فهرست

فصل۱: مقدمه

۱-۱ تعریف مسئله ۶

۱-۲ ساختلر پایان‌نامه ۸

فصل۲: معرفی سوپرآلیاژها

۲-۱ معرفی و کاربرد سوپرآلیاژها ۱۰

۲-۲ سوپرآلیاژهای پایه نیکل ۱۲

۲-۳ معرفی اینکونل ۷۱۸ ..... ۱۳

۲-۴ قابلیت ماشینکاری اینکونل ۷۱۸ ..... ۱۴

فصل۳: ماشینکاری سوپرآلیاژها

۳-۱ اصول ماشینکاری و روند آن ۱۸

۳-۲ ماشینکاری سریع و خشک ۲۰

۳-۳ ماشینکاری اینکونل ۷۱۸ ..... ۲۲

۳-۴ ابزار برش ۲۵

۳-۵ متغییرهای تراشکاری ۲۷

۳-۶ نیروها در ماشینکاری ۲۸

۳-۷ کیفیت سطح و پارامترهای موثر بر آن ۳۲

۳-۸ مروری بر تحقیقات صورت گرفته ۳۳

فصل۴: طراحی آزمایشات

۴-۱ مقدمه ۳۹

۴-۲ تعاریف و اصطلاحات ۴۰

۴-۳ مراحل طراحی آزمایش ۴۱

۴-۴ طراحی آزمایش تاگوچی ۴۴

۴-۵ آرایه‌های متعامد ۴۵

۴-۶ انتخاب یک آرایه متعامد استاندارد ۴۷

۴-۷ انتخاب آرایه متعامد برای اجرای آزمایشات ۵۰

فصل۵: انجام آزمایشات و تحلیل آماری نتایج

۵-۱ ابزار برشی ۵۳

۵-۲ تجهیزات مورد استفاده ۵۵

۵-۳ ارائه نتایج آزمایشات و تحلیل تاگوچی ۵۷

۵-۴ آنالیز واریانس ۵۹

۵-۵ آنالیز واریانس نیروی ماشینکاری ..... ۶۰.

