سومین
کنفرانس ملی مهندسی
ساخت و تولید

189

Abstract33099087

۱۳۹۰/۱۲/۳

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد
۳ و ۴ اسفند ماه ۱۳۹۰

بدینوسیله گواهی می گردد مقاله با عنوان

بررسی شرایط بهینه ماشینکاری سوپر آلیاژ اینکونل ۷۱۸ با رویکرد طراحی آزمایش تاگوچی

نگارش شده توسط

فرهاد کلاهان محمدحسین یاری بخت

در سومین کنفرانس ملی مهندسی ساخت و تولید دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۳ لغایت ٤ اسفند ماه ۱۳۹۰

ارائه گردیده است.

دکتر اعظم قاسمی
دبیر علمی سومین کنفرانس ملی مهندسی ساخت و تولید
دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

دانشگاه آزاد اسلامی
واحد نجف آباد
کنفرانس ملی مهندسی ساخت و تولید

دبیرخانه علمی
اصفهان - نجف آباد
دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد
دانشکده فنی و مهندسی
دبیرخانه کنفرانس ملی مهندسی ساخت و تولید
واحد پشتیبانی
اصفهان - چهارباغ عباسی
مجتمع تجاری سی تی سنتر - واحد اداری ۴
WWW.NMEC.IR
INFO@NMEC.IR
+983119513430
+983119513430

بررسی شرایط بهینه ماشینکاری سوپرآلیاژ اینکونل ۷۱۸ با رویکرد طراحی آزمایش تاگوچی

فرهاد کلاهان[۱]، محمدحسین یاری بخت[۲]
۱- دانشگاه فردسی مشهد، گروه مهندسی مکانیک

چکیده

کنترل دقیق سطح ماشینکاری شده برای رسیدن به قطعاتی با قابلیت اطمینان و طول عمر بالا، در قطعات هوافضا حیاتی است. در این مقاله به بررسی کیفیت سطح و مکانیزم تراش اینکونل ۷۱۸ پرداخته شده است. بدین منظور صافی سطح و نیروی ماشینکاری در حین تراشکاری با تیغه پوششدار کاربیدی اندازه گیری شده است. مشاهده شد که با سرعت برشی متوسط و پیشروی کم و عمق برش متوسط می توان سطحی با کیفیت بدست آورد.

در این تحقیق ابتدا پارامترهای مهم ماشینکاری و سطوح آنها تعیین شده و سپس با استفاده از روش تاگوچی آرایه متعامد (OA) مناسب طراحی شده، پس از انجام آزمایشات و اندازه گیری خروجی های مورد نظر (صافی سطح، نیروهای ماشینکاری) با استفاده از روشهای تحلیل آماری AOM و ANOVA تاثیرات متغییرهای ورودی بر خروجی مشخص شده و سطوح بهینه آن ها بدست آمده است.

کلمات کلیدی *اینکونل ۷۱۸، هوافضا، صافی سطح، تاگوچی*

مقدمه

آلیاژ اینکونل ۷۱۸ به طور وسیعی به عنوان سوپر آلیاژ مورد استفاده قرار می گیرد به طوری که تقریبا $\frac{1}{3}$ از همه محصولات سوپر آلیاژها را تشکیل می دهد. این آلیاژ به وسیله کمپانی بین المللی نیکل در حدود سال ۱۹۵۰ توسعه پیدا کرد و از آن به عنوان کاربردهای توربین گازی مورد استفاده قرار گرفت که دارای استحکام بسیار عالی، فرم پذیری خوب و تافنس خوب در محدوده دمایی ۲۵۰- تا ۷۰۰ درجه سانتی گراد می باشد. بارزترین صفت اینکونل ۷۱۸ فرآیند تغییرپذیری آن می باشد، هم چنین می توانیم این آلیاژ را برای رنج وسیعی از دما، کاهش در سطح مقطع های فرج و نرخ کرنش استفاده کنیم که برای تولید ریز ساختارها و خواص ویژه مورد نظر استفاده می شود. اینکونل ۷۱۸ در میان آلیاژهای پایه نیکلی بی نظیر می باشد زیرا قابلیت جوشکاری خوب، مقاومت خوبی در برابر ترک های ناشی از پیر کرنشی از خود نشان میدهد. خاصیت جوش پذیری بالا به خاصیت رسوب کم رسوبات از استحکام بخشی اولیه توسط فاز گاما دوبل پرایم می باشد. حساسیت پیر سختی که علاوه بر این قابلیت شکل پذیری خوبی نیز دارد. هم چنین مقاومت خوردگی خوبی در مقابل آب دریا دارد و به همین دلیل در مورد کاربردهای دریایی بسیار مورد استفاده قرار می گیرد.

۱- دانشیار
۲-کارشناس ارشد، ۰۹۱۳۱۲۵۳۳۷۵، mhy.project@gmail.com

این آلیاژ را هم به شکل ریختگی و هم به شکل کار شده تولید می شود. همچنین در ساختار سازه های هوا فضایی، هسته ای، پتروشیمی، مورد استفاده قرار می گیرد. کاربرد عمده هوافضایی این آلیاژ شامل کمپرسور، توربین دیسکی، تیغه گرداننده توربین، جدا کننده ها و پیچ ها برای راکت سوخت مایع جت می باشد، که این اجزا در دمای تبرید مشغول به کار هستند و هم چنین برای تجهیزات باطری ماهواره ها مورد استفاده قرار می گیرد [۱]. خواص مکانیکی این آلیاژ در شکل۱ آمده است. از جمله این خواص می توان به هدایت گرمایی و ظرفیت گرمای ویژه کم این آلیاژ اشاره کرد.

