

طراحی، ساخت و تحلیل کیفیت سطح ماشینکاری توسط ابزار خود چرخان فرزکاری

مصطفی ربیع یگانه^۱، امین اله محمدی^۲، حامد غفاری راد^{۳*}، مهدی مسکین^۴

تاریخ دریافت: ۱۸ فروردین ۹۲ تاریخ پذیرش: ۱۲ خرداد ۹۲

چکیده

یکی از معایب ابزارهای فرزکاری معمولی، گرمای زیاد منطقه برش قطعه کار و در نتیجه گرم شدن شدید ابزار و فرسودگی زودرس می‌باشد. بنابراین برای انجام ماشینکاری در زمان طولانی و به طور پیوسته، نیاز به تعویض مداوم اینسرت‌ها و ابزار می‌باشد. ابزار فرزکاری با لبه‌ی خود چرخان به گونه‌ای طراحی و ساخته شده که اینسرت‌ها می‌توانند آزادانه حول محور خود (محوری مجزا از محور چرخش ابزار) بچرخند. این چرخش موجب پخش گرما در منطقه‌ی وسیع‌تری از لبه‌ی برنده و بالا رفتن عمر ابزار می‌شود. در این مقاله فرآیند طراحی و ساخت ابزار خودچرخان فرزکاری بیان شده است. سپس کیفیت سطح ماشینکاری آلومینیوم توسط ابزار خود چرخان، از روش طراحی آزمایش آماری «فاکتوریل کامل» بررسی گردیده است. این ابزار برای نخستین بار در کشور ساخته و در سازمان ثبت اسناد و مالکیت‌های صنعتی به شماره ۵۱۳۵۸، به ثبت رسید.

واژگان کلیدی: ابزار خودچرخان فرزکاری، لبه‌ی برنده خود چرخان، صافی سطح، تجزیه و تحلیل آماری، تحلیل واریانس.

۱. مقدمه

چرخان تا ۲۰ برابر ابزار ثابت نیز قابل دستیابی است. بر اساس تحقیق که توسط و نکاتش و دیگران [۲] انجام شد و در آن به منظور مقایسه خوردگی ابزار و پرداخت نهایی سطح به صورت همزمان از اینسرت‌های ثابت و چرخان استفاده کردند، بر اساس مقایسه رنگ براده، به این نتیجه رسیدند که فرآیند برش در ابزار چرخان نسبت به ابزار ثابت در دمای پایین‌تری صورت می‌پذیرد [۳].

آرمارگو [۵و۴] نیز در بر روی آنالیز دقیق این ماشینکاری و فرمول‌بندی آن تحقیق انجام داده است. هم اکنون از این نوع ابزار در صنایع مختلف از قبیل صنعت خودروسازی به خصوص برای ماشینکاری قطعات

یکی از معایب ابزارهای فرزکاری معمولی، گرمای زیاد منطقه برش قطعه کار و در نتیجه گرم شدن شدید ابزار و فرسودگی زودرس می‌باشد. بنابراین برای انجام ماشینکاری در زمان طولانی و به طور پیوسته، نیاز به تعویض مداوم اینسرت‌ها و ابزارها می‌باشد.

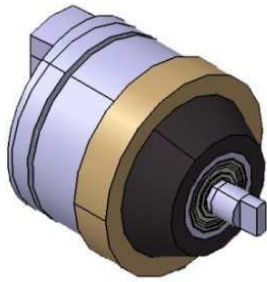
یکی از پیشرفتهای قابل توجه در فرآیند ماشینکاری بکارگیری ابزار خود چرخان است. ایده اولیه استفاده از این طرح توسط جیمز نیپر در سال ۱۸۶۵ و برای عملیات تراشکاری ارائه شد [۱]. در اوایل دهه ۶۰ میلادی، راماسوامی و کونیکزبرگر تحقیقاتی را بر روی ماشینکاری توسط ابزار چرخان انجام دادند. آنها یافتند که عمر ابزار

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

۲. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران ghafarirad@aut.ac.ir

۴. کارشناس مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.



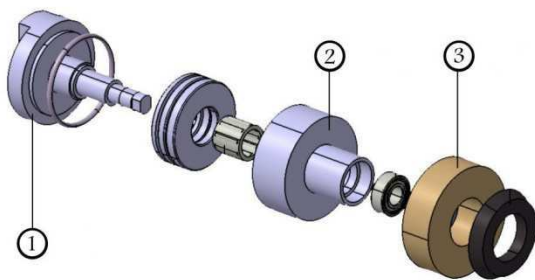
شکل (۲): کارتریج ابزار چرخان

هر کارتریج بطور کلی شامل اجزای زیر است:

۱- **محور** که دو قسمت اسپیندل و پایه دارد. اسپیندل و پایه توسط ۲ زبانه در ابتدا و انتها در بدنه ابزار قرار می‌گیرند و مکان دهی می‌شوند و توسط گیره‌هایی زبانه به بدنه ابزار محکم می‌شوند.

