

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



Determination of appropriate parameters on surface finish during turning of a waspaloy using statistical evaluation

Abstract

Surface finish in machining is a function of different factors. In the present study, appropriate parameters on surface finish during turning are investigated. Therefore, using Minitab software, experimental design by Taguchi method was used and machining experiments on Waspaloy were carried out by a PVD coated carbide insert. Surface finish and the type of chip formation were evaluated. According to variance analysis the effects of influential factors were determined and by the analysis of signal to noise ratio, the optimum conditions of machining were specified. In the process of statistical method, cutting speed, feed rate and depth of cut were recognized to influence the surface finish. However, cutting speed had the most pronounced effect. The optimum conditions for cutting speed are suggested to be 100 m/min, the feed rate of 0.05 mm/rev and depth of cut of 0.1 mm. Also reducing the cutting speed resulted in the formation of serrated chip type which reduces the surface quality of the work piece.

Keywords: Machining, surface finish, chip formation, taguchi, superalloy waspaloy

تعیین پارامترهای مناسب بر صافی سطح در فرایند تراشکاری سوپرآلیاژ و سپلوی با استفاده از روش تحلیل آماری

چکیده

صافی سطح قطعه کار، تابعی از شرایط ماشین کاری است. در تحقیق حاضر، میزان تاثیر پارامترهای مناسب تراشکاری بر صافی سطح بررسی شده است. با استفاده از نرم افزار مینی تب پس از طراحی آزمایش به روش تاگوچی، تعدادی آزمایش ماشین کاری با ابزار برشی کاربید روکش دار (PVD AC520U)، بر روی وسیلوی انجام شد. میزان زبری سطح و تغییرات جزئی شکل هندسی براده مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) تأثیر عوامل و با آنالیز سیگنال به نویز (S/N) نمونه بهینه مشخص شد. در فرایند روش تحلیل آماری، سرعت برشی، نرخ پیشروی و عمق برش به ترتیب بیشترین تاثیر را دارند. برای نمونه بهینه سرعت برشی ۱۰۰ متر بر دقیقه، نرخ پیشروی ۰/۰۵ میلی متر بر دور و عمق برش ۰/۱ میلی متر بدست آمد. ضمناً با اعمال سرعت برشی کم، براده به صورت دندانه‌اره‌ای شد که تأثیر منفی بر کیفیت سطح می‌گذارد.

واژه های کلیدی: ماشین کاری، صافی سطح، هندسه براده، تاگوچی، سوپرآلیاژ و سپلوی

مقدمه

به طور کلی بهینه سازی فرایند ماشین کاری سوپرآلیاژها از دو جنبه می تواند مطرح باشد. اول، تقاضا و کاربرد روز افزون قطعات ماشین کاری شده از جنس سوپرآلیاژ در صنایع هوایی و هوافضا. دوم، بالا بودن هزینه های فرایند ماشین کاری. به همین جهت استفاده از روش های مختلف در طراحی این آزمایش ها برای کاستن از تعداد آن ها امری ضروری است، یکی از روش های مطرح و کاربردی، تاگوچی می باشد که اجرای آن در صنایع مختلف با موفقیت های زیادی همراه بوده است (Indrajit. M, Pradip. K. R, 2006). قابلیت ماشین کاری، چگونگی سهولت تراشکاری ماده به شکل مطلوب از نظر صافی سطح و تلرانس ابعادی است. در عملیات ماشین کاری، صافی سطح قطعات ماشین کاری شده و شکل براده در اندازه گیری قابلیت ماشین کاری استفاده می شد (Liu. F, et al. 2013) در فرایند تراشکاری، انتخاب پارامترهای بهینه به منظور دستیابی به عملکرد مناسب کاملاً ضروری است (Yang. W.H, Tarng. Y.S, 1998). سوپرآلیاژهای پایه نیکل حدود ۵۰ درصد وزنی اجزاء موتور هواپیماها را تشکیل می دهند. این آلیاژها در برابر حرارت مقاوم می باشند. (Weinert. K, Inasaki. I, Sutherland. J. W, Wakabayashi. T, 2004). در صنایع هوایی عواملی از قبیل تولید اجزاء بی نقص با کم ترین هزینه، نرخ تولید بالا، ایمنی اجزاء حساس و بحرانی مثل دیسک های توربین مهم هستند (Kwong. J, Axinte. D.A, Withers. P.J, Hardy. M.C, 2009). از آن جا که، صافی سطح نهایی نقش مهمی در خواص مکانیکی از جمله عملکرد خستگی قطعه دارد؛ لذا سطح ماشین کاری شده باید از خصوصیات یکنواخت و مناسبی برخوردار باشد (Kishawy. H.A., Becze. C.E, McIntosh. D.G. 2004). قابلیت ماشین کاری سوپرآلیاژهای پایه نیکل مثل اینکونل، وسپلوی (Udimet720, waspaloy) به طور محسوس پایین می باشد؛ در نتیجه کاهش کیفیت سطح و افزایش سایش ابزار امری ناگزیر خواهد بود (Kwong. J, 2009; Graham. D, 2002). بنابراین، با افزایش بیش از حد سایش ابزار، گرمایش و یا نیروی برشی، با مشکلاتی در شکل گیری براده و یا کیفیت سطح نامناسب مواجه هستند (Maurotto. A, Roy. A, Babitsky. V.I., Silberschmidt. V. 2013). وسپلوی سوپرآلیاژ پایه نیکل با استحکام عالی در دماهای زیاد است، به همین دلیل در موتور توربین هواپیما، کمپرسور، دیسک، شفت و بدنه ی سیستم های موشکی کاربرد دارد. محدوده استحکام آن در دماهای بالا بیش تر از اینکونل ۷۱۸ است (Wei. X, 2002). مقاومت به سایش خوب و توانایی حفظ این خاصیت در دماهای بالا به شدت مانع قابلیت ماشین کاری این آلیاژ می شود (رازفر، ۱۳۹۱). مشکلات عمده ماشین کاری وسپلوی عبارتند از؛ کاهش عمر ابزار برشی، پایداری استحکام در دمای بالا، نرخ کارسختی، ضریب انبساط حرارتی کم و نیروی برشی زیاد و همچنین ایجاد لبه انباشته^۱ (Olovsjo. S, Nyborg. L, 2012). هم چنین زمینه ی آستنییتی، باعث کار سختی سریع می گردد (Liu. F, 2013; Ezugwu. E.O, 2003). محدوده مرسوم سرعت تراشکاری وسپلوی با ابزار کاربیدی بدون پوشش در سرعت های کم ۳۵-۲۰ میلی متر بر دقیقه بود (Konig. W, 1999). کاربیدهای پوشش دار، سرعت براده برداری را در آلیاژهای پایه نیکل به مقدار کمی افزایش می دهد. با توجه به مطالعات صورت گرفته، اطلاعات در رابطه با فرایند ماشین کاری سنتی وسپلوی به نسبت دیگر سوپرآلیاژهای پایه نیکل محدودتر می باشد. وسپلوی عموماً قابلیت ماشین کاری کمتری نسبت به اینکونل ۷۱۸ دارد (Donachie. M.J, Donachie. S.J. 2002).

