بسم الله الرحمن الرحيم
الحمد لله رب العالمين الرحمن الرحيم مالك يوم الدين
اهدنا الصراط المستقيم صراط الذين
انعمت عليهم غير المغضوب عليهم
ولا الضالين

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب **محسن بیابانی** متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکرگردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف(در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی اثر متعلق به دانشگاه شهید رجایی می‌باشد.

امضاء

محسن بیابانی

دانشکده مهندسی مکانیک

بهینه سازی کیفیت سطح سوپر آلیاژ اینکونل تحت فرایند سنگ زنی به کمک الگوریتم ژنتیک

نگارش

محسن بیابانی

استاد راهنما

دکتر نصراله بنی مصطفی عرب

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید

خرداد ۱۳۹۱

بسمه تعالی

شماره: ۱۱۹۲/۱۱۳۸۱
تاریخ: ۱۳۹۲/۶/۵
پیوست:

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

صورتجلسهٔ دفاع پایان‌نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تاییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد جناب آقای محسن بیابانی رشتهٔ مهندسی‌مکانیک-ساخت‌وتولید تحت عنوان بهینه‌سازی کیفیت سطح سوپر آلیاژ اینکونل تحت فرآیند سنگ‌زنی به کمک الگوریتم ژنتیک، که در تاریخ ۹۱/۴/۱۴ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی برگزار گردید و نتیجه به شرح زیر اعلام گردید.

☑ قبول (بادرجه قابل تقدیر امتیاز ۱۵) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود.

۱ ـ عالی (۲۰ – ۱۹)

۲ ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ – ۱۸)

۳ ـ خوب (۱۷/۹۹ – ۱۶)

۴ ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ – ۱۴)

۵- غیرقابل قبول (کمتر از ۱۴)

اعضاء	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر نصراله بنی‌مصطفی‌عرب	استادیار	
استاد داور داخلی	دکتر سعید خدایگان	استادیار	
استاد داور خارجی	دکتر بهنام داودی	استادیار	
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر فرامرز آشنای‌قاسمی	استادیار	

دکتر غلامحسن پایگانه
رئیس دانشکده مهندسی مکانیک

تهران، لویزان، کد پستی: ۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸
صندوق پستی: ۱۶۳-۱۶۷۸۵
تلفن: ۹-۲۲۹۷۰۰۶۰ فکس: ۲۲۹۷۰۰۳۳
Email:sru@sru.ac.ir
www.srttu.edu

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس خدای یگانه را که هر زمان او را خواندم اجابت کرد و هر زمان او مرا خواند کوتاهی کردم اما او باز مرا مورد مهر خود قرار داد تا از جویندگان علم بی نهایتش باشم.

انجام این پایانامه بدون کمک و همکاری استاد بزرگوارم آقای دکتر نصرا... بنی مصطفی عرب ممکن نبود و این فرصت را مغتنم شمرده تا زحمات این استاد را ارج نهاده و از خداوند توفیق روز افزون را برای ایشان آرزو نمایم.

محسن بیابانی

خرداد ۱۳۹۱

چکیده

امروزه فرآیند سنگ‌زنی یکی از مهمترین فرآیندهای پرداخت‌کاری جهت کاهش زبری سطح به شمار می‌رود. سوپرآلیاژ اینکونل خواص منحصر به فردی از قبیل سختی عالی و مقاومت به خوردگی و خستگی بالا در دماهای زیاد دارد که موجب استفاده‌های صنعتی فراوان آن به ویژه در صنایع هوافضا و پتروشیمی شده است. انتخاب مناسب پارامترهای ورودی یعنی نرخ پیشروی، عمق سنگ‌زنی و درجه سختی چرخ سنگ در سنگ‌زنی این نوع سوپرآلیاژ، یکی از جنبه‌های مهم در مطالعه فرآیند است. هدف از این تحقیق مدلسازی تأثیر پارامترهای مختلف فرآیند بر روی صافی سطح قطعات پرداخت شده از جنس سوپرآلیاژ اینکونل ۷۳۸ است. بدین منظور با اجرای یک سری آزمایشات طراحی شده و نیز با بهره‌گیری از الگوریتم فرابتکاری ژنتیک (Genetic Algorithm)، رابطه معناداری میان پارامترهای ورودی و خروجی فرآیند برقرار گردید. تحلیل‌های آماری و همچنین مقایسه نتایج آزمایشات نشان از برتری مدل توسعه یافته نسبت به برخی از روشهای مدلسازی از قبیل مدلسازی رگرسیونی دارد. در بخش پایانی این پژوهش با استفاده مدل پیشنهادی بر پایه الگوریتم ژنتیک، شرایط بهینه متغیرهای این فرآیند جهت ماشینکاری قطعات با کمترین زبری سطح تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از روش پیشنهادی، مدل قابل اتکاء و همچنین شرایط تنظیمی بهینه فرآیند می‌تواند تعیین شود.