۲- **پوسته** که توسط یاتاقانهای سوزنی، ساچمه‌ای و کف گرد بر روی اسپیندل و پایه محور قرار گرفته و قابلیت دوران پیدا می‌کند.

۳- **اینسرت** که بر روی روتور سوار شده و توسط مهره‌ای محکم می‌شود و بر روی پوسته ثابت می‌ماند. اجزای اصلی یک کارتریج در شکل ۳ مشخص شده است [۸].



شکل (۳): سه عضو اصلی ساختار کارتریج

وجود کارتریج در ابزارهای چرخان برشی، این امکان را به ما می‌دهد تا نه تنها توسط مکانیزم چرخش ابزار، عمر آن افزایش یابد و مشکلات ناشی از اعمال حرارت زیاد منطقه برش، مرتفع گردد، بلکه بتوان به آسانی و ارزانی اینسرت‌ها را عوض نمود و با کیفیت بالا ماشینکاری را ادامه داد. از مزایای کارتریج این است که، تعویض اینسرت‌ها به راحتی انجام می‌پذیرد و نیازی

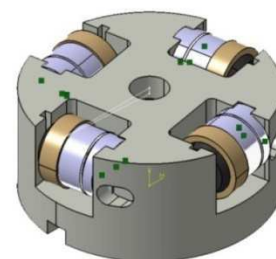
استوانه‌ای شکل مانند سطح داخلی سیلندرها استفاده می‌شود و با کیفیت سطحی که به دست می‌آید نیاز به سنگ‌زنی را مرتفع می‌سازد [۶].

در ابزار چرخان فرزکاری، توسط ساختاری با یاتاقان بندی خاص، امکان چرخش اینسرت‌ها فراهم آمده است. اینسرت‌ها بصورت گرد بوده و بر روی سیستم چرخان نصب می‌گردند. مجموعه سیستم چرخان بصورتی مشخص و تحت زوایایی خاص، بر روی بدنه ابزار قرار می‌گیرند تا این امکان فراهم شود که در اثر دوران اسپیندل دستگاه فرز در حین ماشینکاری، نیروی حاصل از براده برداری باعث ایجاد چرخش اینسرت‌های مجموعه چرخان گردد. این چرخش باعث تعویض پیوسته نقطه تماس ابزار و قطعه‌کار می‌شود. بنابراین حرارت از منطقه ماشینکاری منتقل شده و ضمن کاهش توان مورد نیاز، کیفیت سطح نیز بهبود می‌یابد.

در این مقاله ابتدا فرآیند طراحی و ساخت ابزارچرخان فرزکاری بیان می‌گردد. سپس توسط این ابزار صافی سطح آلومینیوم ماشینکاری شده، به عنوان فاکتور پاسخ، با تغییر پارامترهای ماشینکاری شامل عمق برش، سرعت پیشروی و سرعت دورانی مورد آزمایش قرار گرفته است. در نهایت با استفاده از روش تحلیل واریانس (ANOVA) صحت مدل آماری پیشنهاد شده مورد بررسی و تایید قرار گرفته است.

۲- کارتریج ابزار چرخان برشی

هر ابزار چرخانی از یک بدنه تشکیل شده (شکل ۱) که بر روی بدنه، شیارهایی تعبیه گردیده است که تعدادی مجموعه چرخان بر روی آن سوار می‌شوند. به این مجموعه‌های چرخان، کارتریج گفته می‌شود. (شکل ۲)



شکل (۱): بدنه ابزار چرخان

مزیت‌های قابل توجه ابزارهای چرخان نسبت به ابزارهای ساده، بخصوص ابزار فرز چرخان، باعث توجه روزافزون به این ابزارها گردیده است. در ادامه برخی از این مزایا بیان می‌گردد.

- اینسرت‌های چرخان دوام بیشتری دارند.

چرخش مداوم اینسرت، باعث می‌شود که همیشه لبه جدیدی در منطقه برش قرار بگیرد. در این صورت، دیگر مانند ابزارهای معمول، گرما در یک نقطه مجتمع نمی‌شود. میزان قابل توجهی از این گرما به براده انتقال پیدا می‌کند و ما بقی در طول محیط اینسرت پخش می‌شود. در نتیجه، در صورت استفاده صحیح، عمر اینسرت تا بیش از ۱۰ برابر افزایش یافته و همچنین، زمان کمتری برای تنظیم ابزار نیاز خواهد بود.