¹ Built-up-edge (Bue)

به دلیل این که زبری سطح عامل مهمی در ارزیابی فرایند تراشکاری است لذا هدف از عملیات تراشکاری، دستیابی به مقدار زبری کم در سطح می باشد. پس از انتخاب ابزار برشی مناسب، زبری سطح وابستگی با پارامترهای ماشین کاری از جمله سرعت برش، نرخ پیشروی و عمق برش دارد (Yang. W.H, Tarng. Y.S, 1998).

متأسفانه عمده تحقیقات انجام شده در مورد ماشین کاری سوپرآلیاژها، شامل اینکونل ۷۱۸ می باشد لذا برای وسپلوی اطلاعات کافی در دسترس نیست (Olovsjo. S, Wretland. A, Sjoberg. G, 2010).

در این تحقیق از آرایه متعامد^۲ تاگوچی استفاده شده است. استفاده از این آرایه ها، به صرفه جویی در وقت و هزینه با کاهش تعداد آزمایش ها و بهبود همزمان کیفیت محصول کمک می کند. در روش طراحی آزمایش تاگوچی برای تعیین پارامترهای مناسب، بهینه سازی تابع هدف، کاربرد دارد. در محاسبات آماری از نسبت سیگنال به نویز (S/N) استفاده می شود؛ که در این تحقیق، نسبت (S/N) مورد مطالعه از نوع "کوچکتر-بهرتر" می باشد (Indrajit. M, Pradip. K. R, 2006). هم چنین به منظور محاسبه اثر هر کدام از متغیرهای فرایند روی پاسخ و درصد تاثیر هر یک از آن ها بر روی خروجی، از روش آنالیز واریانس (ANOVA) استفاده شد (Khan. M.M.A., Romoli. L., Fiaschi. M, Dini. G, Sarri. F, 2011). پس از اندازه گیری زبری، اطلاعات به نرم افزار داده می شود و تحلیل نتایج امکان پذیر می گردد. هم چنین با توجه به نوع ماده مورد استفاده و شرایط تراشکاری مکانیزم تشکیل براده بررسی شد.