کلمات کلیدی: سنگ‌زنی، اینکونل، الگوریتم ژنتیک، زبری سطح، بهینه‌سازی.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱ اهمیت موضوع ۲

۱-۲ مرور تحقیقات گذشته ۳

۱-۳ بیان مسأله ۱۱

فصل دوم: فرآیند سنگ‌زنی فلزات ۱۳

۲-۱ مقدمه ۱۴

۲-۲ فرآیندهای سایشی ۱۴

۲-۳ سنگ‌زنی ۱۵

۲-۴ اهمیت سنگ‌زنی ۱۷

۲-۵ اجزای اصلی یک فرآیند سنگ‌زنی ۱۸

۲-۶ سنگ زنی تخت ۱۸

۲-۷ ذرات ساینده ۱۹

۲-۷-۱ فوق ساینده‌ها ۲۰

۲-۷-۱-۱ الماس ۲۰

۲-۷-۱-۲ نیترید بور مکعبی ۲۰

۲-۷-۲ ساینده‌های معمولی ۲۱

۲-۷-۲-۱ کاربید سیلیکون ۲۱

۲-۷-۲-۲ اکسید آلومینیوم ۲۱

۲-۸ چسب نگه دارنده ۲۱

۲-۸-۱ چسب‌های آلی ۲۱

۲-۸-۲ چسب‌های شیشه‌ای ۲۲

۲-۸-۳ چسب‌های فلزی ۲۲

۲-۹ شماره گذاری چرخ‌سنگ ها ۲۳

۲-۱۰ فرآیند برش ۲۴

۲-۱۱ سایش ذرات ساینده ۲۵

فصل سوم: الگوریتم ژنتیک ۲۷

۳-۱ مقدمه ۲۸
۳-۲ واژگان الگوریتم ژنتیک ۲۸
۳-۳ ساختار کلی الگوریتم ژنتیک ۲۹
۳-۴ کدگذاری نقاط فضای جستجو ۳۱
۳-۴-۱ ایجاد جمعیت اولیه ۳۱
۳-۴-۲ ارزیابی جوابهای هر نسل ۳۲
۳-۴-۳ روشهای انتخاب ۳۲
۳-۴-۴ اِعمال عملگرهای ژنتیکی ۳۳
۳-۴-۴-۱ تقاط ۳۳
۳-۴-۴-۲ جهش ژنی ۳۵
۳-۴-۴-۳ عمل برگرداندن ۳۵
۳-۵ نقاط قوت الگوریتمهای ژنتیک ۳۵
۳-۶ محدودیت‌های الگوریتم ژنتیک ۳۷
فصل چهارم: سوپر آلیاژها و آلیاژ اینکونل ۷۳۸ ..... ۳۹
۴-۱ مقدمه ۳۹
۴-۲ معرفی سوپر آلیاژها ۴۰
۴-۳ کاربردهای سوپرآلیاژ ۴۱
۴-۴ عناصر آلیاژی و اثرات آنها بر ریزساختار سوپر آلیاژها ۴۲
۴-۴-۱ عناصر جزئی مفید در سوپر آلیاژها ۴۲
۴-۴-۲ عناصر تشکیل دهنده فازهای ترد ۴۲
۴-۴-۳ عناصر ناخواسته و مضر در سوپر آلیاژها ۴۲
۴-۴-۴ عناصر ایجاد کننده مقاومت خوردگی و اکسیداسیون ۴۲
۴-۵ بعضی از ویژگیها و خواص سوپر آلیاژها ۴۳
۴-۶ سوپر آلیاژ اینکونل **IN**۷۳۸ ..... ۴۴
فصل پنجم: مواد، تجهیزات و انجام آزمایشات ۴۵
۵-۱ مقدمه ۴۶
۵-۲ مواد آزمایش ۴۶

۵-۳ تجهیزات آزمایش ۴۸
۵-۳-۱ دستگاه سنگ تخت ۴۸
۵-۳-۲ چرخ سنگ ۴۹
۵-۳-۳ زبری سنج ۵۰
۵-۴ انجام آزمایشات ۵۳
فصل ششم: نتایج و بحث ۵۸
۶-۱ مقدمه ۵۹
۶-۲ نتایج آزمایشات ۵۹
۶-۳ مدلسازی و بهینه سازی ۶۲
۶-۴ تحلیل واریانس و ارزیابی ضرایب آماری ۷۱
۶-۴-۱ بررسی ضریب تعیین (ضریب همبستگی) ۷۱
۶-۴-۲ تحلیل ضرایب آماری نسبت واریانس و ضریب احتمال ۷۲
۶-۴-۳ تحلیل واریانس مدل برازش یافته GA صافی سطح سنگیزنی شده ۷۳
۶-۴-۴ بررسی میزان تأثیر هر یک از پارامترهای ورودی بر خروجی فرآیند ۷۳
۶-۵ مقایسه مدل بهینه پیشنهادی توسط **GA** با مدل رگرسیونی ۷۴
۶-۶ بررسی اثر متقابل متغیرهای ورودی فرآیند سنگزنی اینکونل ۷۳۸ بر صافی سطح ۷۷
۶-۶-۱ بررسی اثر متقابل نرخ پیشروی و سختی ابزار سنگ‌زنی ۷۷
۶-۶-۲ بررسی اثر متقابل نرخ پیشروی و عمق نفوذ ابزار ۷۸
۶-۶-۳ بررسی اثر متقابل سختی و عمق نفوذ ابزار ۷۹
فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۰
۷-۱ مقدمه ۸۱
۷-۲ نتیجه گیری ۸۲
۷-۳ پیشنهادات برای تحقیقات آینده ۸۲
منابع و مراجع ۸۴