- حذف مشکل برخورد اولیه

مکانیزم ماشین کاری چرخش-برش در عملیات براده برداری لبه‌های ابزار، بسیار بهتر عمل می‌کند. به این صورت که، اینسرت در حال چرخش به ماده برخورد می‌کند و یاتاقان‌های استفاده شده، شوک حاصل از این برخورد اولیه را جذب می‌کنند. از این رو اینسرت در ابتدای عملیات برش آسیبی نخواهد دید و همچنان به کار خود ادامه می‌دهد.

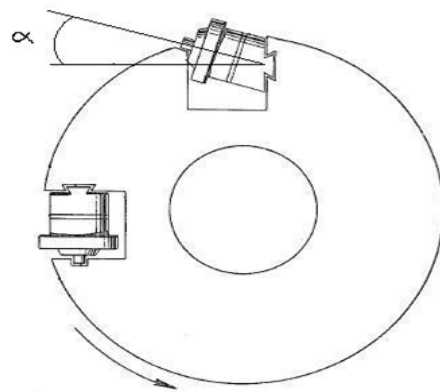
- حرارت براده، راندمان را بالا می‌برد.

همزمان با رسیدن به سرعت‌های بالاتر، چند عامل دیگر نیز در افزایش راندمان کمک می‌کنند. گرما یکی از آنهاست. در واقع در سرعت‌های برشی زیاد، قسمت عمده‌ی حرارت تولید شده در ناحیه‌ی برش، وارد براده می‌شود و فقط قسمت کوچکی به اینسرت یا قطعه کار وارد می‌شود در این حالت فلز به راحتی به ناحیه پلاستیک می‌رسد که موجب سیلان راحت براده و جدا شدن آن می‌گردد. در این میان قطعه کار به اندازه‌ای خنک است، که می‌توان آن را با دست لمس نمود. در واقع می‌توان گفت که استفاده بهینه از انرژی و راندمان کار، بالا رفته است. نکته‌ی دیگر این که هرچه گرمای کمتری وارد قطعه کار شود، تغییر شکل کمتر است. هم چنین به دلیل راحت‌تر جدا شدن براده، روی سطح قطعه کار، خش کمتری مشاهده می‌شود.

البته باید توجه داشت که، جنس ابزار به سرعت و دمای کار بستگی دارد. یعنی با توجه به کارکرد ابزار و قیمت، بهترین جنس برای اینسرت‌ها انتخاب می‌گردد.

به باز کردن مجموعه بصورت کامل نمی‌باشد [۶].

در این مجموعه پس از برقراری تماس اینسرت با قطعه کار، در اثر چرخش اسپیندل، اینسرت حول محور طولی کارتریج شروع به دوران می‌کند. علت این چرخش، نیروی اصطکاکی میان اینسرت و قطعه کار است و تا این تماس باقی بماند چرخش ادامه می‌یابد. میزان سرعت دوران اینسرت با تنظیم زاویه شعاعی (α) با محور اینسرت کنترل می‌گردد. (شکل ۴)



شکل (۴): زاویه شعاعی (α) در کارتریج

در حالت کلی افزایش زاویه شعاعی کارتریج باعث افزایش سرعت دوران آن و در نهایت افزایش پخش حرارت می‌گردد. سرعت‌های بالا معمولاً برای موارد سخت‌تر در هنگام ماشینکاری استفاده می‌شود. علت این است که برای مواد سخت‌تر علاوه بر استحکام جنس ماده، به علت وجود اصطکاک و نیروی مقاوم بیشتر، حرارت بالاتری ایجاد می‌شود که نیازمند سرعت دوران بالاتری برای دفع آن می‌باشد.

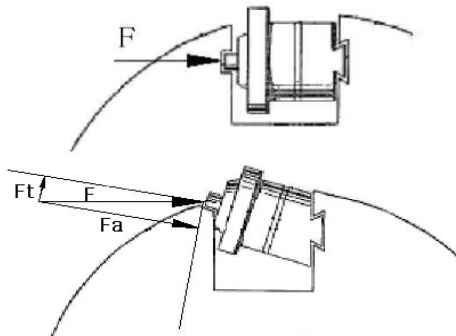
در فرآیند ساخت مجموعه هرگونه لنگی و نامحوری در ساخت هر کدام از اجزای کارتریج، منجر به باربرداری نامتقارن گشته و به خرابی ابزار و از بین رفتن کیفیت سطح می‌انجامد. همچنین هرگونه لقی در دو زبانه ابتدایی و انتهایی محور باعث ضربه زدن کارتریج در حین ماشینکاری می‌گردد که عامل بسیار نامطلوبی در فرآیند ماشینکاری می‌باشد.