مبانی نظری پژوهش

تاگوچی

روش تاگوچی نسبت به روش های متداول و رایج کنترل کیفیت، کاملاً متفاوت است. متدولوژی تاگوچی بر ارائه کیفیت در هنگام طراحی محصولات و فرایندها تأکید دارد، در حالی که روش های متداول بر مبنای بازرسی و کنترل کیفیت در حین فرایند تولید و یا بعد از تولید محصول قرار دارند (Indrajit. M, Pradip. K. R, 2006). به دلیل بهبود کیفیت محصولات صنایع، طراحی کیفیت توسط تاگوچی ابتدا در دهه شصت میلادی به طور وسیعی کاربردی شده بود (Chang. Ch.W, Kuo. Ch.P, 2007). عامل مهم در روش تاگوچی، تأکید آن بر حداقل کردن هزینه ها و کاهش دامنه تغییر متغیرها است (Indrajit. M, Pradip. K. R, 2006). روش طراحی آزمایش کلاسیک بسیار پیچیده است و استفاده از آن آسان نیست. علاوه بر این، تعداد تست های انجام شده بیش تر است. این مسأله با استفاده از روش تاگوچی با طراحی مخصوص آرایه متعامد توسط پارامترهای ورودی با تعداد تست کم تر حل می شود (Montgomery. D.C, 2005). شرایط بهینه بر اساس نزدیک بودن به اهداف پاسخ مشخص می شوند که نتایج بر حسب نسبت سیگنال به نویز به سه صورت، پاسخ از نوع "اسمی-بهرتر"، پاسخ از نوع "بزرگتر-بهرتر" و پاسخ از نوع "کوچکتر-بهرتر" می باشد. در کل، روند طراحی آزمایش تاگوچی طبق این مراحل می باشد: ۱- شناسایی مشخصات کیفی و انتخاب پارامترهای طراحی ارزیابی شده، ۲- تعیین تعداد سطوح برای هر پارامتر طراحی و امکان پذیری بین پارامترهای طراحی، ۳- انتخاب آرایه متعامد مناسب، ۴- اجرای آزمایش ها و ثبت نتایج بر اساس آرایه متعامد، ۵- آنالیز نتایج آزمایش با استفاده از آنالیز (S/N) و واریانس، ۶- انتخاب سطوح بهینه ی پارامترهای آزمایش و تأیید پارامترهای بهینه با استفاده از آزمون تجربی (Yang. W.H, Tarng. Y.S, 1998).

² Orthogonal

پیشینه پژوهش

در سال ۱۹۹۹ میلادی کانینگ^۳ و همکارانش ماشین کاری و سپلوی را به دلیل دمای برش بالا، فقط در سرعت‌های تراشکاری کم حدود ۲۰-۳۰ متر بر دقیقه با ابزار فولاد تندبر^۴ و کاربیدی بدون پوشش، انجام دادند (Konig. W, Gerschwiler. K, 1999). در سال ۲۰۰۴ کشاور^۵ و همکارانش بر روی عملکرد ابزار و کیفیت سطح ماشین کاری آلیاژهای هوافضایی از جمله و سپلوی و آلیاژهای تیتانیوم با استفاده از ابزار چرخشی پرداختند و در نهایت زبری سطح و سپلوی و آلیاژ تیتانیوم کمتر از ۰/۵ میکرومتر شد (Kishawy. H.A., Becze.). در سال ۲۰۰۹ میلادی فاکس رابینوچ^۶ و همکارانش ماشین کاری فولاد ابزار H13 و آلیاژهای هوافضا مثل سوپرآلیاژ پایه نیکل و سپلوی و آلیاژ تیتانیوم (Ti6Al4V) را با استفاده از دو نوع ابزار برش غنی از آلومینیوم بر پایه تیتانیوم آلومینیوم نیتراید که به صورت لایه‌نشانی توسط بخار فیزیکی^۷ پوشش داده بودند، از جمله؛ آلومینیوم تیتانیوم نیتراید و تیتانیوم آلومینیوم کروم نیتراید مورد بررسی قرار دادند و دریافتند مجموعه‌ای از ویژگی‌ها، عملکرد سایش را به شدت با کاربردهایی خاص کنترل می‌کند. برای ماشین کاری آلیاژهای هوافضا، وقتی افزایش بار و دما وجود دارد؛ ترکیبی با شدت چسبندگی بالا با مواد قطعه کار نتیجه می‌دهد (Fox- Rabinovich. G.S, et al, 2009). در سال ۲۰۱۰ میلادی کولف^۸ و همکارانش تاثیر آلیاژهای کروم و آلومینیوم را در عملکرد ابزار تراش بر پایه تیتانیوم نیتراید پوشش داده شده به وسیله‌ی لایه‌نشانی توسط بخار فیزیکی در ماشین کاری مواد سخت انجام دادند و در نهایت پوشش تیتانیوم آلومینیوم کروم نیتراید برای ماشین کاری فولاد و برای مواد هوافضا، پوشش آلومینیوم تیتانیوم نیتراید ترجیح داده شد (Kovalev. A.I, 2010). در سال ۲۰۱۱ میلادی کشوی^۹ و همکارانش مدلی برای سایش کنار ابزار چرخشی بر اساس واکنش بین هندسه‌ی ابزار، قطعه کار و توابع تجربی توسعه دادند و عملکرد ابزار دوار و کیفیت سطح و سپلوی و آلیاژهای تیتانیوم را ارزیابی کردند (Kishawy. H.A, LeiPang. F, Balazinski. M, 2011). لین^{۱۰} در سال ۲۰۰۲ میلادی، کاربردی از روش تاگوچی را به منظور بهینه کردن چند هدف در عملیات فرزکاری ارائه کرد، و مزیت روش تاگوچی را برای بهینه کردن همزمان و بهبود پارامترهای عملکرد فرزکاری نشان داد. مانا^{۱۱} و بتچاریه^{۱۲} در سال ۲۰۰۴ از روش تاگوچی برای تعیین اهمیت پارامتر تراشکاری به منظور دستیابی به صافی سطح بهتر در عملیات ماشین کاری آلومینیوم و کامپوزیت زمینه فلزی بر پایه سلیکون کاربید استفاده کردند (Indrajit. M, Pradip. K.). (R, 2006).