فهرست جدول ها

جدول۲-۱ انواع ذرات ساینده و سختی آن‌ها بر حسب معیار سختی نوپ ۲۱
جدول ۴-۱ بعضی از کاربردهای سوپر آلیاژها ۴۱
جدول۵-۱ درصد عناصر سوپرآلیاژ اینکونل ۷۳۸ ..... ۴۷
جدول۵-۲ ابعاد قطعه کار ۴۷
جدول۵-۳ مشخصات نامی دستگاه سنگ تخت A320 BPH ۴۹
جدول۵-۴ مشخصات کامل چرخ سنگها ۴۹
جدول۵-۵ اندازهای چرخ سنگ ۵۰
جدول۵-۶ مشخصات زبری سنج HOMMEL TESTER T1000 ..... ۵۱
جدول ۵-۷ پارامترهای سنگزنی و مقادیر سطوح آنها ۵۴
جدول ۵-۸ تمام حالتهای بهکار گرفته شده در آزمایشات (طرح Full-Factorial) ۵۵
جدول۶-۱ صافی سطح قابل دستیابی در فرآیندهای تولید مختلف ۶۱
جدول ۶-۲ نتایج حاصل از آزمایشات ۶۱
جدول ۶-۳ جدول اعتبار سنجی مدل ۶۹
جدول ۶-۴ تحلیل واریانس مدل بهینه توسعه یافته توسط GA برای صافی سطح ۷۳
جدول ۶-۵ تحلیل واریانس مدل رگرسیون توانی توسط نرمافزار MINITAB ۷۶

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱ گستردگی فرآیندهای ماشینکاری و نسبت ماشینهای ابزار در ایالت متحده. ۳
شکل ۱- ۲ تغییرات زبری سطح با تغییرات شرایط سنگ زنی ۵
شکل ۱-۳ بهینه سازی و انطباق صافی سطح بر نرخ براده برداری ۶
شکل۱-۵ فلوچارت ترکیب GA-NN ۸
شکل ۱-۶ نمودار بهینه سازی سختی و جریان روانکار بر صافی سطح ۹
شکل ۱-۷ الگوریتم پیشنهاد شده توسط Wo Lee جهت مدلسازی و بهینهسازی فرآیند سنگزنی آلیاژ تیتانیوم ۱۰
شکل۲-۱ دستهبندی فرآیندهای سایشی ۱۵
شکل۲-۲ بخشی از یک چرخسنگ ۱۶
شکل۲-۳ مقایسه فرآیندهای سنگزنی و برش فلزات ۱۶
شکل۲-۴ زنجیره افزایش هزینه در فرآیندهای تولید ۱۷
شکل۲-۵ اجزای اصلی یک سیستم سنگزنی ۱۸
شکل۲-۶ انواع روش های مختلف سنگ زنی ۱۹
شکل۲-۷ یک فرآیند سنگ زنی تخت ۱۹
شکل۲-۸ روش نام گذاری چرخ سنگهای معمولی ۲۴
شکل۲-۹ روش نام گذاری فوق ساینده‌ها ۲۴
شکل۲-۱۰ سه مرحله برش توسط یک ذره ساینده ۲۵
شکل۲-۱۱ چهار نوع اصلی سایش در سنگزنی ۲۶
شکل۳-۱ مراحل الگوریتم ژنتیک ۳۰
شکل۳-۲ تقاطع یک نقطهایی ۳۴
شکل ۳-۳ تقاطع دو نقطهایی ۳۴
شکل ۳-۴ جابجایی یکنواخت ۳۵
شکل ۴-۱ دسته بندی سوپر آلیاژها ۴۰
شکل ۴-۲ عناصر آلیاژی موجود در سوپر آلیاژهای پایه نیکل عناصر جزئی مفید با خطوط ضربدر. ۴۳
شکل۵-۱ قطعه مورد آزمایش(اینکونل ۷۳۸) ۴۷
شکل۵-۲ سختی سنج برینل ۴۸
شکل۵-۳ دستگاه سنگ تخت ۴۸
شکل۵-۴ انواع چرخ سنگهای استفاده شده در این تحقیق ۵۰
شکل۵-۵ زبری سنج Hommel Tester T1000 ..... ۵۱
شکل۵-۶ لمس کننده زبری سنج ۵۲
شکل۵-۷ پارامتر Rz و طریقه محاسبه آن ۵۲

