پارامترهای فرآیند میتواند کیفیت سطح و عمر ابزار را افزایش دهد [۸،۹]. اثرات پیچیده و متقابل در سطح تماس بین ابزار و قطعه کار در طول فرآیند ماشینکاری باعث ایجاد نیروی قابل توجهی میشود. افزایش نیروی ماشینکاری علاوه بر افزایش درجه‌ی حرارت باعث شکست ابزار و کاهش دقت ابعادی و کیفیت سطح میشود [۱۰]. تعیین نیروهای برشی در طول فرآیند ماشینکاری به دلیل تاثیر مستقیم آن بر تولید گرما، فرسایش ابزار، کیفیت سطح ماشینکاری شده و دقت ابعادی قطعه کار بسیار اهمیت دارد [۱۱]. همچنین هندسه‌ی ابزار، به خصوص زاویه و شعاع نوک ابزار، تغییرات هندسی ناشی از سایش و لبه‌های ایجاد شده به شدت بر نیروهای ماشینکاری آلیاژهای آلومینیوم تاثیر میگذارد [۱۲،۱۳]. طی تحقیقات تیلی و همکاران [۱۴] تاثیر شعاع ابزار بر زبری سطح در تراشکاری فولاد AISI52100 مورد بررسی قرار گرفت و دریافتند که سرعت پیشروی و شعاع ابزار بیشترین تاثیر را بر زبری سطح دارد و هندسه‌ی لبه‌ی برشی، سرعت پیشروی و مقدار سختی مواد بیشترین سهم را در نیروهای مماسی و شعاعی دارند. ریچ و همکاران [۱۵] تاثیر سرعت برشی و پیشروی با عمق برشی ۰.۶ mm بر زبری سطح روی فولاد AISI-1050 مورد تحقیق قرار دادند و دریافتند که با کاهش سرعت پیشروی، زبری سطح کاهش مییابد. تاثیر سرعت برشی، پیشروی و عمق برش بر زبری سطح توسط روا و همکاران [۱۶] مورد بررسی قرار گرفت و دریافتند که پیشروی و عمق برش به ترتیب بیشترین و کمترین تاثیر بر زبری سطح را دارد. مفاهیم ماشینکاری خشک و اهمیت آن در ماشینکاری مواد سخت و تأثیر آن بر محیط زیست توسط پراساد و همکاران [۱۷] در فولاد EN31 با ابزار PCBN مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده کردند که با افزایش سرعت برشی، زبری سطح افزایش مییابد و عمق برشی تأثیری بر مقدار زبری ندارد. همچنین مقادیر زبری سطح با تغییر سرعت برشی به صورت غیر خطی تغییر میکند. سلواراج و همکاران [۱۸] نیروی برشی، زبری سطح و سایش ابزار را با در نظر گرفتن سرعت برشی و

نرخ پیشروی متغیر و عمق بار ثابت (۰.۵ mm) را در انواع مختلف آلیاژهای فولاد زنگ نزن مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که سرعت برشی و نرخ پیشروی بیشترین تاثیر را در زبری سطح واریانس اثر پارامترهای برش در فرآیند تراشکاری دارند و دریافتند که سرعت برش و نرخ پیشروی دو عامل مهم در تعیین نیروی برش و زبری سطح هستند. امروزه ماشینکاری آلیاژهای آلومینیوم به طور قابل ملاحظه ای در نسبتهای حجمی افزایش یافته است به طوری که حجم تراشه در بخشهای خاصی از صنایع مانند هوافضا حدود ۱۰٪ حجم اصلی این آلیاژ را تشکیل می دهد. آلیاژ آلومینیوم Al6063 یکی از مواد پرمصرف در صنایع مختلف بخصوص صنایع هوافضا میباشد که تا کنون تحقیقات محدودی روی تراشکاری آلیاژ آلومینیوم Al6063 خشک جهت بررسی تاثیر نیروهای براده برداری با سرعت های مختلف بر کیفیت سطح قطعه ماشینکاری شده صورت پذیرفته است. با توجه به فراوانی استفاده از این ماده و همچنین تاثیر زیاد، پارامترهای ماشینکاری (سرعت برشی، عمق برش، پیشروی و غیره) و شعاع ابزار بر زبری سطح و نیروهای ماشینکاری و در حالت ماشینکاری خشک، سبب اهمیت مطالعه روی این موضوع را بیان میکند.