Density	8.19 g/cm^3
Melting point	1260–1336 °C
Specific heat	435 J/kg K
Average coefficient of thermal expansion	13 µm/m K
Thermal conductivity	11.4 w/m K
Ultimate tensile strength	1240 MPa

شکل۱: خواص مکانیکی اینکونل ۷۱۸

آلیاژهای پایه نیکل مقاومت طبیعی اندکی در برابر اکسیداسیون دمای بالا دارند. افزودن کروم Cr_2O_3 محافظ بهم چسبیده را روی سطح مواد در زمان حرارت دهی در محیط اکسیداسیون تولید می کند. مقاومت اکسیداسیون بهینه در آلیاژهای کروم- نیکل با میزان کرومی در حد ۱۵ تا ۳۰ درصد بدست آورده می شود [۲]. عناصر تشکیل دهنده اینکونل ۷۱۸ در جدول۱ آمده است.

جدول ۱: درصد عناصر تشکیل دهنده اینکونل ۷۱۸

Elements	% wt
Ni	54.48
Cr	17.50
Nb	4.90
Al	0.66
Ti	0.96
Fe and other	Balance

اینکونل ۷۱۸ در رنج وسیعی از محصولات مانند محصولات لوله های کلو شده میله ها فرج، تویوپ ها، صفحات، ورق ها، سیم، فنر، الکترود جوش، و ریختگی در دسترس می باشد. محصولات مختلف می تواند در شرایط آنیل یا آنیل پیرسازی مورد استفاده قرار گیرد[۲]. قابلیت ماشینکاری ضعیف سوپر آلیاژ اینکونل ۷۱۸ ناشی از ویژگی های ذاتی ماده نظیر استحکام و گرما سختی بالا، استحکام برشی و دینامیکی بالا، کار سختی سریع در طی ماشینکاری، ضریب پخش حرارتی پایین، تشکیل لبه انباشته (BUE) غیر پایدار و .... می باشد که باعث شده است، اینکونل ۷۱۸ در گروه مواد سخت تراش[1] قرار گیرد[۳].

[1] Difficult-to-machining

فرآیند ماشینکاری دارای سه جنبه اصلی وضعیت و جنس قطعه کار، شرایط و عوامل ماشینکاری و انتخاب نوع ابزار است که انتخاب صحیح ابزار از اهمیت بیشتری برخوردار است. چون متناسب با شرایط عملکردی، جنس قطعه کار را از قبل مشخص می کنند، به دلیل تنوع ابزار، شرایط تریبو سیستم و .... انتخاب صحیح ابزار پیچیدگی خاص خود را دارد، هم چنین می توان گفت که انتخاب صحیح ابزار به نوع عملیات ماشینکاری (پرداخت کاری یا خشن کاری)، جنس قطعه کار و حالت آن، شکل و شرایط سطح قطعه، استحکام ماشین ابزار و قدرت آن بستگی دارد [۴].

بررسی های آزمایشگاهی و تئوری نشان می دهند که ابزارهای در معرض نیروهای استاتیکی، دینامیکی، دما و در نتیجه تحت پدیده استهلاک قرار می گیرند. بنابراین ابزارهای برشی بایستی چهار ویژگی اصلی داشته باشند که این ویژگی ها عبارتند از:

الف) سختی: ابزار بایستی سختی خود را در حین عملیات ماشینکاری حفظ نماید.

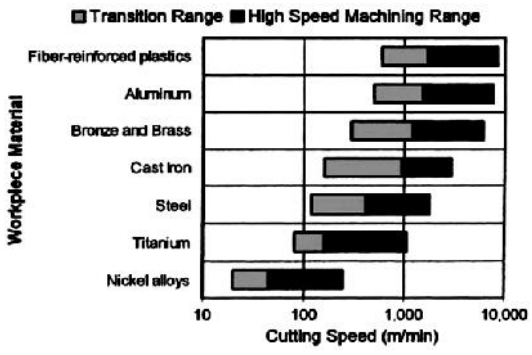
ب) چقرمگی: ابزار باید استحکام خود را در برابر بارهای ضربه ای حفظ کند و دچار لب پریدگی و شکست ناگهانی نشود.

ج) مقاومت سایشی ابزار بایستی در مقابل سایش خراشان، چسبان، ورقه ای و غیره مقاوم باشد.