شکل۵-۸ پارامتر Ra و طریقه محاسبه آن ۵۳
شکل۵-۹ نحوه قرار دادن قطعه بر روی دستگاه سنگ ۵۴
شکل۵-۱۰ زبری در راستای سنگ زنی $\boldsymbol{Ra}$= 0.03µm ، $\boldsymbol{Lc}$= 0.25 mm ۵۷
شکل۵-۱۱ زبری در راستای سنگ زنی Ra= 0.10 µm ، Lc= 0.25 mm ۵۷
شکل۶-۱ زبری در جهت عمود بر راستای سنگ زنی $\boldsymbol{Ra}$= 0.47 µm ، $\boldsymbol{Lc}$= 0.8 mm ۶۰
شکل ۶-۲ یک تابع هدف تک متغیره با چند بهینه محلی ۶۳
شکل ۶-۳ منحنی توزیع نرمال برای زبری سطح ۶۵
شکل ۶-۴ میانگین مجذورخطا در حالت که احتمال جهش ۰,۰۰۱ باشد ۶۶
شکل۶-۶ میانگین مجذور خطا برای فرمول خطی ۶۷
شکل ۶-۷ میانگین مجذور خطا برای مدل نمایی ۶۸
شکل۶-۸ اختلاف زبری حاصل از آزمایش نسبت به زبری مدل ۶۸
شکل۶-۹ مقدار پیش بینی شده نسبت به مقدار واقعی ۶۹
شکل ۶-۱۰ تأثیر پارامترهای آزمایش بر زبری سطح بدست آمده ۷۰
شکل ۶-۱۱ تأثیر هر یک از متغیرهای مورد مطالعه بر صافی سطح (Ra) سنگزنی اینکونل ۷۳۸ ... ۷۴
شکل ۶-۱۲ مقایسه نتایج دادههای واقعی، مدل بهینه GA و مدل رگرسیون نمایی ۷۷
شکل ۶-۱۲ اثر متقابل فاکتورهای نرخ پیشروی و درجه سختی سنگ بر زبری سطح (R_a) ۷۸
شکل ۶-۱۳ اثر متقابل فاکتورهای نرخ پیشروی و عمق نفوذ چرخ سنگ بر زبری سطح (R_a) ۷۹
شکل ۶-۱۴ اثر متقابل فاکتورهای نرخ پیشروی و عمق نفوذ چرخ سنگ بر زبری سطح (R_a) ۷۹

فصل اول

مقدمه

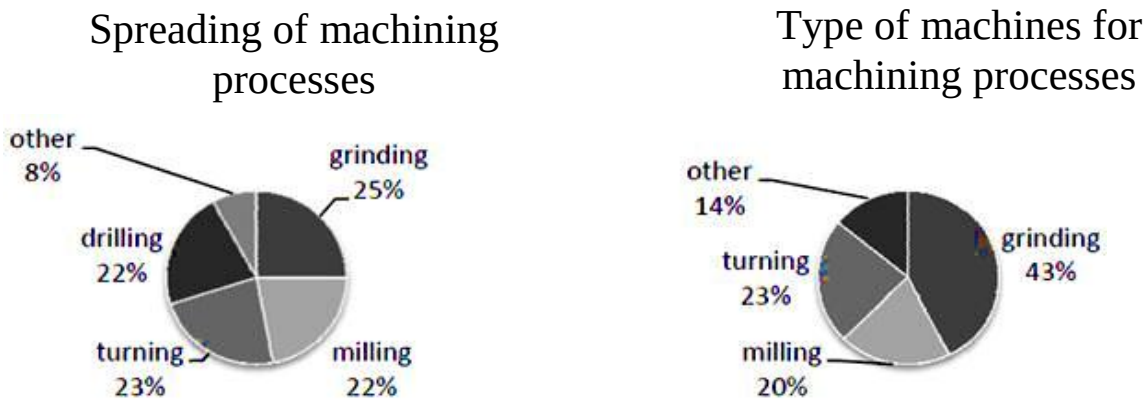
۱-۱ اهمیت موضوع

رسیدن به نرخ تولید بالاتر و تولید قطعات با دقت ابعادی و کیفیت سطح بالا از اهداف اصلی همه فرآیندهای تولید است. ماشینکاری بخش اصلی فرآیندهای برداشت ماده است که روش‌هایی مانند تراشکاری، فرزکاری، سنگ زنی و ... را در بر می‌گیرد. سنگ‌زنی به عنوان اصلی‌ترین فرآیند پرداخت‌کاری جایگاه ویژه‌ای در رسیدن به این هدف دارد. اگرچه گاهی گفته می‌شود ممکن است به خاطر مسائل زیست محیطی و اقتصادی، جایگاه سنگ‌زنی در میان فرآیندهای تولید تضعیف شود، اما همچنان سنگ‌زنی به عنوان پرکاربردترین فرآیند ماشینکاری شناخته می‌شود. بیش از ۴۲ درصد کل ماشین‌های ابزار در ایالات متحده از خانواده ماشین‌های سنگ‌زنی هستند. به همین صورت حداقل ۲۵ درصد کل فرآیندهای ماشینکاری در ایالات متحده به سنگ‌زنی اختصاص دارند[۱]. شکل ۱-۱ گستردگی کاربرد انواع ماشین‌های ابزار و فرآیندهای ماشینکاری را نشان می‌دهد. سوپرآلیاژها گروهی از آلیاژهای صنعتی با خصوصیات منحصربفرد هستند. به گونه‌ایی که این آلیاژها توانسته‌اند پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ایی را در صنایع هوایی، موشکی و ماهواره‌ای امکان پذیر سازند. به همین دلیل این آلیاژها از نظر تکنولوژیکی جزء آلیاژهای استراتژیک به حساب آمده و تکنولوژی آلیاژ سازی و ساخت آنها در اختیار کشورهای محدودی قرار دارد. با اینکه قدمت ساخت سوپرآلیاژها بیش از ۴۰ سال می‌باشد، با این حال کشورهایی که توانایی ساخت این آلیاژها را دارند انگشت شمار می‌باشند. سوپرآلیاژهای پایه نیکل با توجه به خواص که دارند مانند سختی بالا، مقاومت به خوردگی دردماهای بالا و مقاومت به خستگی، از آنها برای ساخت بسیاری از قطعات توربین گازی از قطعات ساده مانند پیچ و مهره گرفته تا قطعات پیچیده‌ای مثل دیسکها و پره‌ها استفاده می‌شود، بطوریکه تقریبا ۵۰٪ وزن هواپیما را این نوع سوپرآلیاژ تشکیل می‌دهد[۲]. اما از طرفی سوپرآلیاژها به علت خواصی مانند هدایت حرارتی پایین و حضور فازهای سخت جزء مواد بدتراش محسوب می‌شوند. فرآیند سنگ‌زنی نسبت به دیگر روش‌های ماشینکاری این مزیت را دارد که امکان ماشینکاری انواع مختلف مواد (فلزی و غیر فلزی با محدوده وسیعی از سختی) در آن وجود دارد. مواد با سختی بالا که عمدتاً با روش‌های