۵-۶ تاثیر پارامترها بر نسبت S/N ۶۱

۵-۷ تعیین سطوح بهینه پارامترها برای نیروی ماشینکاری ۶۲

۵-۸ پیش‌بینی و انجام آزمایش تاییدی نیروی ماشینکاری ۶۳

۵-۹ آنالیز واریانس زبری سطح ۶۳

۵-۱۰ تاثیر پارامترها بر نسبت S/N ۶۴

۵-۱۱ بهینه سازی بر اساس معیار زبری متوسط سطح ۶۵

۵-۱۲ پیش‌بینی و انجام آزمایش تاییدی زبری سطح ۶۵

فصل۶: مدلسازی و بهینه کردن پارانترهای ماشینکاری

۶-۱ مدلسازی رگرسیونی ۶۸

۶-۱-۱ رگرسیون چند متغییره خطی نیروی ماشینکاری ۷۰

۶-۱-۲ مدل لگاریتمی نیروی ماشینکاری ۷۱

۶-۱-۳ مدل رگرسیونی چند جمله‌ای مرتبه دوم نیروی ماشینکاری ۷۲

۶-۱-۴ رگرسیون چند متغییره خطی زبری سطح ۷۴

۶-۱-۵ مدل رگرسیونی چند جمله‌ای مرتبه دوم زبری سطح ۷۵

۶-۱-۶ مقایسه مدل‌ها ۷۶

۶-۲ روش‌های بهینه‌سازی ۷۷

۶-۳ الگوریتم تبرید تدریجی ۷۹

۶-۳-۱ تابع سرمایش ۸۲

۶-۳-۲ شرط توقف ۸۲

۶-۴ بهینه سازی پارامترهای ماشینکاری با الگوریتم تبرید تدریجی ۸۴

فصل۷: جمعبندی و ارائه پیشنهادات

۷-۱ جمعبندی و بررسی نتایج ۸۹

۷-۲ پیشنهادات برای تحقیقات آینده ۹۱

مراجع ۹۸

پیوست ۹۲

فصل اول

مقدمه

۱–۱ تعریف مسئله

سوپر آلیاژ پایه نیکل اینکونل ۷۱۸ به طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد به طوری که تقریبا $\frac{1}{3}$ از همه محصولات سوپرآلیاژها را تشکیل می‌دهد. اینکونل ۷۱۸ در میان آلیاژهای پایه نیکلی بی-نظیر می‌باشد، زیرا قابلیت جوشکاری خوب و مقاومت بالایی در برابر ترک‌های ناشی از پیر کرنشی از خود نشان می‌دهد. همچنین در ساختار سازه‌های هوا فضایی، هسته‌ای، پتروشیمی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد عمده هوافضایی این آلیاژ شامل کمپرسور، توربین دیسکی، تیغه گرداننده توربین، جدا کننده ها و پیچ ها برای راکت سوخت مایع جت می‌باشد. این اجزا معمولا در شرایط دمایی بسیار بالا یا بسیار پایین و تحت تنش‌های دینامیکی بزرگ کار می‌نمایند و بنابراین نیاز به استحکام و مقاومت به خزش بسیاری خوب دارند[۱]. از سویی بدلیل استحکام بسیار بالای آلیاژهای پایه نیکل، قابلیت ماشینکاری آنها پایین است و برای کسب کیفیت سطح مطلوب می‌بایست شرایط و پارامترهای ماشینکاری بدقت تنظیم شوند.

فرآیند ماشینکاری یکی از مراحل ضروری در تولید قطعات فلزی با دقت ابعادی و صافی سطح بالا است. کیفیت قطعات صنعتی تا حدی زیاد به چگونگی اجرای این فرآیند بستگی دارد. قابلیت ماشینکاری اصطلاحی است که بیان کننده میزان سهولت تراش یک ماده در جهت رسیدن به شکل مورد نظر، با توجه به ابزار و فرآیند ماشینکاری، است. در ماشینکاری نیروهای برشی، انرژی مصرف شده، صافی سطح و حتی شکل براده، در اندازه گیری قابلیت ماشینکاری یک ماده موثر است. بنابراین ماشینکاری بسیار متاثر از خصوصیات جنس قطعه کار، خصوصیات ابزار، شرایط ماشینکاری و عوامل دیگر نظیر صلبیت ماشین است. با انتخاب صحیح هر کدام از عوامل فوق و ترکیب درست و بهینه آن ها پیشرفت فراوان در تولید حاصل خواهد شد. بنابر این در ماشینکاری مواد سخت تراش سوپر آلیاژی بسیار اهمیت دارد که عوامل فوق در نظر گرفته شده و به پارامترهای بهینه ورودی نایل شد.

یکی از روش‌های نوین ماشینکاری "ماشینکاری پر سرعت[1]" است. در این روش از سرعت‌های برشی بالا، با توجه به جنس ماده، استفاده می‌شود. یکی از خصوصیات ماشینکاری پرسرعت، تاثیرگذاری بر ماده در دست ماشینکاری است. این تاثیرگذاری بیشتر در این جهت است که خصوصیات ماده در طول ماشینکاری به طور موقت به آن صورت که تغییر کند که نیروی ماشینکاری کاهش پیدا نماید [۲]. در این خصوص پارامترهای برشی، بخصوص سرعت برشی، دارای نقش مهمتری هستند.

تحقیقات متعددی در زمینه ماشینکاری سوپرآلیاژ اینکونل ۷۱۸ به‌منظور بهینه کردن شرایط ماشینکاری و کاهش هزینه‌ها و افزایش کیفیت تولید، در حال انجام است. بااینحال، اکثر تحقیقات انجام شده در این زمینه مربوط به بررسی طول عمر ابزار بوده و در زمینه کاهش انرژی مصرفی و افزایش کیفیت سطح فعالیت مهمی صورت نگرفته است. بنابراین موضوع تحقیق حاضر بررسی پارامترهای تراشکاری پرسرعت اینکونل ۷۱۸ به منظور کاهش نیروهای برشی و بهبود کیفیت سطح نهایی انتخاب شده است. پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش شامل سرعت برشی، نرخ پیشروی و عمق براده‌برداری می‌باشند.