د) ثبات شیمیایی: ابزار بایستی تحت شرایط کاری و دمای عملیات نسبت به قطعه کار از نظر شیمیایی خنثی باشد. مواد ابزار برشی معمولا تنش های مکانیکی و حرارتی زیادی را نزدیکی لبه برنده در حین ماشینکاری Ti و آلیاژهای پایه نیکل مثل اینکونل ۷۱۸ به دلیل قابلیت ماشینکاری ضعیف این آلیاژها متحمل می شوند. بنابراین یکی از ویژگی هایی که این ابزارها باید دارا باشند، گرما سختی است تا در برابر حرارت تولید شده مقاومت داشته باشند. ولی اکثر ابزارها سختی خود را در حرارت های بالا از دست می دهند که همین امر سبب فرسایش زودرس این ابزارها می گردد [۵].

می توان گفت کاربایدها بیشترین مصرف را در بین ابزارهای برشی دارند زیرا دارای خصوصیاتی مانند: گرماسختی بالا، مقاومت به سایش خوب و چقرمگی متوسط هستند. یکی از مهمترین دلایل پرمصرف بودن کاربایدها قابلیت روکش پذیری آن ها می باشد که انواع روکش ها توسط روش هایی مانند CVD , PVD بر روی پایه های کاربایدی قابل اعمال می باشد. به بیان دیگر کاربایدها را می توان حد فاصل بین فولادهای تندبر و سرامیک ها دانست. ابزارهای کاربیدی روکشدار تا حد زیادی برای ماشینکاری آلیاژهای پایه نیکل، بخصوص اینکونل ۷۱۸ بکار می رود [۶].

برای آلیاژهای پایه نیکل مبتنی بر ماشینکاری با سرعت بالا به سرعت بیش از ۴۰ متر بر دقیقه اشاره شده است [۷].



شکل۲: محدوده ماشینکاری پر سرعت برای مواد مختلف

۱.طراحی آزمایش

طراحی تاگوچی

آزمایش ها بر روش تاگوچی استوار است و اجرا شده اند تا بهترین سطح پارامترهای پردازش تعیین شوند و ناپایداری در پاسخهای خروجی کاهش یابد. قدم های اساسی در طراحی آزمایش تاگوچی: انتخاب پاسخهای خروجی، انتخاب متغییرهای مستقل و اثرات فعل و انفعال آنها و طراحی آرایه متعامد OA[۲] است. AOM[۳] و ANOVA[۴] برای تشخیص متغیرهای مهم و سطوح بهینه آنها بکار برده می شود.

از عوامل مهم در بدست آوردن سطوح با کیفیت بالا در تراشکاری، تنظیم متغییرهای تراشکاری می باشد که نامتناسب بودن هر یک از آن ها موجب عدم دقت و کیفیت در سطوح می گردد و تناسب آن ها بر اساس ابزار انتخابی می باشد. متغییرهای تراشکاری عبارت از سرعت برش، نرخ پیشروی و عمق برش می باشند.

پارامترهای ماشینکاری که انتخاب شده اند بر اساس اطلاعات در دسترس در مقالات و آزمایش های گذشته بوده است. مسلم شده است که سرعت برش در حرارت تولیدی در ماشینکاری تاثیر دارد. به موجب تغیر فرم ماشینکاری تنشهای باقیمانده روی سطح ماشینکاری شده وارد می شود . علاوه بر این نرخ پیشروی عمق برش روی نیروی برش تاثیر می گذارد که در تراش، روی کارسختی و تنشهای باقیمانده در سطح ماشینکاری شده اثر می گذارد [۸] .

سه متغییر ۱- سرعت برشی ۲- میزان پیشروی ۳- عمق برش برش به عنوان متغیرهای مستقل در ماشینکاری اینکنل ۷۱۸ انتخاب می شود.سرعت برشی، پیشروی و عمق برش در سه سطح مختلف انتخاب شده است (جدول۲).

جدول۲: عامل های آزمایش و سطوح مربوط به آن ها

عامل ها	سطوح
عمق براده برداری	0.5 – 0.8 – 1 mm
سرعت برشی	25 – 35 – 45 m/min
نرخ پیشروی	0.05 – 0.08 – 0.1 mm/ rev

میزان پیشروی و عمق برش ذکر شده در بالا بر اساس مقالات موجود و کاتالوگ تولید ابزار برش انتخاب شده است. با داشتن سه فاکتور سه سطحی، آرایه متعامد L_9 انتخاب شده است.

انتخاب متفیر خروجی: در این تحقیق، سه متغیر پاسخ در نظر گرفته شده است:

۱- زبری سطح

۲- نیروهای ماشینکاری

آگاهی از نیروهای برش یکی از موضوعات پر اهمیت در فرآیندهای ماشینکاری است. آگاهی از نیروها به منظور تخمین قدرت مورد نیاز ماشین ابزار و طراحی اجزا آن، صلبیت مناسب و بدون ارتعاش ماشین ابزار امری ضروری است.

عوامل موثر بر نیروی ماشینکاری عبارتند از :

- ماده: تابع نوع، وضعیت شبکه و وضعیت عملیات حرارتی می باشد.
- ابزار: تابع جنس، هندسه، وضعیت ساییدگی و شکل می باشد.

[2] Ortogonal arrey
[3] Analysis of means
[4] Analysis of variance

- کمیت های تنظیمی: تابع پیشروی، عمق تراش و سرعت تراش می باشد.
- سایر عوامل: تابع روانکاری، خنک سازی، شکل براده و مقاومت سایشی می باشد [۹].