دیگر قابل ماشینکاری نیستند، از قبیل فولادهای سخت کار شده، ابزارهای برش، رولربرینگ‌ها[1]، مواد غیر فلزی ترد شامل سرامیک‌ها، کاربیدهای سمانته و شیشه، سوپرآلیاژها و ... به طور گسترده‌ای با استفاده از فرآیند سنگ زنی ماشینکاری می‌شوند[۳]. با توجه به کارکرد سوپرآلیاژ اینکونل در پره‌های توربین گاز و قرار گرفتن تحت نیروهای بالا در دماهای بالا، پرداخت سطح نهایی این قطعه بسیار مهم بوده و باید مورد تحقیق قرار گیرد.

روش‌های مدل‌سازی و بهینه‌سازی بسیاری وجود دارند، اما الگوریتم ژنتیک جزء روش‌های جدید و بسیار مناسبی است که در این پایان نامه از این روش کمک گرفته شده است.

از مطالب بالا می‌توان نتیجه گرفت، فرآیند سنگ‌زنی امکان برداه برداری از مواد بدتراش را فراهم می‌کند و همچنین جزء آخرین مراحل ساخت یک قطعه می‌باشد که پرداخت سطح مناسب را در قطعه ایجاد می‌کند. همچنین سوپرآلیاژ اینکونل جزء مواد بدتراش بوده و پرداخت سطح این ماده (به علت استفاده از آن در پره توربین گاز) از اهمیت بالایی برخوردار است. در نتیجه بهترین فرآیند برای برداه برداری از این ماده سنگ زنی می‌باشد و بررسی پرداخت سطح ایجاد شده در این سوپر آلیاژ از اهمیت بالایی برخوردار است.



شکل ۱-۱ گستردگی فرآیندهای ماشینکاری و نسبت ماشین‌های ابزار در ایالت متحده.[۱]

۱-۲ مرور تحقیقات گذشته

تاکنون تحقیقات فراوانی پیرامون فرآیند سنگ‌زنی، به‌ویژه سنگ‌زنی مواد سخت و سوپرآلیاژها صورت گرفته است. محققان زیادی تلاش نمودند با شناخت رفتار سیستم امکان تنظیم پارامترهای فرآیند جهت نیل به خروجی‌های مطلوب را فراهم سازند. در ادامه به بررسی تعدادی از تحقیقات و پژوهش‌هایی که در مسیر انجام این تحقیق تا حدی راه‌گشا بوده‌اند پرداخته می‌شود. ملاک انتخاب این پژوهش‌ها داشتن وجه اشتراک با ابزارهای به‌کار رفته دراین تحقیق از جمله متغیرهای ورودی و