³ Konig

⁴ HSS

⁵ Kishawy

⁶ Fox-Rabinovich

⁷ Physical Vapor Deposited (PVD)

⁸ Kovalev

⁹ Kishawy

¹⁰ Lin

¹¹ Manna

¹² Bhattacharyya

روش پژوهش

۱- تجهیزات آزمایش

در این تحقیق، از سوپرآلیاژ کار شده وسیلوی با استاندارد SAE AMS5708 از شرکت تکنولوژی فای (FYI) استفاده شد. سختی^{۱۳} آن بر حسب استاندارد ASTM E10، ۲۸۵ برینل است. جدول ۱ ترکیب شیمیایی آن را که به روش اسپکترومتری نشری تعیین شد، نشان می دهد.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی سوپرآلیاژ پایه نیکل وسیلوی

عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی	عنصر	درصد وزنی
سیلیسیم	۰/۰۴	آلومینیوم	۱/۴۲	هافنیم	۰/۰۰۸
منگنز	۰/۰۲	نیوبیوم	۰/۱۳	منیزیم	۰/۰۰۳
کروم	۱۹/۵	تنگستن	۰/۰۳	تانتالیم	۰/۰۴
مولیبدن	۴/۶	وانادیم	۰/۰۳	زیرکونیم	۰/۰۳
مس	۰/۰۰۸	کربن	۰/۰۲	بور	۰/۰۰۵
آهن	۰/۹۰	فسفر	۰	نیکل	بالانس
کبالت	۱۳/۰	گوگرد	۰/۰۰۱		
تیتانیوم	۳/۲	قلع	۰/۰۰۵		

۱۸ نمونه برای آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. نمونه ها با قطر اولیه ی ۲۵/۱۶ میلی متر، طول ۶۰ میلی متر و طول برش ۴۰ میلی متر انتخاب شد. دستگاه تراش مدل CO636A ساخت شرکت شیماتو بود. جنس ابزار برشی کاربید روکش دار PVD (AC520U) می باشد، که مشخصات ابزار در جدول ۲ و شکل ۱ نمایی از ابزار برشی را نشان می دهد. زاویه تنظیم اصلی ۷۵ درجه و زاویه تنظیم فرعی ۱۵ درجه بود. برای اندازه گیری زبری سطح ماشین کاری شده، از دستگاه زبری سنج مدل TR10 ساخت شرکت TIME استفاده شده است.



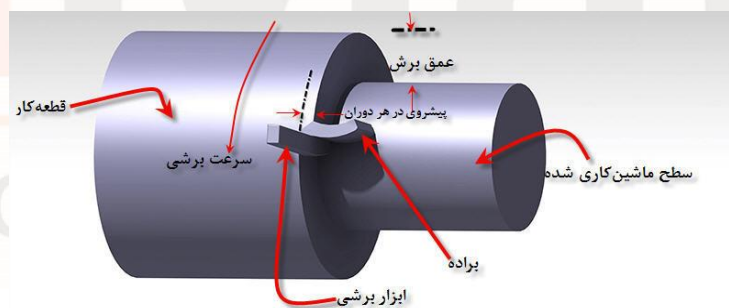
شکل ۱: ابزار برشی مورد استفاده.

¹³ Hardness

جنس	هندسه ابزار	هندسه ابزار گیر	زاویه براده	زاویه آزاد (درجه)
AC520U	SNMG120404N-GU	MSBNR2020	-۶	۵

۲- طراحی آزمایش

با استفاده از یک آرایه متعامد، کاهش تعداد آزمایش‌های تراشکاری به منظور بهینه سازی پارامترها انجام شد (Yang, W.H, Tarng, Y.S, 1998). پارامترهای سرعت برشی، نرخ پیشروی و عمق برش به عنوان پارامترهای مورد آزمایش (پارامترهای مستقل) می‌باشد که در شکل ۲ نمایش داده شده است و معیار ارزیابی فرایند (متغیر پاسخ)، زبری سطح ماشین کاری بود. عوامل مؤثر و سطوح انتخاب شده در جدول ۳ مشخص گردیده‌اند. با استفاده از نرم افزار مینی تب طراحی آزمایش‌ها انجام گرفت و آرایه متعامد L_9 برای آزمایش‌ها انتخاب شد. هر آزمایش نیز دو مرتبه تکرار شد که در جدول ۴ به آن اشاره شده است. تحلیل نتایج براساس آنالیز واریانس و نسبت سیگنال به نویز انجام گرفت.



شکل ۲: عوامل تراشکاری.

۳- روش کار

با توجه به جدول طراحی آزمایش، قطعه کارها تراشکاری شدند. سپس زبری نمونه‌ها، اندازه‌گیری شد، میانگین زبری سطح R_a ، که غالباً پارامتر پرداخت کاری مورد استفاده در صنایع نیز می‌باشد؛ در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفت (Yang, W.H, Tarng, Y.S, 1998). محاسبه زبری به صورت زیر ارائه می‌شود (User's Manual, SJ201).

$$R_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Y_i| \quad (1)$$

هم چنین برای مشاهده تغییرات جزئی شکل هندسی براده از میکروسکوپ سه بعدی مدل Olympus szx16 استفاده شد.