کیفیت سطح یکی از مهم ترین پارامترهای کارکردی قطعات مکانیکی و همچنین یکی از محدودیت ها در انتخاب پارامترهای براده برداری در طراحی فرآیند می باشد. کیفیت سطح در بارگذاری خستگی، انطباق های دقیق، نرخ سایش و مقاومت خوردگی تاثیرگذار می باشد[۱۰]. سطوح با روش های مختلفی تولید می شوند که از حرکت نسبی ابزار و قطعه کار نسبت به هم حاصل می شود. یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار بر کیفیت سطح ماده، ابزار برشی می باشد. ابزار با موادسخت تر سطح بهتری را حاصل می کند. عامل موثر دیگر بر کیفیت سطح صلبیت ماشین ابزار، قطعه کار و ابزار برشی است. ارتعاش در سیستم ماشینکاری باعث کاهش طول عمر ابزار و کاهش کیفیت سطح می شود. از دیگر عوامل موثر بر کیفیت سطح می توان به ویژگی هندسه ابزار و پارامترهای ماشینکاری که شامل سرعت برش، عمق براده برداری و نرخ پیشروی می باشد، اشاره کرد.

۲. روش و پروسه آزمایش:

آزمایشهای انجام شده، قطعه ی کار، ابزار و تجهیزات بکار برده شده در زیر لیست شده است.

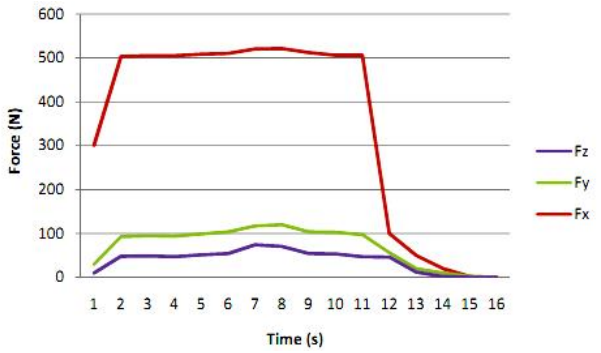
قطعه کار: قطعه استوانه ای شکل اینکونل ۷۱۸ با قطر ۵۰ میلیمتر به ضخامت ۵۰ میلیمتر.

ابزار برش: اینزرت مثلثی شکل کاربایدی پوشش شده به روش نانو PVD، با شعاع گوشه ۰/۸ میلیمتر (TNMG 220408 NN)

نگهدارنده ابزار: MTJNR 2525 M20

دینامومتر: دینامومتر به کار رفته در این تحقیق از نوع پیزوالکتریک بوده و قادر به اندازه گیری نیروها در سه جهت عمود بر هم (پیشروی، شعاعی و برشی) می باشد. قبل از آزمایش از صفر بودن نیروهای وارد به دینامومتر اطمینان حاصل می شود تا کلیه آزمایش ها در شرایط یکسان انجام شده باشند. (مدل KISTLER9257B). شکل ۳ نمونه ای از نمودارهای بدست آمده از دینامومتر را نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می کنید نیروی برشی (F_x) از نیروی پیشروی (F_y) و نیروی شعاعی (F_z) بیشتر است. نیروها از قسمتی که نمودار پایدار شده است، میانگین گرفته می شود.

سیگنال های ارسال شده از کریستال های پیزو الکتریک، بسیار ضعیف و در حد ۲×۱۰^{-۱۲} کولن بر نیوتن می باشد که برای تقویت آن ها از یک آمپلی فایر استفاده شده است. برای پردازش سیگنال های خروجی آمپلی فایر از کامپیوتر استفاده شده است.



شکل۳: نیروهای حاصل از آزمایش شماره ۵

زبری سنج: پس از ثبت نیروهای ماشینکاری به کمک دینامومتر، با استفاده از یک زبری سنج، زبری میانگین سطوح ماشینکاری در سه نقطه از قطعه کار اندازه گیری شده و میانگین مقادیر زبری متوسط ثبت شده است. زبری سنج مورد استفاده به نام Perthometer M2 ، قابل حمل بوده و ساخت شرکت Mahr آلمان می باشد. این دستگاه برای اندازه گیری زبری باید مسافتی به طول ۵/۶ میلیمتر از قطعه کار را لمس کند. استاندارد اندازه گیری زبری بر اساس استاندارد DIN END 3274:1998 انتخاب شده است.

نحوه انجام آزمایش:

در آزمایش های ماشینکاری که برای تولید قطعه انجام می شود، وسایلی که معمولا به طور ثابت در فرآیند استفاده می شوند را باید به کار برد. سه نظام و اسپیندل باید در جای خود استوار بوده و به خوبی بالانس شده باشند(برای ارزیابی روش بالانس کردن به استاندارد ISO 1940-1 مراجعه شود).