بیان مسئله، نوآوری و ذکر اهداف

در پژوهش حاضر تاثیر پارامترهای ماشینکاری از جمله سرعت برشی، عمق برش، پیشروی و شعاع ابزار در حالت خشک و در نهایت اثر هر یک از پارامترها بر نیروی ماشینکاری و زبری سطح تولید شده حین فرآیند مورد بررسی قرار گرفته است. در همین راستا ابتدا تعداد ۸ آزمایش با شرایط خشک انجام شده است. برای بررسی نیروی برشی ایجاد شده در حین فرآیند از دستگاه دینامومتر استفاده شده است. سپس با استفاده از دستگاه زبری سنج سطح، میانگین زبری سطح ماشینکاری اندازه گیری شد. در نهایت اثر هر پارامتر بر نیروی ماشینکاری و کیفیت سطح استخراج و گزارش شده است.

روش تحقیق

جهت بررسی نیروهای برشی و کیفیت سطح در فرآیند براده برداری آلیاژ آلومینیوم Al6063 ، تعداد ۸ آزمایش تحت شرایط خشک انجام شد. ماشینکاری روی نمونه های با قطر 23mm و طول 60mm به وسیله ی دستگاه تراش TND50 با حداکثر سرعت اسپیندل 1000rpm انجام شده. همچنین ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیوم Al6063 در جدول ۱ گزارش شده است. جهت براده برداری این آلیاژ از ابزار برشی تنگستن کاربیدی با مشخصات TNMG11510 با شعاعهای نوک ابزار 0.2mm ، 0.4 ، 0.8 استفاده شده است. آزمایشها تحت شرایط خشک با اعمال پارامترهای ماشینکاری (نرخ پیشروی، عمق برشی و سرعت برشی) مختلف به منظور بررسی اثر پارامترها بر نیروهای برشی و زبری سطح صورت پذیرفته و در جدول ۲ گزارش آورده شده است. جهت اندازه گیری دقیق نیروی ماشینکاری ایجاد شده حین فرآیند تمامی قطعات بین سه نظام و مرغک جهت جلوگیری از پدیده ی چتر توسط دستگاه KISTLER A5697 اندازه گیری شده و در ادامه جهت صحت اندازه گیری زبری سطح هر کدام از نمونه ها آزمایش سه مرتبه توسط دستگاه زبری سنج سطح مدل PCE RT 2200 اندازه گیری شده و میانگین آنها به عنوان خروجی گزارش شده است.

جدول ۱ - ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیوم Al6063

تیتانیوم Ti	آهن Fe	روی Zn	کروم Cr	منیزیوم Mg	منگنز Mn	مس Cu	سیلیسیوم Si	آلومینیوم Al	آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۳
0.1	0	0.1	0.1	0.675	0.1	0.1	0.4	98.49	درصد ترکیبات
.35									

جدول ۲ - پارامترهای ماشینکاری اعمال شده حین فرآیند

تعداد آزمایش	سرعت ماشین کاری V_c (rpm)	عمق بار ∂_p (mm)	سرعت پیشروی ∂_f (mm/rew)
1	710	0.5	0.20
2	500	0.5	0.20
3	1000	0.5	0.20
4	710	0.5	0.22
5	710	0.5	0.20
6	710	0.2	0.20
7	710	0.6	0.20
8	710	0.5	0.20