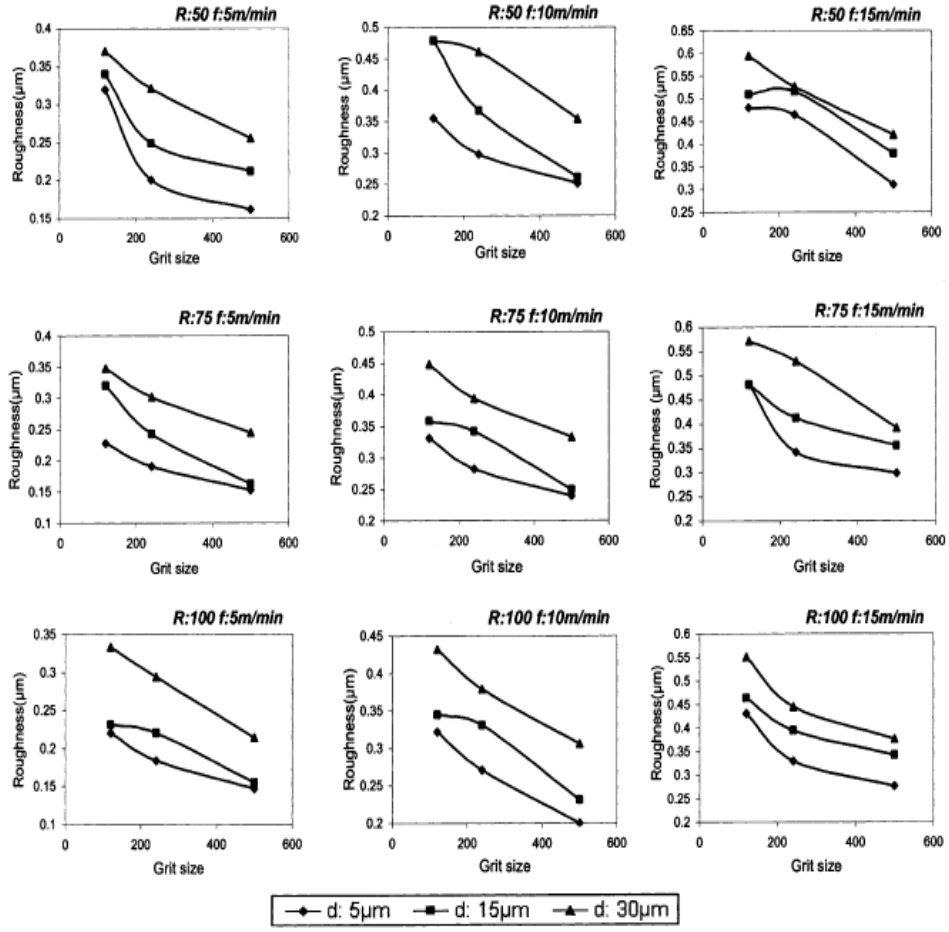
[1]-Roller Bearing

خروجی مشابه، روش مدل‌سازی، تحلیل‌های آماری و استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری در حوزه سنگ‌زنی بوده است.

Pie-Lum Tso و همکارانش [۴] تحقیقی را در رابطه با سنگ زنی بر روی اینکونل ۷۱۸ با استفاده از چرخ سنگهای متفاوت اکسید آلومینیوم (WA)، سلیکون کارباید (GC) و CBN[1] انجام دادند. آنها در این آزمایش به این نتایج رسیدند که استفاده از چرخ سنگ CBN و استفاده از روش سنگ‌زنی رو به پایین صافی سطح بهتری را نتیجه می‌دهد. علاوه بر این افزایش سرعت چرخ سنگ و کاهش پیشروی و کاهش عمق برش باعث افزایش کیفیت سطح می‌شود.

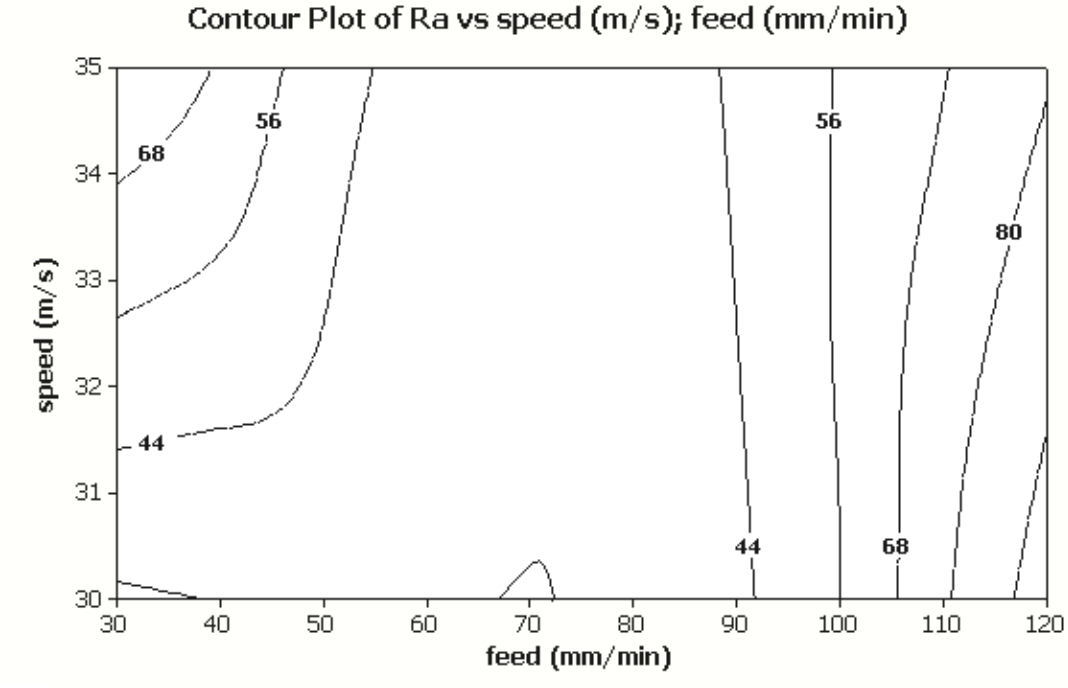
Venu Gopal و همکارانش [۵] تحقیقی بر روی سنگ زنی سرامیک سلیسیوم کاربید انجام دادند. در این تحقیق تأثیر پیشروی، عمق برش و مش‌بندی چرخ سنگ بر روی زبری سطح و سلامت سطح مورد بررسی قرار گرفت و این نتیجه حاصل شد که هر سه عامل پیشروی، عمق برش و سایز دانه‌ها برروی صافی سطح تأثیر دارند و تداخل اثر وجود ندارد. با توجه به شکل ۱-۲ می‌توان نتیجه گرفت هر چه پیشروی کمتر، عمق برش کمتر و شماره سنگ بیشتر(دانه‌های ریزتر و اندازه مش بزرگتر) کیفیت سطح بهتری بدست می‌آید.