جدول۳: آرایه متعامد L_9 و ترتیب انجام آزمایش ها

شماره آزمایش	سرعت برشی	نرخ پیشروی	عمق برش	زبری سطح ۱ (میکرومتر)	زبری سطح ۲ (میکرومتر)	نیرو ۱ (نیوتن)	نیرو ۲ (نیوتن)
۱	۱	۱	۱	۰/۸۸۶	۰/۹۱۵	۱۹۵	۲۰۹
۲	۱	۲	۲	۱/۲۳۵	۱/۳۱۲	۴۳۹	۴۲۶
۳	۱	۳	۳	۱/۹۲۵	۲/۰۱۳	۶۵۴	۶۶۸
۴	۲	۱	۲	۰/۷۸۱	۰/۷۹۶	۲۸۶	۲۸۱
۵	۲	۲	۳	۱/۳۲۵	۱/۳۶۸	۵۲۲	۵۵۰
۶	۲	۳	۱	۲/۰۱۵	۱/۷۶۹	۳۲۱	۳۲۹
۷	۳	۱	۳	۰/۷۱۱	۰/۷۹۱	۳۴۸	۳۵۱
۸	۳	۲	۱	۱/۴۸۳	۱/۴۸۵	۲۵۷	۲۴۸
۹	۳	۳	۲	۱/۶۹۸	۱/۷۲۱	۴۸۱	۴۷۵

تجزیه و تحلیل آماری نتایج آزمایش ها و معرفی شرایط بهینه ماشینکاری:

روند تاثیر پارامترهای ماشینکاری بر نیروهای ماشینکاری

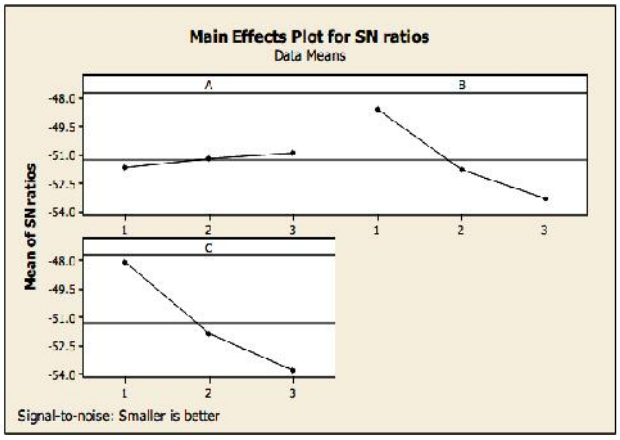
پس از مشخص شدن پارامترهای تاثیرگذار بر نیروهای ماشینکاری و زبری سطح، قدم بعدی اطلاع از روند تاثیر پارامترهای ماشینکاری خواهد بود. با افزایش سرعت برش، نیروی برشی و در نتیجه انرژی مخصوص تراش کاهش می یابد. افزایش سرعت برش مساحت صفحه برش و یا بهتر بگوییم حجم ناحیه تغییر شکل اولیه کاهش یافته (Ø زاویه صفحه برش افزایش پیدا می کند) لذا انرژی مخصوص کمتری صرف برداشتن براده می گردد. همچنین با افزایش سرعت برشی نیروی اصطکاک روی سطح قلم نیز کاهش یافته و باعث کاهش نیروی ماشینکاری می گردد.

افزایش سرعت پیشروی و عمق برش باعث افزایش نیروهای ماشینکاری می شود. افزایش نیرو با افزایش عمق براده برداری و نرخ پیشروی را می توان حاصل از افزایش سطح مقطع براده تغییر شکل نیافته ($A_c=a_p\times a_f$) دانست، که با افزایش عمق براده برداری و نرخ پیشروی سطح مقطع مقاوم در برابر برش افزایش یافته و در نتیجه نیروی بیشتری برای جدا کردن براده از سطح قطعه کار لازم است.

جدول۴: آنالیز واریانس نسبت S/N برای نیروی ماشینکاری

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	0.8823	0.8823	0.4411	142.54	0.007
B	2	35.5667	35.5667	17.7834	5746.33	0.000
C	2	52.0197	52.0197	26.0098	8404.54	0.000
Residual Error	2	0.0062	0.0062	0.0031		
Total	8	88.47.48				

از مقدار-P جدول آنالیز واریانس نسبت S/N برای نیروی ماشینکاری (جدول۴)، می توان برداشت کرد که هر سه پارامتر ماشینکاری (سرعت برشی، نرخ پیشروی و عمق براده برداری) بر روی نیروی تراش بسیار تاثیر گذار بوده است (با قابلیت اطمینان ۹۵ درصد). بیشترین تاثیر را عمق برش و نرخ پیشروی دارد.



شکل۴: نمودارهای نسبت S/N برای نیرو

با توجه به مقادیر نسبت سیگنال به نویز (شکل۴)، مقادیر بهینه نیرو در سرعت برشی بالا (۴۵ متر بر دقیقه)، نرخ پیشروی پایین (۰/۰۵ میلیمتر بر دور) و عمق برش پایین (۰/۵ میلیمتر) حاصل می شود. حال مقادیر آزمایش شده در سطوح بهینه پارامترهای ورودی را با مقدار پیش بینی شده توسط نرم افزار مینی تب (Minitab) با هم مقایسه می کنیم.(جدول ۵)

جدول۵:

پیش بینی نیرو		
سطح	پیش بینی	آزمایش
	A3B1C1	A3B1C1
نسبت S/N	-۴۵/۶۷۵۸	-
پاسخ	۱۳۳	۱۳۶

حال رابطه بین پارامترهای ورودی، سرعت برشی(m/min)، نرخ پیشروی(mm/rev) و عمق برش(mm) و خروجی، نیرو(N) را بدست می آوریم.