جدول ۳: عوامل مؤثر و سطوح انتخاب شده

عوامل	نماد	واحد	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
سرعت برشی	A	متر بر دقیقه	۲۰	۶۰	۱۰۰
نرخ پیشروی	B	میلی متر بر دور	۰/۰۵۲	۰/۰۶۵	۰/۰۸۱
عمق برش	C	میلی متر	۰/۱	۰/۲	۰/۳

جدول ۴: طراحی آزمایش ها با استفاده از روش تاگوچی L_9

شماره آزمایش	متغیرها (عوامل)		
	A	B	C
۱	۱	۱	۱
۲	۱	۲	۲
۳	۱	۳	۳
۴	۲	۱	۲
۵	۲	۲	۳
۶	۲	۳	۱
۷	۳	۱	۳
۸	۳	۲	۱
۹	۳	۳	۲

تجزیه و تحلیل داده ها

زبری سطح قطعات ماشین کاری شده در ۶ نقطه، برای هر قطعه طبق شرایط طراحی شده (جدول ۳) اندازه گیری شد. آنالیز ANOVA به منظور اهمیت آماری پارامترهای تراشکاری بر روی خروجی در فرایند تراشکاری است (Tosun. N, Ozler. L.2004). محاسبه ی مقادیر ANOVA برای سه فاکتور و سه سطح متناظر آن با آرایه متعامد L_9 انجام شد.

۱- آنالیز واریانس

در این پژوهش، از تحلیل واریانس برای ارزیابی تأثیر فاکتورها بر روی خروجی (زبری سطح) استفاده شده است. تحلیل آن با فرض نرمال بودن توزیع خطا و ثابت بودن واریانس به تست فرض تهی، با استفاده از مقدار P (P-value) انجام می شود. مقدار P کوچک تر از

۰/۰۵ بیانگر صحت فرضیه تهی می‌باشد و از آن می‌توان نتیجه گرفت که فاکتور مورد بررسی بر روی خروجی آزمایش تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشته است (Roy. K.R,2001; Montgomery. D.C,2005). مقدار واریانس (F) برای هر پارامتر طراحی از نسبت میانگین انحراف مربع به میانگین خطای مربع آن محاسبه می‌شود. معمولاً، زمانی که مقدار F بزرگ‌تر از ۴ باشد، به این معنی است که آن پارامتر یک اثر مهم در مشخصه کیفی (خروجی) دارد (Bilici. M.K,2012; Roy. K.R,2001). آنالیز واریانس از نتایج زبری سطح با استفاده از نرم افزار مینی تب در جدول ۵ نشان داده شده است. مشخص شد که سهم اثر عامل سرعت برشی ۶۸/۲۴ درصد می‌باشد. نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد بیش‌ترین تأثیر را سرعت برشی، پس از آن نرخ پیشروی و عمق برش به ترتیب روی زبری سطح دارند.

جدول ۵: آنالیز واریانس (ANOVA) از نتایج زبری سطح

نماد	عوامل	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	نسبت F	مقدار p	درصد سهم هر عامل
A	سرعت برشی	۲	۳۳/۴۹	۱۶/۷۴	۱۴۸/۰۳	۰/۰۰۷	۶۸/۲۴
B	نرخ پیشروی	۲	۱۴/۳۵	۷/۱۸	۶۳/۴۸	۰/۰۱۶	۲۹/۲۷
C	عمق برش	۲	۰/۹۹	۰/۵۰	۴/۳۴	۰/۱۸۷	۲/۰۴
	خطا	۲	۰/۲۲	۰/۱۱			۰/۴۵
	کل	۸	۴۹/۰۴				۱۰۰

۲- آنالیز نسبت سیگنال به نویز

به منظور تعیین بهترین مقدار پارامترهای ورودی در محاسبات آماری از نسبت سیگنال به نویز (S/N) استفاده می‌شود. در روش تاگوچی، "سیگنال" مقدار مطلوب (میانگین) و "نویز" مقدار نامطلوب (انحراف استاندارد) بر روی مشخصه کیفی را نشان می‌دهد و از نسبت این دو حاصل می‌شود. در این تحقیق این نسبت از نوع کوچک‌تر-بهرتر می‌باشد. نسبت S/N برای این حالت طبق فرمول ۲ است.

$$\eta = S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right] \quad (2)$$

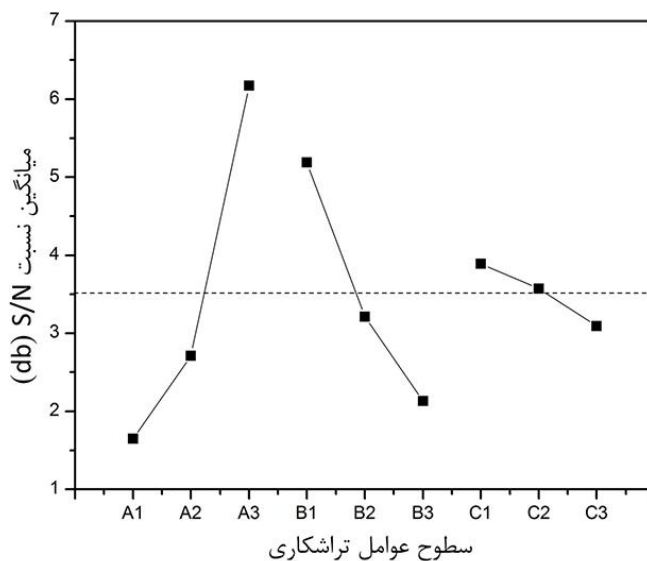
در این جا n تعداد آزمایش‌ها در آرایه متعامد و Y_i مقدار زبری سطح از نتایج تجربی برای تست آم است. جدول ۶ نتایج تجربی برای زبری سطح و نسبت سیگنال به نویز محاسبه شده طبق فرمول ۲ را نشان می‌دهد (Montgomery. D.C,2005; Roy.K.R,2001). جدول و شکل پاسخ S/N برای زبری سطح در جدول ۷ و شکل ۳ ارائه شده است. همان‌گونه که از نمودار مشخص است تغییرات سرعت برشی و نرخ پیشروی به نسبت تغییرات عمق برش بیش‌تر می‌باشد. قابلیت اطمینان ۹۸/۲ درصد بدست آمد.