[1] -Cubic Boron Nitride



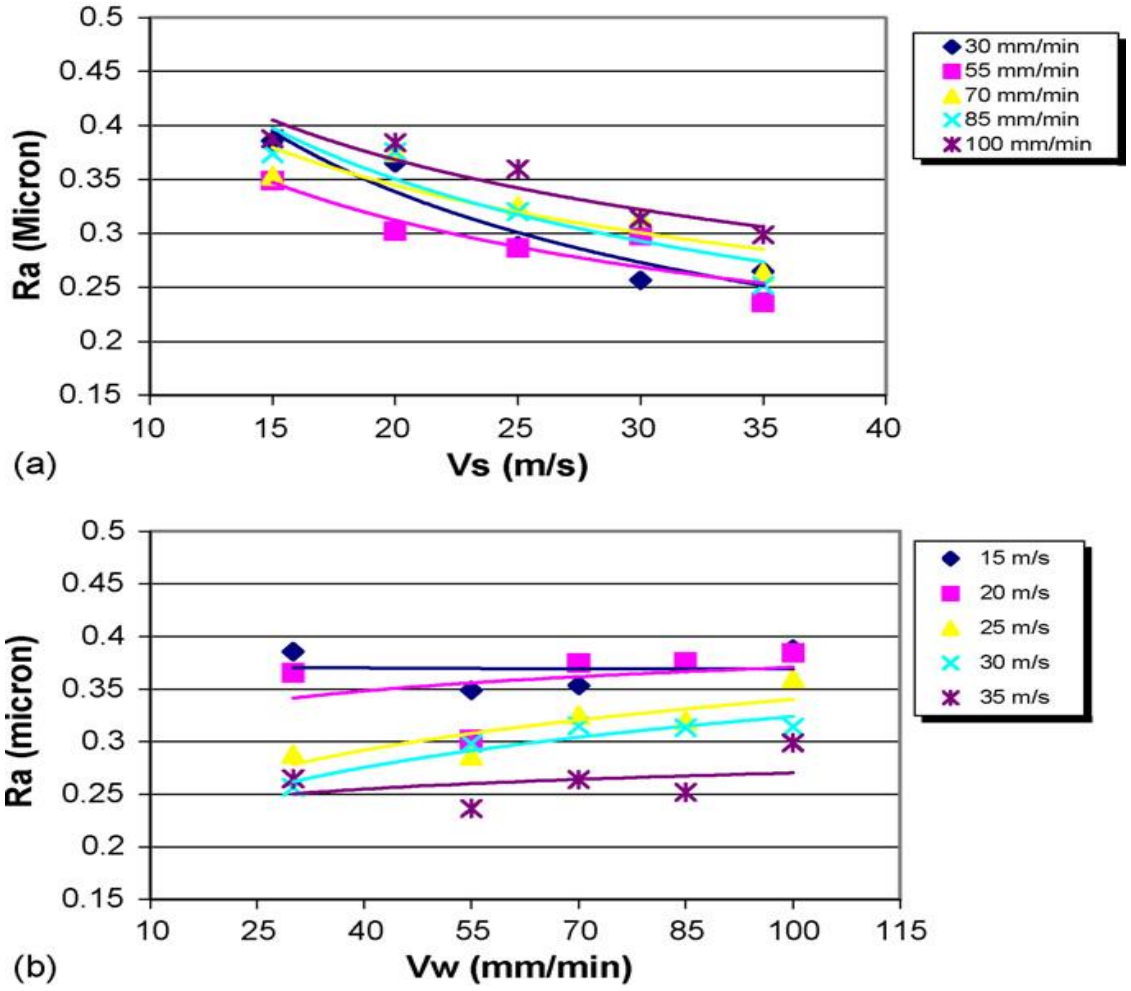
شکل ۱- ۲ تغییرات زبری سطح با تغییرات شرایط سنگ زنی[۵]

قریشی و همکاران [۶] با استفاده از روش طراحی آزمایشات، فرآیند سنگ زنی خزشی پره‌های توربین گاز که از جنس سوپرآلیاژ پایه کبالت می‌باشند را بررسی کرده و اثر پارامترهای سنگ‌زنی مانند پیشروی، عمق براده‌برداری و سرعت سنگ را روی سلامت سطح تحلیل نموده‌اند. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که فاکتور سرعت سنگ، پیشروی و تعامل اثر آنها در زبری سطوح اندازه گیری شده به احتمال ۹۵ درصد موثر است. عمق برش تاثیر ناچیزی در فرآیند سنگ خزشی دارد. با توجه به شکل ۱-۳ بهترین صافی سطح در حداقل سرعت چرخ سنگ و حداقل پیشروی بدست می‌آید.



شکل ۱-۳ بهینه سازی و انطباق صافی سطح بر نرخ براده برداری[۶]

عبدالله و همکاران [۷] تحقیقی در مورد سنگ زنی خزشی بر روی تنگستن کاربید-کبالت (WC-CO) انجام دادند که نتایج بدست آمده در شکل ۱-۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱-۴ می‌توان نتیجه گرفت که افزایش سرعت چرخ سنگ و همچنین کاهش نرخ پیشروی باعث افزایش پرداخت سطح می‌شود. در این تحقیق به این نتیجه رسیده شد که افزایش سرعت چرخ سنگ و کاهش نرخ پیشروی باعث کاهش فرسایش چرخ سنگ می‌شود. همچنین افزایش سرعت چرخ سنگ تا حد معینی باعث کاهش زبری سطح خواهد بود ولی افزایش نرخ پیشروی ابزار موجب افزایش زبری و تخریب سطح می‌گردد. همانطور که در شکل نیز پیداست با تغییرات نرخ پیشروی، تغییرات قابل توجهی در صافی سطح حاصل ایجاد می‌شود، ولیکن تأثیر تغییر سرعت چرخش سنگ در این زمینه بسیار کمتر است.