در این راستا به کمک طراحی آزمایشات[2]، مجموعه‌ای از آزمایشات تجربی بر روی قطعات استوانه‌ای از جنس آلیاژ اینکونل ۷۱۸ انجام یافته است. سپس خروجی‌های فرآیند (زبری سطح و نیروهای ماشینکاری) اندازه‌گیری شده‌اند. در مرحله بعد، به کمک توابع رگرسیونی، مدل‌های ریاضی فرآیند توسعه داده شده و بهترین مدل انتخاب شده است. در گام نهایی تحقیق، مدل‌های انتخابی، با استفاده از دو رویکرد تحلیل تاگوچی و الگوریتم تبرید تدریجی[3]، بهینه‌سازی شده‌اند تا مقادیر بهینه پارامترهای برشی تعیین شوند. دست‌یابی به پارامترهای بهینه از دو دیدگاه مورد بحث قرار گرفته شده است:

[1] High Speed Machining
[2] Design Of Experiment (DOE)
[3] Simulated Annealing

الف) تعیین مقادیر بهینه پارامترهای ماشینکاری جهت داشتن کمترین نیروهای ماشینکاری

ب) تعیین مقادیر بهینه پارامترهای ماشینکاری بمنظور کسب کمترین زبری سطح

۱-۲ ساختار پایان‌نامه

بخش‌های مختلف این گزارش بترتیب زیر سازماندهی شده‌اند:

فصل۲: معرفی اینکونل ۷۱۸ شامل خواص ساختاری - مکانیکی آن و خصوصیاتی که منجر به ماشینکاری سخت این آلیاژ می شود.

فصل۳: تشریح اصول ماشینکاری باتکیه بر ماشینکاری سوپرآلیاژها، ماشینکاری پرسرعت و خشک به‌همراه مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه ماشینکاری اینکونل ۷۱۸

فصل۴: ارائه کلیات و تعاریف طراحی آزمایشات خصوصا طرح تاگوچی و انتخاب ماتریس آزمایشات برای اجرای آزمایشات عملی در تحقیق

فصل۵: معرفی تجهیزات و نحوه انجام آزمایشات تجربی، ارائه و بحث نتایج آزمایشات شامل تحلیل واریانس و بررسی میزان تاثیر پارامترهای تنظیمی و همچنین تعیین سطوح بهینه آنها با استفاده از روش تاگوچی

فصل۶ : مدل‌سازی رگرسیونی فرآیند، ارائه نتایج تحلیل‌های آماری و انتخاب مدل‌های اصلح، معرفی الگوریتم بهینه‌سازی تبرید تدریجی، ارائه و بحث نتایج حاصل از بهینه‌سازی توسط این الگوریتم

فصل۷ : جمعبندی و ارائه خلاصه‌ای از نتایج و دستاوردهای تحقیق، نتیجه گیری و ارائه پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی

فصل دوم

معرفی سوپرآلیاژ اینکونل ۷۱۸

۲-۱ معرفی وکاربرد سوپرآلیاژها

سوپرآلیاژها در واقع آلیاژهایی مقاوم در برابر حرارت، خوردگی و اکسیداسیون می‌باشند که به لحاظ ترکیب شیمیایی شامل سه گروه پایه نیکل، نیکل-آهن و پایه کبالت می باشند. اولین استفاده از سوپرآلیاژها در ساخت توربینهای گازی، طرحهای تبدیل ذغال‌سنگ، صنایع شیمیایی و صنایعی که نیاز به مقاومت حرارتی و خوردگی داشته اند بوده است.