ارائه نتایج و بحث

تمرکز اصلی این قسمت به بررسی و تحلیل تجربی نیرو و زبری سطح آلیاژ آلومینیوم Al6063 در فرآیند تراشکاری جهت تسلط بر پیشبینی شرایط برش، اعم از تاثیر پارامترهای متغیر ماشینکاری (سرعت برشی، نرخ پیشروی، عمق برش و شعاع ابزار) بر دما و زبری سطح میباشد. در این راستا ۸ آزمایش در شرایط خشک مطابق جدول ۲ توسط دستگاه تراش مدل TND50 و ابزار برشی مدل TNMG11510 انجام شد. جهت اندازه گیری نیرو و تاثیر هر کدام از پارامترهای متغیر ماشینکاری (سرعت برشی، نرخ پیشروی، عمق برش و شعاع ابزار) بر نیروی ماشینکاری در حین فرایند برادهبرداری به طول ۴۰mm جهت دستیابی به حالت پایدار نیروی حاصل از براده برداری (از دستگاه دینامومتر کیسلر آلمان مدل KISTLER A5697 استفاده شده است. پس از ماشینکاری هر کدام از نمونه ها توسط دستگاه زبری سنج مدل PCE RT 2200 جهت اطمینان از دقت و صحت اندازه سه مرتبه اندازه گیری شد و میانگین آن گزارش شده است. در نهایت اثر هر یک از

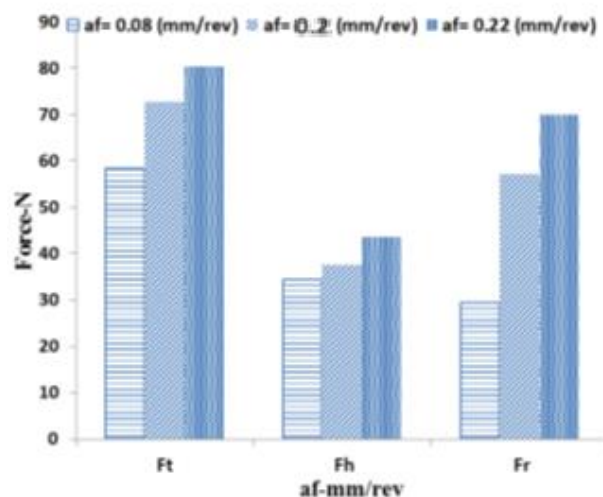
پارامترهای متغییر مطابق جدول ۲ بر مقدار نیروی حاصل از فرایند براده برداری و زبری سطح پس از ماشینکاری با یکدیگر مقایسه شدند.

بررسی نیروهای برشی:

در فرایند براده برداری حاصل از حرکت نسبی بین ابزار و قطعه کار تقریباً ۹۸٪ نیروی اعمال شده به قطعه کار جهت تغییر شکل ماده به حرارت تبدیل میشود. بنابراین نیروی به دست آمده از براده برداری یکی از پارامترهای مهم در فرایند ماشینکاری میباشد. این پدیده علاوه بر افزایش قیمت تمام شده محصول که حاصل از تأثیرات نامطلوب بر روی کیفیت سطح قطعه کار، دقت ابعادی، سایش ابزار و افزایش دما میباشد باعث عیوب کریستالی اعم از تنش پسماند و عیوب سطحی بر قطعه کار میشود. بنابراین درک درست از نیروی برشی حاصل از براده برداری و تسلط بر عوامل موثر بر آن بر کیفیت تراش محصول نهایی بسیار موثر است [۲۰]. به سبب اهمیت این موضوع در این تحقیق جهت مقایسه ی نیروی ماشینکاری در شرایط خشک تعدادی آزمایش صورت گرفته است.