جدول۶ : Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.96965	0.32322	163.13	0.000
Residual Error	5	0.00991	0.00198		
Total	8	0.97956			

S = 0.0445118 R-Sq = 99.0% R-Sq(adj) = 98.4%

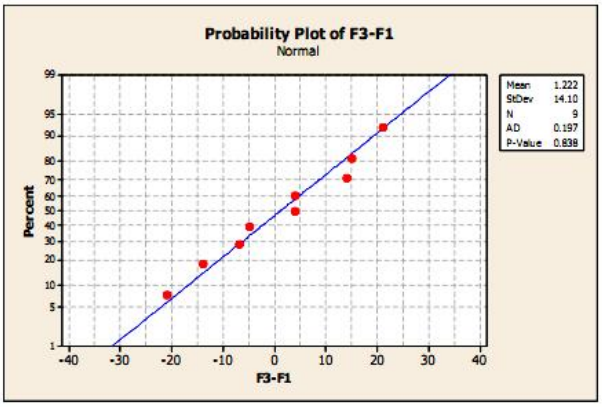
$$F = 7259\, V^{-0.246} f^{0.706} d^{0.874} \qquad (۱)$$

ملاحظه می کنید که ضریب تعیین (R) ۹۹ درصد است که مقدار قابل قبولی برای صحت رابطه (۱) است .در جدول ۷ مقادیر نیروی حاصل از آزمایش و محاسبه شده از رابطه (۱) با هم مقایسه شده است.

جدول۷: بررسی دقت رابطه (۱)

شماره آزمایش	F_1	F_2	F_3	F_3- F_1	F_3- F_2
۱	۱۹۵	۲۰۹	۲۱۶	۲۱	۷
۲	۴۳۹	۴۲۶	۴۵۴	۱۵	۲۸
۳	۶۵۴	۶۶۸	۶۴۷	-۷	-۲۱
۴	۲۸۶	۲۸۱	۳۰۰	۱۴	۱۹
۵	۵۲۲	۵۵۰	۵۰۸	-۱۴	-۴۲
۶	۳۲۱	۳۲۹	۳۲۵	۴	-۴
۷	۳۴۸	۳۵۱	۳۴۳	-۵	-۸
۸	۲۵۷	۲۴۸	۲۶۱	۴	۱۳
۹	۴۸۱	۴۷۵	۴۶۰	-۲۱	-۱۵

نیروی حاصل از آزمایش اول: F_1
نیروی حاصل از آزمایش دوم: F_2
نیروی حاصل از رابطه: F_3



شکل۵:نمودار نقطه ای احتمال نرمال باقیمانده ها

روند تاثیرگذاری پارامترهای ماشینکاری بر زبری سطح:

رابطه تئوریک موجود برای پیش بینی زبری سطح حاصل ابزار با نوک گرد، رابطه ۲ می باشد که زبری را تابعی از شعاع نوک قلم و نرخ پیشروی معرفی می کند. با توجه به رابطه، افزایش شعاع نوک قلم باعث کاهش ارتفاع ناهمواری سطح ماشینکاری و افزایش نرخ پیشروی باعث افزایش ارتفاع ناهمواری سطح ماشینکاری شده خواهد شد. همان گونه که در رابطه مشاهده می شود تاثیر سایر پارامترهای ماشینکاری مانند سرعت برش و عمق براده برداری و سایر پارامترها در این رابطه در نظر گرفته نشده است.

$$R_a = 0.0321 \times \frac{f^2}{r} \qquad (۲)$$

این موضوع باعث شده که پژوهشگران در تحقیقات خود بر روی زبری سطح مواد مختلف، گزارش های متفاوت از اهمیت پارامترهای ماشینکاری بر روی زبری سطح مواد مختلف ارائه کنند.

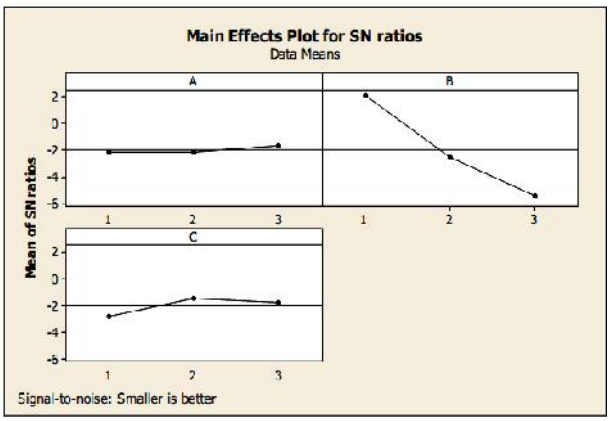
در مورد روند تاثیر نرخ پیشروی بر زبری سطح، اکثر پژوهشگران کاهش کیفیت سطح با افزایش نرخ پیشروی را گزارش کرده اند. در این پژوهش نیز روندی مشابه برای تغییر زبری سطح به ازای تغییر نرخ پیشروی مشاهده شده است.