امروزه تناژ وسیعی از قطعات مصرفی در توربینهای گازی از جنس سوپرآلیاژها می باشند. در ذیل به بعضی از مصارف این قطعات اشاره شده است:

- توربینهای گازی هواپیما

- توربینهای بخار نیروگاه‌های تولید برق

- مصارف پزشکی و دندانپزشکی

- سیستمهای نوترونی و هسته ای

- سیستمهای شیمیایی و پتروشیمی

- تجهیزات کنترل آلودگی

به منظور انتخاب سوپرآلیاژها جهت مصرف در کاربردهای فوق لازم است خواص فنی نظیر شکل پذیری، استحکام، مقاومت خزشی، استحکام خستگی و پایداری سطحی در نظر گرفته شوند [۲].

- **سوپرآلیاژهای پایه آهن**

سوپرآلیاژهای پایه آهن نشات گرفته از فولادهای زنگ نزن آستینتی می باشند که دارای زمینهای از محلول جامد آهن و نیکل بوده و برای پایداری زمینه نیاز به حداقل ۲۵ درصد نیکل است.

- گروه‌های متعددی از این آلیاژها تاکنون مشخص گردیده اند که هر یک با مکانیزمهای خاصی مستحکم می شوند. برخی از این آلیاژها نظیر V-۵۷ و A-۲۸۶ حاوی ۲۵ تا ۳۵ درصد وزنی نیکل

می باشند و استحکامشان به دلیل حضور آلومینیوم و تیتانیم می‌باشد.

- گروه دوم آلیاژهای پایه آهن که آلیاژهایX750 و Incoloy901 نمونه‌های آن می باشند، حداقل ۴۰ درصد وزنی نیکل داشته و همانند گروههای با نیکل بالاتر استحکام بخشی توسط سختی رسوبی صورت می گیرد.

- گروه دیگر این آلیاژها بر پایه آهن- نیکل- کبالت میباشند و استحکام این گروه در محدوده ۶۵۰ درجه سانتیگراد مناسب بوده و ضریب انبساط حرارتی آنها پایین می باشد. این آلیاژها شامل Incoloy با شماره های ۹۰۳، ۹۰۷، ۹۰۹، ۱-۱- PyrometCTX و ۳-PyrometCTX و غیره می باشند [۲].

- **سوپرآلیاژهای پایه کبالت**

سوپرآلیاژهای کارپذیر پایه کبالت برخلاف سایر سوپرآلیاژها مکانیزم استحکام بخشی متقاوتی دارند و خواص حرارتی خوبی در دمای حدود ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد خواهند داشت.

سوپرآلیاژهای پایه کبالت حاوی کرم، مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون خوبی داشته و هم چنین قابلیت جوشکاری و مقاومت به خستگی حرارتی آنها نسبت به آلیاژهای پایه نیکل بالاتر می باشد. از طرف دیگر امکان ذوب و ریخته گری این آلیاژ، در هوا با اتمسفر آرگون مزیت دیگری نسبت به سایر سوپرآلیاژها که نیاز به خلاء دارند، می باشد.

سه گروه اصلی آلیاژهای پایه کبالت را میتوان به صورت ذیل در نظر گرفت:

- آلیاژهایی که در دماهای بالا در محدودهٔ ۶۵۰ تا ۱۱۵۰ درجه سانتیگراد مورد استفاده قرار می گیرند که شامل آلیاژهایS-816، 25HAYNES، 25HAYNES 188، 55625HAYNES، 50UMCO می باشند.

- آلیاژهایی که تا حدود ۶۵۰ درجه سانتیگراد به کار می روند نظیرTN3MP، 159 MP

- آلیاژ مقاوم به سایش B 6 Stellite

آلیاژ HAYNES 2525 بیشترین کاربرد را در میان آلیاژهای کارپذیر پایه کبالت داشته اشت و در ساخت قطعات گرمکار نظیر توربینهای گازی، اجزاء راکتورهای هسته ای، ایمپلنت‌های جراحی و غیره مورد استفاده قرار گرفته اند. آلیاژهای گروه پایه کبالت که شامل کرم- تنگستن- کربن می باشند معروف به آلیاژهای Satellite بوده که به شدت مقاوم به سایش می باشند.