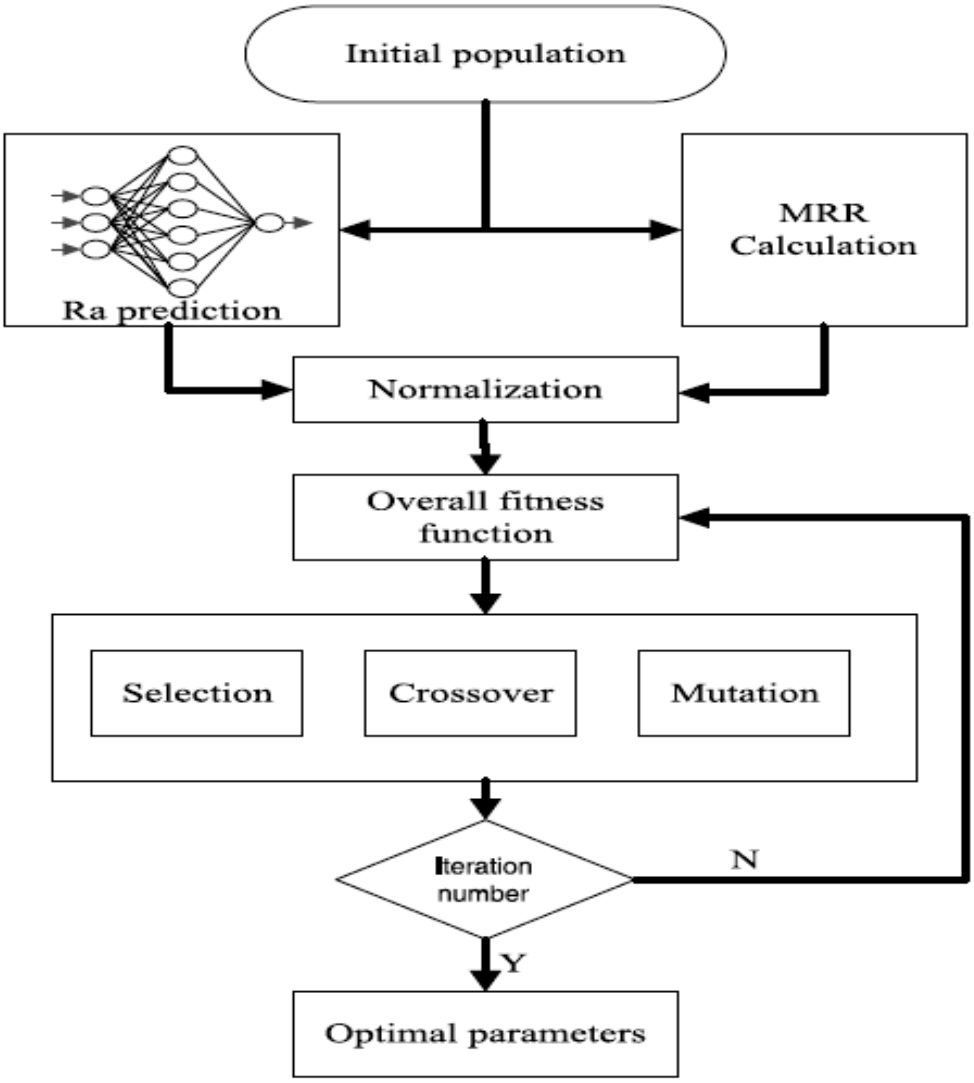
شکل۱-۴ (a) صافی سطح در برابر سرعت برش برای نرخ های تغذیه مختلف
(b) صافی سطح در برابر نرخ پیشروی برای سرعت های برش مختلف[۷]

صدیقی [۸] با استفاده از نتایج آزمایشات قریشی روشی برای پیدا کردن بیشترین نرخ براده برداری(MRR[1]) و کمترین زبری سطح (R_a) انجام داد. در این روش الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی با هم ترکیب می‌شوند(GA-NN[2]). همانطور که مراحل در شکل۱-۵ ترسیم شده است، برای این منظور نرخ براده برداری با استفاده از شبکه عصبی و روش پس انتشار[3] پیش بینی می‌شود و نرخ براده برداری با استفاده از فرمول ریاضی بدست می‌آید. نتیجه حاصل شده از این آزمایش نشان داد که این روش بهینه سازی روش مناسبی است و می‌توان از این روش برای سایر فرآیندها استفاده نمود.

[1]-Material Removal Rate

[2]-Genetic Algorithm-Neural Network

[3]-Back Propagation



شکل۱-۵ فلوچارت ترکیب GA-NN [۸]

Pai و همکاران [۹] تحقیقی برروی کامپوزیت آلومینیوم تقویت شده با سرامیک سلیسیوم کارباید (6061AL-SiC_{25P}) انجام دادند که با توجه به شکل ۱-۶ نتیجه به‌دست آمده این بود که با افزایش سختی قطعه، افزایش فشار خنک کار و کاهش عمق پرداخت، کیفیت سطح بهتر می‌شود.