تأثیر پیشروی بر روی نیروی ماشینکاری:

در شکل ۱ نتایج حاصل از مقایسه ی پیشروی های مختلف روی نیروی ماشینکاری را برای حالت های تجربی نشان داده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده در شکل ۱ حاصل از آزمایش تجربی و تأثیر پیشروی بر نیروهای برش همانطور که انتظار میرفت با افزایش پیشروی نیروی ماشینکاری افزایش یافته است، زیرا با افزایش پیشروی در زمان کوتاه تر نرخ مواد بیشتری از قطعه کار جدا شده که این خود سبب افزایش نیروی ماشینکاری میشود. در شکل ۳ نمودار زمان بر حسب نیروی تراشکاری برای ۸ آزمایش با شرایط متفاوت نشان داده شده است.

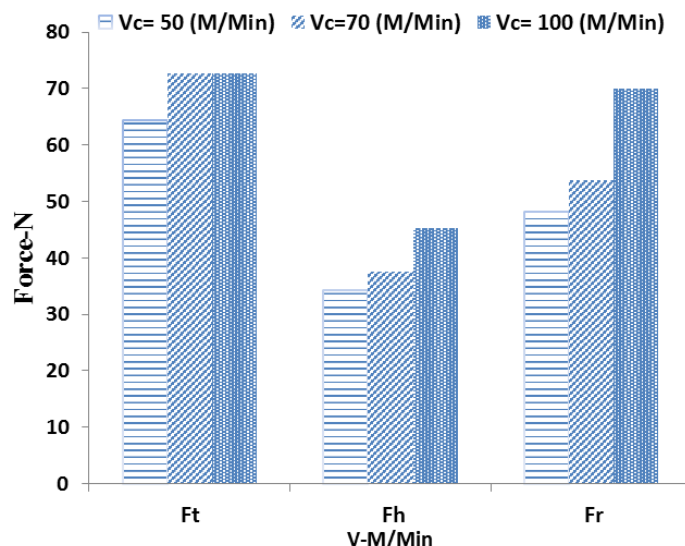


شکل ۱ - نمودار نیروهای تراشکاری نسبت به پیشرویهای مختلف

تأثیر سرعت برشی بر روی نیروی ماشینکاری:

همانطور که در متن مقاله اشاره شد جهت اندازه گیری نیروی ماشینکاری در جهات مختلف نیاز به دستگاه دینامتر است تا بتوان نیروهای حاصل از ماشینکاری را با دقت ۱ نیوتن اندازه گیری کرد. در این راستا نیروهای ماشینکاری برای ۸ آزمایش اندازه گیری شد. افزایش سرعت برشی نیروی ماشینکاری افزایش، عمر ابزار کاهش و کیفیت سطح و راندمان برش افزایش میابد در

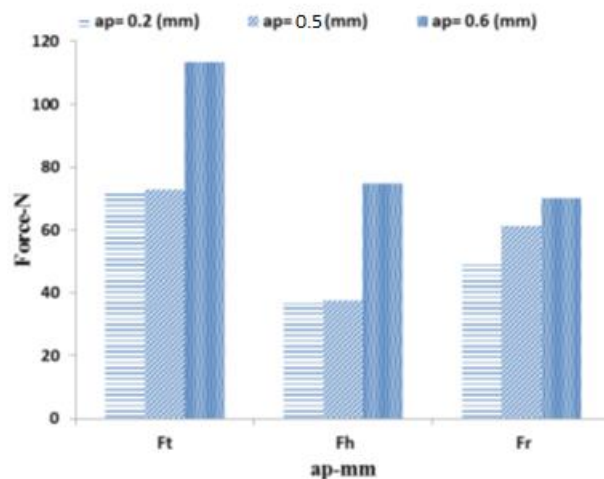
نتیجه بدست آوردن حالت بهینه آن در فرایند برش بسیار حائز اهمیت میباشد. مطابق نتایج حاصل از آزمایشات تجربی شکل ۲ میتوان نتیجه گرفت که با افزایش سرعت برشی نیروی ماشینکاری افزایش مییابد علت افزایش نیرو با افزایش سرعت برشی را میتوان با تولید حجم براده زیاد در زمان کوتاه تر توجیه کرد. برآیند همه نیروهای وارد به ابزار از طرف قطعه کار نیروی برشی گفته میشود. در عمل مولفه های این نیرو که در جهت حرکت اولیه و حرکت بار پیشروی قرار دارند مورد استفاده قرار میگیرند، و مقدار آن را میتوان به وسیله ی دستگاه دینامومتر اندازه گیری نمود. نیروی برآیند مقاوم برشی را میتوان به سه نیروی عمود بر هم که روی ابزار اعمال میشوند تجزیه کرد و به نیروی مماسی rF ، محوری hF و شعاعی rF تقسیم کرد. در شکل ۲ نتایج نیروهای تجزیه شده برای سرعت های برشی ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ نشان داده شده است. با افزایش سرعت برشی، مقدار هر سه نیروی تجزیه شده، افزایش مییابد.