این گروه معمولا در مواردی که مقاومت سایشی در درجه حرارت‌های بالا مورد نیاز باشد به کار می روند. در واقع سختی این مواد در دمای بالا حفظ شده و در مواقعی که نمی توان در حین کار روغنکاری انجام داد به خوبی مورد استفاده قرار می گیرند [۲].

۲-۲ سوپرآلیاژهای پایه نیکل

امروزه آلیاژهای نیکل در حالت‌های تک‌فازی، رسوب سختی شده و مستحکم‌شده توسط رسوبات اسیدی و کامپوزیت ها در مصارف صنعتی مختلف مورد استفاده قرار می گیرند.

سوپرآلیاژهای پایه نیکل پیچیده ترین ترکیباتی می باشند که در قطعات دمای بالا به کار می روند. در حال حاضر ۵۰ درصد وزن موتورهای هواپیماهای پیشرفته از جنس این آلیاژها می باشد. خصوصیات اصلی آلیاژهای نیکل، پایداری حرارتی و قابلیت مستحکم شدن می باشد.

بسیاری از این آلیاژها حاوی ۱۰ الی ۲۰ درصد کرم، حداکثر ۸ درصد آلومینیوم و تیتانیم، ۵ تا ۱۵ درصد کبالت و مقادیر کمی مولیبدن، نیوبیم و تنگستن می باشند.دو گروه اصلی از آلیاژهای آهن- نیکل که میزان نیکل آنها بیشتر از مقدار آهن است عبارت از گروه Incoloy 706 و Inconel 718 می باشند.

این آلیاژها معمولاً حاوی ۳ تا ۵ درصد نیوبیم می باشند و در ردیف آلیاژهای پایه نیکل قرار می گیرند. آلیاژهای پایه نیکل معمولاً تا دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد استحکام خود را حفظ می کنند. اما در دماهای بالاتر به سرعت استحکام خود را از دست می دهند [۳].

۲-۳ معرفی اینکونل ۷۱۸[1]

آلیاژ اینکونل ۷۱۸ به طور وسیعی به عنوان سوپرآلیاژ 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. این آلیاژ را هم به شکل ریختگی و هم به شکل کار شده تولید می شود. هم چنین 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 [۴-۹]. ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی

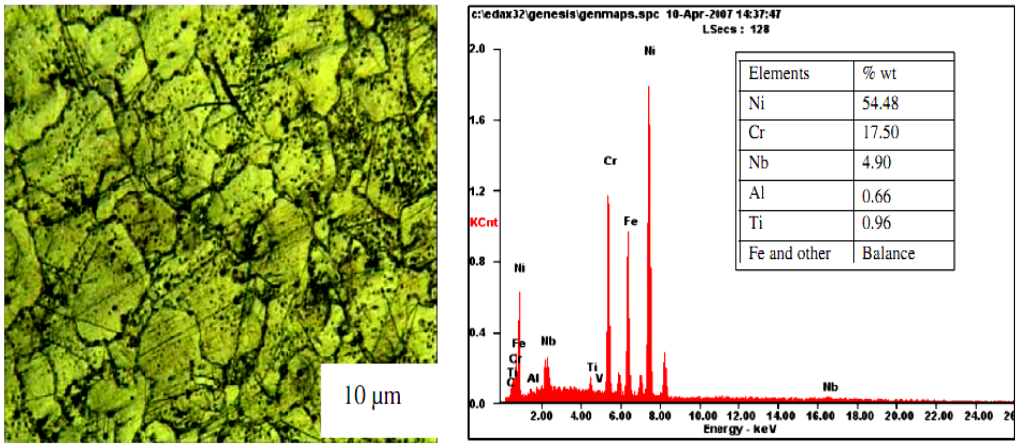
[1] Inconel 718

این آلیاژ در شکل ۱-۱ و جدول۱-۱ آمده است. از جمله این خواص می توان به هدایت گرمایی و ظرفیت گرمای ویژه کم این آلیاژ اشاره کرد.