جدول ۶ : نتایج تجربی برای زبری سطح و نسبت سیگنال به نویز.

شماره آزمایش	سرعت برشی (m/min)	نرخ پیشروی (mm/rev)	عمق برش (mm)	زبری سطح ۱ (μm)	زبری سطح ۲ (μm)	نسبت S/N (db)
۱	۲۰	۰/۰۵	۰/۱	۰/۶۳	۰/۶۶	۳/۸
۲	۲۰	۰/۰۶	۰/۲	۰/۸۵	۰/۸۳	۱/۵۱
۳	۲۰	۰/۰۸	۰/۳	۱/۰۳	۱/۰۶	-۰/۳۹
۴	۶۰	۰/۰۵	۰/۲	۰/۶۱	۰/۶۲	۴/۲۳
۵	۶۰	۰/۰۶	۰/۳	۰/۷۸	۰/۷۹	۲/۱
۶	۶۰	۰/۰۸	۰/۱	۰/۸۲	۰/۸	۱/۸۲
۷	۱۰۰	۰/۰۵	۰/۳	۰/۴	۰/۴۴	۷/۵۲
۸	۱۰۰	۰/۰۶	۰/۱	۰/۴۹	۰/۵۱	۶/۰۱
۹	۱۰۰	۰/۰۸	۰/۲	۰/۵۵	۰/۵۸	۴/۹۵

جدول ۷ : پاسخ نسبت S/N برای زبری سطح

نماد	عوامل	میانگین نسبت S/N (db)			
		سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	اختلاف بیشترین مقدار از کمترین مقدار (دلتا)
A	سرعت برشی	۱/۶۵	۲/۷۱	۶/۱۷	۴/۵۲
B	نرخ پیشروی	۵/۱۹	۳/۲۱	۲/۱۳	۳/۰۵
C	عمق برش	۳/۸۹	۳/۵۷	۳/۰۹	۰/۸۰



شکل ۳: نمودار نسبت S/N برای زبری سطح

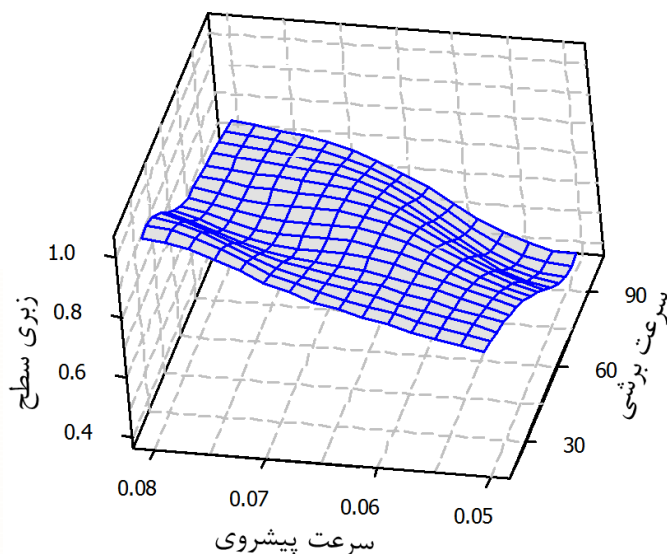
۳- شرایط بهینه

بهینه سازی روی این گونه مسائل، با مینیم سازی تابع اتلاف (یا ماکزیمم سازی تابع هدف S/N) صورت می پذیرد (Montgomery, D.C, 2005; Roy, K.R, 2001). به این معنی که سطوح فاکتوری که مقدار S/N آن بیش تر است همیشه انتخاب می شود. و به کمک نرم افزار مینی تب نمونه بهینه تعیین گردید. در جدول ۸ مشخصات نمونه بهینه آمده است.

جدول ۸: مشخصات نمونه بهینه نسبی تعیین شده توسط نرم افزار برای کمترین زبری سطح

نماد	عوامل	سطح	مشخصات سطح
A	سرعت برشی	۳	۱۰۰ متر بر دقیقه
B	نرخ پیشروی	۱	۰/۰۵ میلی متر بر دور
C	عمق برش	۱	۰/۱ میلی متر
نتیجه S/N مورد انتظار برای نمونه بهینه		۰/۳۲ میکرومتر	
نتیجه S/N برای نمونه بهینه		۰/۴ میکرومتر	

برای درک بهتر تأثیر پارامترهای سرعت برشی و نرخ پیشروی و همچنین میزان برهم کنش آن‌ها بر زبری سطح، نمودار سه بعدی در شکل ۴ ارائه شده است. مشاهده می‌شود با افزایش سرعت برشی زبری بهبود می‌یابد و با افزایش نرخ پیشروی، زبری زیاد می‌شود.