در مورد روند تاثیر گذاری سرعت برش مشاهده شده که ابتدا در اثر ازدیاد سرعت برش سطح کار پرداخت تری حاصل شده سپس به دلیل لبه انباشته، ناهمواری سطح بیشتر می شود. با از بین رفتن لبه انباشته، مجددا با ازدیاد سرعت برش سطح کار پرداخت می شود. دلیل کاهش ناهمواری سطح در اثر ازدیاد سرعت برشی را می توان چنین توجیه نمود که با افزایش سرعت برش تغییر شکل پلاستیکی آسانتر شده و اصطکاک بین سطوح آزاد و سطوح ماشینکاری شده و همچنین اصطکاک سطح قلم و براده در اثر افزایش درجه حرارت کاهش می یابد. در سرعت های زیاد عملا افزایش سرعت برشی تاثیر چندانی در ارتفاع ناهمواری سطوح ندارد، زیرا در این حالت ارتفاع واقعی به ارتفاع تئوری نزدیک می شود. در مجموع با توجه به پژوهش های متعدد انجام شده بر روی مواد مختلف می توان انتظار داشت که تاثیر سرعت برش بر زبری سطح در بازه های متفاوت و برای مواد مختلف، متفاوت باشد. در اینجا نیز با توجه به جدول آنالیز واریانس و مقدار-P تاثیر سرعت برش بر زبری سطح در بازه ی انتخاب (۲۵-۴۵ متر بر دقیقه) شده قابل صرف نظر است (جدول۸).

جدول۸: آنالیز واریانس نسبت S/N برای زبری سطح

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	0.417	0.417	0.2085	0.59	0.617
B	2	86.1244	86.1244	43.0622	128.09	0.008
C	2	3.2212	3.2212	1.6106	4.79	0.173
Residual Error	2	0.6724	0.6724	0.3362		
Total	8	90.4350				

افزایش عمق براده برداری اندکی باعث افزایش زبری سطح می شود و در کل اثر عمق برش بر کیفیت سطح ماشینکاری کم و بدین دلیل می توان عمق برش را تا ۱۰ برابر نرخ پیشروی انتخاب نمود. تنها محدودیت عمق برش پدیده چتر در اثر افزایش عمق برش می باشد (جدول۶).



شکل۶: نمودارهای نسبت S/N برای زبری سطح

با توجه به مقادیر نسبت سیگنال به نویز (شکل۶)، مقادیر بهینه زبری سطح در سرعت برشی بالا (۴۵ متر بر دقیقه)، نرخ پیشروی پایین (۰/۰۵ میلیمتر بر دور) و عمق برش متوسط (۰/۸ میلیمتر) حاصل می شود. حال مقادیر آزمایش شده در سطوح بهینه پارامترهای ورودی را با مقدار پیش بینی شده توسط نرم افزار مینی تب (Minitab) با هم مقایسه می کنیم.(جدول ۹)

جدول۹:

پیش بینی زبری سطح		
سطح	پیش بینی	آزمایش
	A3B1C2	A3B1C2
نسبت S/N	۲/۹۱۹۴	-
پاسخ	۰/۶۴۸	۰/۷۱۲

حال رابطه بین پارامترهای ورودی، سرعت برشی(m/min)، نرخ پیشروی(mm/rev) و عمق برش(mm) و خروجی، نیرو(N) را بدست می آوریم.

جدول ۱۰: **Analysis of Variance**

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	1.17078	0.39026	70.42	0.000
Residual Error	5	0.02771	0.00554		
Total	8	1.19849			

10S = 0.0744448 R-Sq = 97.7% R-Sq(adj) = 96.3%

$$R_a = 26.52\, V^{0.092} f^{1.28} d^{-0.189} \qquad (۳)$$

ضریب تعیین (R) برای رابطه ۳، ۹۷/۷ درصد شده است که تخمین مناسبی برای محاسبه زبری سطح است. حال مقدار باقیمانده ها را بررسی آماری می کنیم.

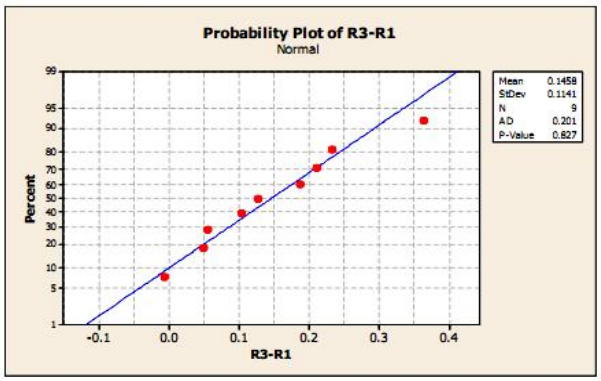
جدول۱۱: بررسی دقت رابطه (۳)