جدول۱-۱: خواص مکانیکی اینکونل ۷۱۸ [۱۰]

Properties of Inconel 718

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



الف- درصد عناصر تشکیل دهنده اینکونل ۷۱۸ ب- ریزساختار اینکونل ۷۱۸

شکل ۱-۱ [۱۰]

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 [۴].

۲-۴ قابلیت ماشینکاری[۲] اینکونل ۷۱۸:

آلیاژهای پایه نیکل به طور گسترده در صنعت هوافضا ، به ویژه در بخش موتورهای توربین گاز، با توجه به استحکام و مقاومت در برابر خوردگی آن ها در دماهای بالا، مورد استفاده قرار می گیرند.

آلیاژهای پایه نیکل در زمره ی مواد سخت ماشینکاری قرار گرفته اند، بخصوص سوپر آلیاژ اینکونل

[2] Machinability

۷۱۸. خصوصیاتی که منجر به ماشینکاری سخت این آلیاژ می شود عبارتست از:

- حفظ استحکام در دمای بالا هنگام ماشینکاری
- نرخ کرنش در این آلیاژ بسیار حساس بوده و به آسانی کار سختی رخ می دهد، که باعث سایش ابزار می شود.
- وجود ذرات به شدت ساینده کاربایدی در ریزساختار این آلیاژ که باعث سایش ابزار و پوشش آن می شود.
- هدایت ضعیف گرمایی که منجر به دمای بالای برش تا ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد در سطح براده می شود.
- جوشکاری و چسبندگی آلیاژهای پایه نیکل بر روی ابزار برش در ماشینکاری که غالبا باعث لب پریدگی تیغه برش می شود.
- سوپر آلیاژهای پایه نیکل تمایل فراوان به واکنش شیمیایی و نفوذ در پوشش ابزار برش دارند.
- به علت استحکام بالای این آلیاژ، نیروهای برش به مقدار بالایی می رسند که باعث تحریک ماشین ابزار و ایجاد ارتعاشات و تنزل کیفیت سطح ماشینکاری می شود.

مشکلات ماشینکاری به دو دسته اصلی قابل تقسیم هستند:

- عمر کوتاه ابزار
- صافی سطح قطعه نهایی

گرمای تولیدی و تغییر فرم پلاستیکی در هنگام ماشینکاری بر روی سطح ماشینکاری تاثیر می-گذارد. حرارت تولید شده معمولا مخدوش کننده ریزساختار آلیاژ و باعث ایجاد تنش های باقیمانده می باشد. حرارت و تغییر شکل پلاستیکی باعث ایجاد ترک و تغییرات ساختاری و هم چنین تغییرات سختی می شود.

بنابراین برای اطمینان از یکپارچگی سطح[۳] قطعه در ماشینکاری، باید مراقبت های شدیدی صورت گیرد. بسیاری از پارامترهای مهم از جمله انتخاب ابزار، روش ماشینکاری، سرعت برش، نرخ پیشروی و عمق برش برای دستیابی به عمر بالای ابزار و سطحی با کیفیت باید کنترل شود.

[3] Surface integrity

فصل سوم

ماشینکاری سوپرآلیاژها

۳–۱ اصول ماشینکاری و روند توسعه آن

فرآیند ماشینکاری روش شکل دهی است که بر اساس تغییر حجم در ماده می باشد. این فرآیند اغلب یکی از مراحل ضروری در تولید قطعات فلزی با دقت ابعادی و صافی سطح بالا است. کیفیت قطعات صنعتی تا حدی زیاد به چگونگی اجرای این فرآیند بستگی دارد.

در عملیات ماشینکاری به دنبال افزایش بهره وری هستند و متخصصین مختلف در این زمینه تلاش‌های بسیاری کرده اند. این افراد راه های مختلفی را برای افزایش بهره وری پیشنهاد داده اند. این روش ها عبارت بودند از:

- عملیات حرارتی
- استفاده از ابزارهای پوشش کاری شده
- استفاده از روش های بهینه سازی سطح از قبیل سندبلاست و . . .
- استفاده از روش های خنک کاری و روان کاری
- توسعه و بهینه سازی روش های تولیدی که همان استفاده از متغییرهای ماشینکاری است.