شکل ۴: اثر متقابل سرعت برشی و نرخ پیشروی بر زبری سطح

۴- تأثیر گذاری پارامترهای ماشین کاری بر زبری سطح

در رابطه با عمل تشکیل براده در حقیقت یک تغییر شکل الاستیک-پلاستیک در لایه‌های فلز رخ می‌دهد. نوع براده تشکیل شده هنگام تراشکاری به جنس قطعه کار و شرایط تراشکاری بستگی کامل دارد. هم چنین شکل هندسی براده بر روی کیفیت سطح تأثیرگذار می‌باشد (رازفر، ۱۳۹۱).

در راست تراشی، زمانی که براده از اول نزدیک به هم پیچیده می‌شود، با ادامه تراشکاری شعاع انحنا براده به تدریج افزایش می‌یابد؛ در نتیجه تنش‌های ایجاد شده در براده زیاد می‌شود تا سرانجام شکسته شود. کیفیت سطح نامناسبی حاصل می‌شود. این براده را براده حلزونی می‌نامند (جفری بوث روید، وینستون ای. نایت، ۱۳۷۸). شکل ۵، آزمایش شماره ۲ را نمایش می‌دهد.



شکل ۵: براده حلزونی شکل نمونه شماره ۲.

مکانیزم تشکیل براده با سرعت برشی تغییر می کند؛ بنابراین، تغییر شکل پلاستیک و در نتیجه فرایند تشکیل براده متفاوت خواهد بود. این تغییرات تا حدی سبب تغییر نیروهای ماشین کاری و زبری سطح می گردد. هم چنین نوع براده را می توان با کم و زیاد کردن آهنگ پیشروی کنترل کرد؛ تغییر آهنگ پیشروی سبب تغییر ضخامت و شعاع انحنای براده می شود (جفري بوٲ روید، وینستون ای. نایت، ۱۳۷۸). تصاویر میکروسکوپی نوری آزمایش های ۳ و ۷ در شکل ۶ نشان داده شده است. در شکل ۶-الف در سرعت برشی ۲۰ متر بر دقیقه، براده به صورت دنداناره ای می باشد. ظاهر براده منظم نیست، عمق و فاصله ی دنداننه نامنظم و کوچک است و زبری سطح زیادی ایجاد شده است. و اثر بیش تر سرعت برشی در مقایسه با نرخ پیشروی و عمق برش مشهود می باشد. نشان داده شده است که نرخ کارسختی و سختی قطعه کار بالا، در رابطه با تشکیل براده دنداناره ای نقش به سزایی دارند (Tavakoli Manshadi. S, 2009). در شکل ۶-ب در سرعت برشی زیاد، لبه انباشته تشکیل نشد. به خوبی مشاهده می شود که براده در هنگام حرکت روی سطح ابزار می چسبد و تغییر شکل داخل آن رخ می دهد. با افزایش سرعت برشی تغییر شکل پلاستیکی آسان تر شده و اصطکاک بین سطوح آزاد و سطوح ماشین کاری شده و هم چنین اصطکاک سطح قلم و براده در اثر افزایش درجه حرارت کاهش می یابد و از این رو با افزایش سرعت برشی ناهمواری سطح کاهش می یابد. در کل با توجه به پژوهش های انجام شده بر روی مواد مختلف می توان انتظار داشت که تأثیر سرعت برشی بر زبری سطح در بازه های متفاوت و مواد مختلف، متفاوت می باشد (رازفر، ۱۳۹۱). با افزایش عمق براده برداری نیز زبری سطح اندکی افزایش می یابد و در کل اثر عمق برش بر کیفیت سطح قطعه کار ماشین کاری شده کم و به همین دلیل می توان عمق برش را تا ۱۰ برابر نرخ پیشروی انتخاب نمود. تنها محدودیت عمق برش پدیده لرزش و چتر در اثر افزایش عمق برش می باشد.



شکل ۶: تصاویر میکروسکوپی نوری (الف) نمونه شماره ۳، (ب) نمونه شماره ۷.

نتیجه گیری

ارزیابی زبری سطح در قطعات ماشین‌کاری شده نشان داد که زبری سطح به تغییرات عمق برشی کمترین وابستگی را دارد. همچنین نتایج آزمایش‌ها و آنالیزها نشان داد که سرعت برشی، نسبت به نرخ پیشروی و عمق برش بیش‌ترین تأثیر را روی زبری سطح در ماشین‌کاری و سپلوی دارا می‌باشد. بهترین کیفیت سطح در سرعت برشی زیاد (۱۰۰ متر بر دقیقه)، نرخ پیشروی کم (۰/۰۵ میلی‌متر بر دور) و عمق برشی پایین (۰/۱ میلی‌متر) بدست می‌آید. در سرعت برشی کم، با تشکیل براده دندان‌اره‌ای کیفیت سطح کاهش می‌یابد. با افزایش سرعت برشی از محدوده تعیین شده، لبه انباشته تشکیل نشد.