شکل ۲ - نمودار نیروهای تراشکاری نسبت به سرعت های مختلف

تأثیر عمق برش بر روی نیروی ماشینکاری:

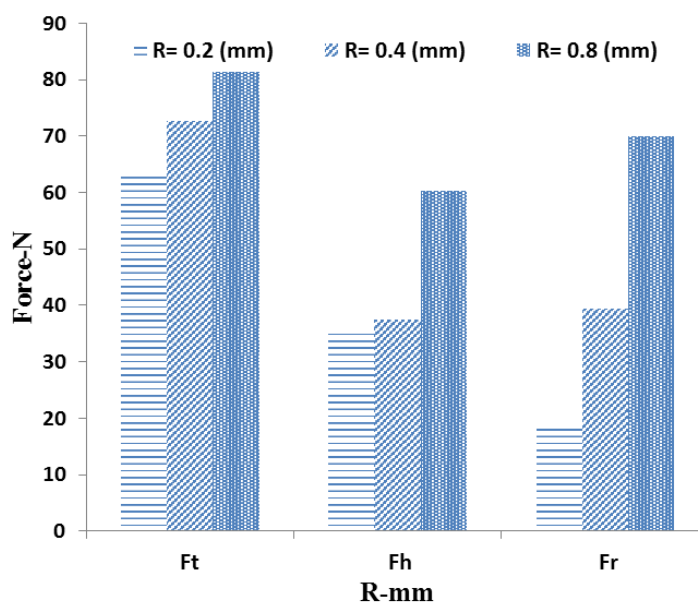
با افزایش عمق برش، عمق براده تغییر شکل نیافته افزایش یافته و در نتیجه سطح برش افزایش مییابد که باعث افزایش نیروی ماشینکاری میشود. با توجه به شکل ۳ افزایش نیرو تا عمق 0.5mm دارای نیروی مناسبی است و از 0.5mm به بعد دارای نیروی بیشتری میباشد که تخمین زده میشود علت تفاوت نیروی ایجاد شده وجود ارتعاش هنگام ماشینکاری و ایجاد پدیده ی چتر میباشد.



شکل ۳ - نمودار نیروهای تراشکاری نسبت به عمق بارهای مختلف

تأثیر شعاع ابزار بر روی نیروی ماشینکاری:

در کل با افزایش شعاع ابزار نیروی وارد بر ابزار در ماشینکاری افزایش مییابد. افزایش شعاع ابزار تأثیر به سزایی روی نیروی شعاعی و ایجاد نیروی براده برداری دارد. با توجه به آزمایشات انجام شده که در شکل ۴ نمایش داده شده است، با افزایش شعاع ابزار، نیروی اصلی ماشینکاری کاهش یافته است. این مساله را میتوان به این صورت توضیح داد که با کاهش نیروی ماشینکاری با افزایش شعاع ابزار وجود لبه انباشته هنگام ماشینکاری اشاره کرد. همچنین با توجه به شکل ۴ افزایش شعاع ابزار ۰.۵mm افزایش نیروی براده برداری را نشان میدهد و از ۰.۵mm به بعد وجود لبه انباشته کاهش نیروی براده برداری را نشان میدهد.