شماره آزمایش	R_{a1}	R_{a2}	R_{a3}	$R_{a3}- R_{a1}$	$R_{a3}- R_{a2}$
۱	۰/۸۸۶	۰/۹۱۵	۰/۸۷۸	-۰/۰۰۸	-۰/۰۳۷
۲	۱/۲۳۵	۱/۳۱۲	۱/۴۶۷	۰/۲۳۲	۰/۱۵۵
۳	۱/۹۲۵	۲/۰۱۳	۱/۸۷۱	-۰/۰۵۴	-۰/۱۴۲
۴	۰/۷۸۱	۰/۷۹۶	۰/۸۲۹	۰/۰۴۸	۰/۰۳۳
۵	۱/۳۲۵	۱/۳۶۸	۱/۴۵۱	۰/۱۲۶	۰/۰۸۳
۶	۲/۰۱۵	۱/۷۶۹	۲/۲۰۱	۰/۱۸۶	۰/۴۰۵
۷	۰/۷۱۱	۰/۷۹۱	۰/۸۱۳	۰/۱۰۲	۰/۰۲۲
۸	۱/۴۸۳	۱/۴۸۵	۱/۶۹۲	۰/۲۰۹	۰/۲۰۷
۹	۱/۶۹۸	۱/۷۲۱	۲/۰۶۱	۰/۳۶۳	۰/۳۴۰

زبری حاصل از آزمایش اول: R_{a1}

زبری حاصل از آزمایش دوم: R_{a2}

زبری حاصل از رابطه: R_{a3}



شکل۷: نمودار نقطه ای احتمال نرمال باقیمانده ها

نتیجه گیری:

۱- تغییرات هر سه پارامتر ماشینکاری (سرعت برشی، نرخ پیشروی و عمق برش) در تغییر نیرو هنگام ماشینکاری اینکونل ۷۱۸ تاثیر دارد. بیشترین تاثیر را با توجه به سطح مقطع براده تغییر شکل نیافته ($A_c=a_p\times a_f$)، عمق برش و نرخ پیشروی دارد.

۲- کمترین میزان نیرو در تراشکاری اینکونل ۷۱۸ در سرعت برشی بالا (۴۵ متر بر دقیقه)، نرخ پیشروی پایین (۰/۰۵ دور بر دقیقه) و عمق برش پایین (۰/۵ میلیمتر) رخ می دهد.

۳- تاثیر نرخ پیشروی در تغییر زبری سطح بیش از عمق برش و سرعت پیشروی در ماشینکاری اینکونل ۷۱۸ می باشد.

۴- بهترین کیفیت سطح در ماشینکاری اینکونل۷۱۸ در سرعت برشی بالا (۴۵ متر بر دقیقه)، نرخ پیشروی متوسط (۰/۰۸ دور بر دقیقه) و عمق برشی پایین (۰/۵ میلیمتر) ایجاد می شود.

۵- فاکتورهای تعیین کننده قابلیت ماشینکاری[5] سوپر آلیاژ پایه نیکل اینکونل ۷۱۸ شامل نرخ براده برداری معین، نیروهای برشی و توان مصرفی، پرداخت سطح و یکپارچگی[6] قطعه ماشینکاری شده، استحکام بالا و سختی قطعه کار می باشند.

مراجع:

1. Barker J.F, Kreuger, D.D, and Change D.R, "Thermomechanical Processing of inconel 718 and its effect on properties", Advanced High- Temperature Alloys: Processing and properties, held in Cambridge, MA , june 16-18, 1385 American society for metals, metals Park, OH, pp 125-137 (1986)

2. Sime, C.T. , Hagel, W.C, "The superalloys, " Wiley, New York, (1972).

2. Inconel Alloy 718, "Huntington Alloys", Inc. 10M7-78 T-39 (1978).

3. Ezugwu EO,Wang ZM, Machado AR. "The machinability of nickel-based alloys", a review. J Mater Process Technol 1999; 86:1–16.

4. R.M. Arunachalam, M. A Mannan, A.C. Spowage, Residual stress and surface roughness when facing age hardened Inconel 718 with CBN and ceramic cutting tools, International Journal of Machine Tools and Manufacture 44 (2004) 879–887.

5. R.T. Coelho, L.R. Silva, A. Braghini Jr., A.A. Bezerra, Some effects of cutting edge preparation and geometric modifications when turning Inconel 718 at high cutting speeds, Journal of Materials Processing Technology 148 (1) (2004) 147–153.

6. Brian Griffith, "Manufacturing Surface Technology-Surface Integrity and Functional Performance", Penton Press, London, 2001.

7. Dudzinski D, Devillez A, Moufki A, Larrouquère D, Zerrouki V, Vigneau J. "A, review of developments towards dry and high speed machining of Inconel 718 alloy". Int J Mach Tools Manufact 2004;44:439–56.

8. D.G. Thakur , B. Ramamoorthy, L. Vijayaraghavan, "Study on the machinability characteristics of superalloy Inconel 718 during high speed turning", Materials and Design 30 (2009) 1718–1725.

11. I.A. Choudhury, M.A. El-Baradie, Machinability of nickel base super alloys: a general review, Proc. Advances in Materials and Processing Technologies AMPT'95, vol. III, Dublin, Ireland, 1995, pp. 1405-1413.

10. D.Y. Jang, J.H. Liou, T.R. Watkins, K.J. Kozaczek, C.R. Hubbard, "Characterization of surface integrity in machined austenitic stainless steel, Manufacturing Science and Engineering, " MED 3 (1) (1995) 399–413.

[5] Machining abiliy
[6] Integrity