منابع

- بوٹ روید، جفری، وینستون ای. نایت. (۱۳۷۸). مبانی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار، (ترجمه محمدرضا خویی، محمدرضا افضلی). تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
- رازفر، محمدرضا (۱۳۹۱). اصول ماشین‌کاری و ابزارشناسی، پلی تکنیک تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر
- Bilici. M.K, (2012). "Application of Taguchi approach to optimize friction stir spot welding parameters of polypropylene". Materials and Design, Vol 35. Pp 113–119.
- Chang. Ch.W, Kuo. Ch.P. (2007). "Evaluation of surface roughness in laser-assisted machining of aluminum oxide ceramics with Taguchi method", Machine Tools & Manufacture, Vol 47 Pp141–147.
- Donachie. M.J, Donachie. S.J. (2002). "Superalloys a technical guide" (Second Edition). ASM International.

- Ezugwu. E.O, Bonney. J, Yamane. Y, (2003). "An overview of the machinability of aeroengine alloys", Materials Processing Technology, Vol 134, Pp 233-253.
- Fox-Rabinovich. G.S, Kovalev. A.I, Aguirre. M.H, Beake. B.D, Yamamoto. K., Veldhuis. S.C, Endrino. J.L, Wainstein. D.L., Rashkovskiy. A.Y, (2009) "Design and performance of AlTiN and TiAlCrN PVD coatings for machining of hard to cut materials", Surface and Coatings Technology. Vol 204 Pp 489-496.
- Graham. D, (2002) "Turning-difficult-to-machine alloys", Modern Machine Shop. Vol 75 .Pp5.
- Indrajit. M, Pradip. K. R, (2006). "A review of optimization techniques in metal cutting processes". Computers & Industrial Engineering, Vol 50, Pp. 15-34.
- Khan. M.M.A., Romoli. L., Fiaschi. M, Dini. G, Sarri. F. (2011). "Experimental design approach to the process parameter optimization for laser welding of martensitic stainless steels in a constrained overlap configuration", Optics & Laser Technology, Vol 43 Pp 158-172.
- Kishawy. H.A., Becze. C.E, McIntosh. D.G, (2004). "Tool performance and attainable surface quality during the machining of aerospace alloys using self-propelled rotary tools", Materials Processing Technology, Vol 152 Pp 266-271.
- Kishawy. H.A, LeiPang. F, Balazinski. M, (2011) "Modeling of tool wear during hard turning with self-propelled rotary tools", Mechanical Sciences, Vol 53 Pp 1015-1021.
- Konig. W, Gerschwiler. K, (1999) "Machining nickel-based superalloys". Manufacture Engineering. Vol 122. Pp 102-108
- Kovalev. A.I, Wainstein. D.L, Rashkovskiy. A.Y, Fox-Rabinovich. G.S, Yamamoto. K, Veldhuis. S, Aguirre. M, Beake. B.D, (2010). "Impact of Al and Cr alloying in TiN-based PVD coatings on cutting performance during machining of hard to cut materials", Vacuum. Vol 84 Pp 184-187.
- Kwong. J, Axinte. D.A, Withers. P.J, Hardy. M.C, (2009). "Minor cutting edge-workpiece interactions in drilling of an advanced nickel-based superalloy", Machine Tools and Manufacture. Vol 49 Pp 645-658.
- Liu. F, Lin. X, Leng. H, Cao. J, Liu. Q, Huang. C. and Huang. W. (2013). "Microstructural changes in a laser solid forming Inconel 718 superalloy thin wall in the deposition direction". Optics & Laser Technology, Vol 45.
- Maurotto. A, Roy. A, Babitsky. V.I., Silberschmidt. V, (2012). "Analysis of machinability of Ti- and Ni-based alloys", Solid State Phenomena, Vol 188.
- Montgomery. D.C, (2005). "Design and analysis of experiments". (Sixth Edition), John Wiley & Sons, United States of America
- Olovsjo. S, Nyborg. L, (2012). "Influence of microstructure on wear behaviour of uncoated WC tools in turning of Alloy 718 and Waspaloy", Wear. Vol 282, Pp 12- 21.
- Olovsjo. S, Wretland. A, Sjoberg. G, (2010) "The effect of grain size and hardness of Waspaloy on the wear of cemented carbide tools", Advance Manufacture Technology, Vol 50 Pp 907-915.
- Roy. K.R, (2001). "Design of experiments using Taguchi approach: 16 steps to product and process improvement". John Wiley & Sons, New York.
- Tavakoli Manshadi. S, (2009). "A Thesis OF laser assisted machining of Inconel 718 Super Alloy", Department of Mechanical Engineering McGill University.
- Tosun. N, Ozler. L. (2004). "Optimisation for hot turning operations with multiple performance characteristics", Advanced Manufacture Technology, Vol 23, Pp 777-782.
- User's Manual, Surface roughness tester, SJ201, Mitutoyo.
- Wei. X, (2002). "Experimental study on the machining of a shaped hole in Ni-based super-heat-resistant alloy", Materials Processing Technology. Vol 129. Pp143-147.
- Weinert. K, Inasaki. I, Sutherland. J. W, Wakabayashi. T, (2004). "Dry machining and minimum quantity lubrication", CIRP annals, Vol 53.
- Yang. W.H, Tarng. Y.S, (1998). "Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method". Materials Processing Technology, Vol 84, Pp 122-129.