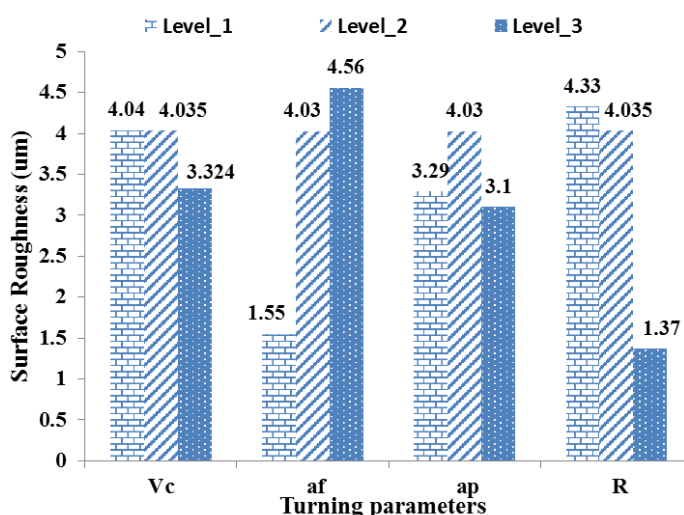
شکل ۴ - نمودار نیروهای تراشکاری نسبت به شعاع ابزار مختلف

بررسی زبری سطح:

با توجه به اینکه معمولاً فرآیندهای ماشینکاری، آخرین مراحل تولید قطعات صنعتی محسوب میشوند، اهمیت کیفیت سطح قطعاتی تولیدی در این فرآیندها بسیار حائز اهمیت است، یکی از فاکتورهای اصلی کنترل کیفیت سطح، پارامتر زبری سطح قطعات ماشینکاری شده میباشد. به دلیل اینکه کنترل زبری سطح در حین ماشینکاری به مهارت و شناخت جامعی از تأثیر پارامترهای ماشینکاری بر روی زبری نیاز دارد، در این راستا جهت بررسی این پارامترها، تعدادی آزمایش تحت شرایط خشک به ازای پارامترهای برشی گوناگون صورت پذیرفت. سپس زبری سطح ماشینکاری شده توسط دستگاه Roughness Tester PCE RT 2200 در سه نقطه اندازه گیری شد و سپس میانگین زبری سطح گزارش گردید. در نهایت اثر هر یک از شرایط برشی بر مقدار زبری سطح پس از ماشینکاری استخراج و تغییرات آن گزارش شد.

اثر سرعت برشی روی زبری سطح:

تغییرات زبری سطح نسبت به تغییرات سرعت برشی در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به نتایج تجربی به دست آمده با افزایش سرعت برشی زبری سطح کاهش و در نتیجه کیفیت سطح بهبود افزایش یافته است. علت بهبود کیفیت سطح با افزایش سرعت برشی را میتوان این چنین استدلال کرد که با افزایش سرعت برشی تغییرات شکل پلاستیکی آسانتر شده و اصطکاک بین سطوح کاهش مییابد. همچنین میتوان اختلاف اصلی در عدم روند یکنواختی سطح گراف بین سرعتهای پایین و بالا را به ایجاد لبه انباشته در سرعت های پایین تخمین زد.