اما کاربرد سوپر آلیاژها محققان را بر آن داشت که از تاثیرگذاری فیزیکی بر عملکرد تشکیل براده بهره گیرند و بهره‌وری عملیات را افزایش دهند. این تلاش ها وقتی مفید واقع می شد که:

- با افزایش سرعت تراش و سطح مقطع براده برداری افزایش بهره وری حاصل شود.
- به کمک کاهش ساییدگی، در مواد ابزار صرفه جویی شود.
- خصوصیات کاربردی قطعات ماشینکاری شده بهینه سازی گردد.
- به کمک کاهش مراحل تولید، کل مصرف انرژی کاهش یابد.
- یک روند مطمئن برای شکست براده حاصل شود.

از دیدگاه اصول فیزیکی تاثیرگذاری بر روند تشکیل براده قبل از هر چیز توسط تغییر شرایط انرژیکی در محل تشکیل براده امکان پذیر هست. برای تاثیرگذاری بر روند تشکیل براده به صورت

فیزیکی، از انرژی کمکی استفاده می کنیم. در واقع انگیزه اصلی برای استفاده از انرژی کمکی کاربرد مواد سوپر سختی مانند فولاد پر آلیاژ، آلیاژهای تیتانیوم، آلیاژهای پایه نیکل و مشابه آن است که به طور فزاینده به عنوان مواد طراحی در صنایع هواپیما، توربین، موشک، هوافضا، راکتورسازی در صنایع هسته ای، قالب سازی و . . . مورد استفاده قرار می گیرد و در ماشینکاری این گونه مواد با روش های متداول با مشکلات متعددی ازجمله کاهش عمر ابزار ، عدم صافی سطح مطلوب همراه بودیم. لذا برای اینکه در روش های متداول بارگذاری ابزارها کاهش پیدا کند بایستی با سرعت های به مراتب پایین تر کار شود و این عمل باعث می شود که برای تولید محصول یکسان، میزان ماشینکاری و مصرف ماشین ابزار چندین برابر شود. لذا برای اینکه بر این مشکلات غلبه کنیم، دو زمینه فعالیت را دانشمندان مورد بررسی قرار داده اند. دسته اول به فعالیت هایی اطلاق می شد که ابزار را تحت تاثیر قرار می دهند. دسته دوم فعالیت هایی بودند که ماده در دست ماشینکاری را تحت تاثیر قرار می دهند [۱۳-۱۰] . با این فعالیت ها عمل براده برداری جسم سختی که قبلا دشوار بود تسهیل می یابد. تاثیرگذاری بر ابزار شامل دو روش می شود.

۱- سرد کردن ابزار

۲- ماشینکاری ارتعاشی

تاثیرگذاری بر ماده در دست ماشینکاری بیشتر در این جهت است که خصوصیات ماده در طول ماشینکاری به طور موقت به آن صورت که تغییر کند که نیروی ماشینکاری کاهش پیدا کند. این عمل فقط در طول ماشینکاری اتفاق می افتد چون قطعه ای که می خواهیم به کار ببریم باید دارای یک خصوصیات ثابتی که از قبل پیش بینی کرده ایم باشد. (مثل سختی و . . .) و این خصوصیات نبایستی تغییر کند بلکه فقط در محل تاثیر ابزار و قطعه کار، خصوصیات بایستی به طور موقت تغییر کنند. مثلا خصوصیات مکانیکی اش کم شود تا نیروی ماشینکاری کم شود و ابزار زیاد صدمه نبیند. تاثیرگذاری بر ماده در دست ماشینکاری شامل چندین روش می شود که عبارتند از:

- ماشینکاری پرسرعت HSM[1]
- ماشینکاری تنشی
- ماشینکاری گرم
- ماشینکاری تحت فشار بالا
- روش حداقل مقدار روانکار (MQL[2])
- ماشینکاری به کمک لیزر
- ماشینکاری هیبریدی اینکونل ۷۱۸

امروزه توسعه و بهینه سازی روش های تولیدی که همان استفاده بهینه از متغییرهای ماشینکاری است به دلیل نداشتن مشکلات بیان شده مورد بررسی می باشد. در این راستا به کمک طراحی آزمایش (ایجاد تغییرات در پارامترهای ماشینکاری)، انجام آزمایشات مربوطه و تحلیل نتایج می توانیم پارامترهای بهینه را به منظور بهبود فرایند تعیین کنیم [۱۵-۱۴].

۳-۲ ماشینکاری سریع وخشک

افزایش توجه مقررات دولتی به اثرات فعالیت های صنعتی در سلامتی انسان ها و محیط زیست و رشد آگاهی افراد جامعه، تولید کنندگان را مجبور به کاهش استفاده از روان کننده ها کرده است.

در ماشینکاری مواد مربوط به دانش هوانوردی که در زمره مواد سخت ماشینکاری[3] قرار می گیرند، مصرف خنک کننده ها و روان کننده ها هنگام ماشینکاری بسیار مهم است. هزینه های مربوط به خرید مایع کننده، استفاده، دفع و شستشوی اجزای ماشینکاری، حدود چهار برابر هزینه های مربوط به ابزار می باشد. برای کاهش هزینه های تولید و ایجاد فرآیندی سازگار با محیط زیست، هدف تولید کنندگان، حذف یا به حداقل رساندن استفاده از مایع های خنک کننده می باشد.

[1] High speed machining
[2] Minimum quantity lubricant
[3] Difficult-To-Machining

سرعت برشی بالا یکی دیگر از جنبه های مهم از تکنولوژی صنعتی پیشرفته، برای رسیدن به بهره وری بالا و صرفه جویی هزینه های ماشینکاری است. برای مقابله با چالش های اقتصادی، زیست محیطی و سلامت انسان ها ، ترکیبی از سرعت برشی بالا و برش خشک مورد نیاز است.

توسعه طرح های دولتی، جلوگیری از آلودگی و افزایش تمرکز بر روی محصولات سازگار با محیط زیست، فشار را روی صنایع در به حداقل رساندن ضایعات و آلودگی های زیست محیط زیاد کرده است. به این ترتیب،ISO 14000 استانداردهای زیست محیطی بین المللی برای کمک به صنایع و مدیریت بهتر فعالیت های آن در مواجهه با محیط زیست توسعه یافته اند. به ویژه مربوط می شود به بخش فلزکار که شامل صنایع خودرو و هوا فضا می شود. نقش مایع خنک کننده در ماشینکاری، صرفه جویی در مصرف انرژی و تاثیر مواد زائد فرآیند در روی محیط زیست از مواردی است که بدان ها توجه بسیار شده است.

مزایای استفاده از ماشینکاری خشک به شرح زیر می باشد:

- بدون آلودگی برای اتمسفر و آب که باعث کاهش خطر برای سلامتی، به ویژه پوست و آسیب دستگاه تنفسی می گردد.
- عدم وجود روان کننده ها در اجزای ماشین تراش که باعث کاهش یا حذف هزینه های تمیز کردن و افزایش طول عمر ماشین می‌گردد.
- براده ها با روان کننده مخلوط نمی شود و باعث کاهش هزینه های تخلیه به همراه مصرف انرژی کمتر می‌گردد.
- کاهش هزینه‌های تولید و بهره وری بالاتر

در سرعت برشی بالا، نیاز به روان کننده نمی باشد. به همین دلیل ماشینکاری با سرعت بالا با ماشینکاری خشک، اغلب همراه است. ماشینکاری با سرعت بالا منجر به کاهش نیروهای برش، افزایش نرخ براده برداری و در نتیجه کاهش مصرف انرژ ی می گردد.