شکل ۵ - نمودار زبری سطح متناسب به پارامترهای تراشکاری

اثر پیشروی روی زبری سطح:

با توجه به نتایج بدست آمده از تغییرات زبری سطح نسبت به پیشروی حاصل از آزمایش تجربی که در شکل ۵ آورده شده است، که با افزایش پیشروی زبری سطح افزایش مییابد. این نتایج با نتایج رابطه ۱ [19]، که تغییرات ناهمواری سطح را با نرخ پیشروی بیان میکند، مطابقت دارد:

$$H = \frac{a_f \sin x' \sin x}{\sin(x' + x)} \quad (1)$$

مقدار ناهمواری سطح، X زاویهی تنظیم اصلی، X' زاویهی تنظیم فرعی و a_f نرخ پیشروی هستند. اثر عمق برش بر روی کیفیت سطح با توجه به نتایج تجربی بدست آمده در شکل ۵، عمق برش تاثیر چندانی بر روی کیفیت سطح ندارد به همین دلیل در اکثر تحقیقات مقدار آن را ۱۰ برابر نرخ پیشروی میتوان انتخاب نمود. از مهمترین محدودیت های عمق برش بوجود آمدن پدیده ی چتر در اثر افزایش عمق است که تاثیر بسزایی روی زبری سطح ماشینکاری میتوان داشته باشد. اثر شعاع ابزار روی کیفیت سطح: تغییرات زبری سطح نسبت به تغییرات شعاع ابزار در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به نتایج تجربی به دست آمده با افزایش شعاع نوک ابزار زبری سطح کاهش و در نتیجه کیفیت سطح افزایش یافته است. نتایج حاصل از آزمایش ها نشان داد که زبری سطح با افزایش شعاع نوک ابزار کاهش می یابد و تأثیر شعاع نوک ابزار روی زبری سطح به مراتب از سرعت برشی بیشتر است.

نتیجه گیری

در این پژوهش تاثیر پارامترهای ماشینکاری شامل عمق برش، سرعت برشی، پیشروی و شعاع ابزار در حالت خشک و در نهایت اثر هر یک از پارامترها بر نیروی ماشینکاری و زبری سطح تولید شده حین فرآیند مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا تعداد ۸ آزمایش در شرایط خشک انجام شد. به منظور بررسی نیروی برشی ایجاد شده در حین فرآیند و میانگین زبری سطح ماشینکاری اندازه گیری شد. نتایج بدست آمده را میتوان به صورت زیر بیان کرد:

- براساس نتایج به دست آمده از آزمایشات تجربی شکل ۲ نتیجه میگیریم که با افزایش سرعت برشی نیروی ماشینکاری بیشتر میشود؛ علت افزایش نیرو با تغییرات سرعت برشی را میتوان با تولید حجم براده زیاد در زمان کوتاهتر توجیه کرد.
- با توجه به نتایج بدست آمده در شکل ۱ با افزایش پیشروی نیروی ماشینکاری افزایش یافته است؛ زیرا با افزایش پیشروی در زمان کوتاه تر نرخ مواد بیشتری از قطعه کار جدا شده که این خود سبب افزایش نیروی ماشینکاری میشود.
- با افزایش عمق برش، عمق براده تغییر شکل نیافته افزایش یافته و در نتیجه سطح برش افزایش مییابد که باعث افزایش نیروی ماشینکاری میشود.

- افزایش شعاع ابزار تا 0.5mm افزایش نیروی براده برداری میشود و از 0.5mm باعث بوجود آمدن لبه ی انباشته میشود که کاهش نیروی براده برداری را نتیجه میدهد.
- کیفیت سطح با افزایش سرعت برشی افزایش مییابد. با افزایش سرعت برشی تغییرات شکل پلاستیکی آسانتر شده و اصطکاک بین سطوح کاهش یافته و زبری سطح کاهش مییابد .
- تغییرات زبری سطح با افزایش پیشروی افزایش پیدا خواهد کرد.
- عمق برش تاثیر چندانی بر روی کیفیت سطح ندارد؛ به همین دلیل در اکثر تحقیقات مقدار آن را ۱۰ برابر نرخ پیشروی می توان انتخاب نمود.

مراجع

- [1] Nouari, M., et al., *Experimental analysis and optimisation of tool wear in dry machining of aluminium alloys*. *Wear*, 2003. 255(7-12): p. 1359-1368.
- [2] Rokni, M., et al., *An investigation into the hot deformation characteristics of 7075 aluminum alloy*. *Materials & Design*, 2011. 32(4): p. 2339-2344.
- [3] Recht, R., *Catastrophic thermoplastic shear*. *Journal of Applied Mechanics*, 1964. 31(2): p. 189-193.
- [4] Rao, S. N., Satyanarayana, B., & Venkatasubbaiah, K. (2011). *Experimental estimation of tool wear and cutting temperatures in MQL using cutting fluids with CNT inclusion*. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3(4).
- [5] Paul, N.E., P. Marimuthu, and R. VenkateshBabu, *Machining Parameter Setting For Facing EN8 Steel with TNMG Insert*. *American International Journal of Research in Science. Technology, Engineering & Mathematics*, 2013. 3(1): p. 87-92.
- [6] Thangarasu, S. K., Shankar, S., Thomas, A. T., & Sridhar, G. (2018, February). *Prediction of cutting force in turning process-an experimental approach*. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 310, No. 1, p. 012119). IOP Publishing.
- [7] Thangarasu, S. K., Shankar, S., Thomas, A. T., & Sridhar, G. (2018, February). *Prediction of cutting force in turning process-an experimental approach*. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 310, No. 1, p. 012119). IOP Publishing.
- [8] Gopalsamy, B. M., Mondal, B., & Ghosh, S. (2009). *Taguchi method and ANOVA: An approach for process parameters optimization of hard machining while machining hardened steel*.
- [9] Kumar, H., Abbas, M., Mohammad, A., & Jafri, H. Z. (2013). *Optimization of cutting parameters in CNC Turning*. *Optimization*, 3(3), 331-334.
- [10] Yallese, M. A., Chaoui, K., Zeghib, N., Boulanouar, L., & Rigal, J. F. (2009). *Hard machining of hardened bearing steel using cubic boron nitride tool*. *Journal of materials processing technology*, 209(2), 1092-1104.
- [11] Sanchez, J. M., Marcos, M., Sebastian, M. A., Sanchez, M., & Gonzalez, J. M. (2004). *Cutting force parametric model for turned AA2024 alloy workpieces*. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 43(2), 179-1
- [12] Saglam, H., Unsacar, F., & Yaldiz, S. (2006). *Investigation of the effect of rake angle and approaching angle on main cutting force and tool tip temperature*. *International Journal of machine tools and manufacture*, 46(2), 132-141.
- [13]. Gómez-Parra, A., Álvarez-Alcón, M., Salguero, J., Batista, M., & Marcos, M. (2013). *Analysis of the evolution of the Built-Up Edge and Built-Up Layer formation mechanisms in the dry turning of aeronautical aluminium alloys*. *Wear*, 302(1-2), 1209-1218.
- [14] Boothroyd, G. (1988). *Fundamentals of metal machining and machine tools* (Vol. 28). Crc Press.
- [15] Rech, J., & Moisan, A. (2003). *Surface integrity in finish hard turning of case-hardened steels*. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(5), 543

- [16] Rao, C. J., Rao, D. N., & Srihari, P. (2013). Influence of cutting parameters on cutting force and surface finish in turning operation. *Procedia Engineering*, 64, 1405-141
- [17] Selvaraj, D.P., P. Chandramohan, and M. Mohanraj, Optimization of surface roughness, cutting force and tool wear of nitrogen alloyed duplex stainless steel in a dry turning process using Taguchi method. *Measurement*.
- [18] Jadhav, J. S., & Jadhav, B. R. (2014). Experimental Study of Effect of cutting parameters on cutting force in turning process. *IJIRAE*, 1, 240-248.
- [19] Groover, M. P. 2020. *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. John Wiley & Sons.
- [۲۰] Dhar, N. R., & Kamruzzaman, M. (2007). Cutting temperature, tool wear, surface roughness and dimensional deviation in turning AISI-4037 steel under cryogenic condition. *International Journal of machine tools and manufacture*, 47(5), 754-759.