۳- فواید استفاده از ابزار فرز چرخان

۴- تحلیل دوران ابزار

در ابزارهای معمولی معمولاً اینسرت عمود بر حرکت دورانی ابزار می‌باشد، بنابراین نیروی ماشینکاری به نیروی محوری بر اینسرت تبدیل شده و اینسرت را به بدنه ابزار فشار می‌دهد. در این ابزارها، اینسرت‌ها توسط پیچ‌های مخصوص بر روی بدنه ابزار قرار گرفته‌اند. حتی در صورتیکه اینسرت‌ها بصورت زاویه دار قرار بگیرند، بگونه‌ای مکان دهی می‌شوند که مولفه‌های نیرو، اینسرت را به سمت بدنه ابزار فشار دهند.

اما در ابزارهای چرخان اگر سطح اینسرت از مرکز بدنه ابزار عبور کند، نیروی ماشینکاری عمود بر اینسرت بوده و هیچ دورانی وجود ندارد. اما در صورتیکه کارتریج بصورت زاویه دار قرار بگیرد، نیروی ماشینکاری دارای دو مولفه خواهد بود. یکی از این نیروها، نیروی محوری و باعث فشردن اینسرت به بدنه ابزار می‌گردد و نیروی دیگر نیروی مماسی خواهد بود، که باعث چرخش ابزار خواهد شد. (شکل ۵)



شکل (۵): تاثیر زاویه دار بودن کارتریج بر نیرو

از آنجا که زاویه دار قرار دادن کارتریج بر روی بدنه ابزار از نظر ساخت، دارای پیچیدگیهای متعددی از جمله ایجاد دو سطح مورب موازی در دو انتهای یک شافت می‌باشد، در این طرح از ابتکاری ویژه استفاده گردید. زاویه دار نمودن کارتریج را می‌توان با حرکت کارتریج، از حالتی که صفحه اینسرت بر روی قطر قرار داشت، به سمت جلو ایجاد نمود. در واقع با جلو رفتن کارتریج، نیروی مماس بر نقطه تماس کارتریج و قطعه کار، زاویه بیشتری گرفته و مانند آن است که کارتریج با زاویه بیشتری نصب گردیده است. شکل ۶ گویای این نکته

«چرخش - برش» مشکلات کار با قطعات فولادی ریخته شده را از بین می‌برد.

در زمان ماشین کاری فولادهای ریخته شده با ابزارهای معمولی، مشاهده می‌شود که اینسرت شروع به خورده شدن می‌کند و این فرآیند، دقت کاری را از بین برده و موجب تولید قطعات معیوب می‌گردد. راه حل عادی، استفاده از ابزار با زاویه جلوبرنده بیشتر و در نتیجه تولید براده نازک‌تر است. اما ابزارهای چرخان که به طور تئوری، زاویه جلوبرنده پیوسته دارند، این معایب را از بین خواهند برد. نکته قابل توجه دیگر، کاهش نیروها با افزایش سرعت است. در واقع هر زمان که سرعت ماشین کاری بالاتر رود، نیاز به نیروی کمتری برای برش هست. وقتی اسپیندل ماشین در سرعت‌های بالا دوران می‌کند، ابزار فرز چرخان نیروی کمتری نیاز دارد. خوردگی در ماشین و فشار در قطعه کار نیز کاهش خواهد یافت.

- کاهش خوردگی در دستگاه

در هنگام ماشین کاری، نیروهای مختلفی بر ابزار وارد می‌شوند. از آن جمله، نیروی مماسی بوده که یکی از مهم‌ترین نیروها می‌باشد. وقتی یک ابزار معمولی استفاده می‌شود، این نیرو به طور مستقیم به یاتاقان‌های اسپیندل وارد می‌شود و عامل اصلی خوردگی است. اما حرکت چرخشی اینسرت در ابزار چرخان، به طور کلی این نیرو را از بین می‌برد. در نتیجه یاتاقان‌های اسپیندل زمان بیشتری قابل استفاده خواهند بود. علاوه بر آن، زمان تعمیر ماشین نیز از بین می‌رود.

به طور کلی، می‌توان گفت که عامل اصلی برتری ابزارهای چرخان، مکانیزم متفاوت آن‌ها در براده برداری است. همان طور که اشاره شد این ابزارها به جای کندن براده آن‌ها را برش می‌دهند و این موجب می‌شود تا قابلیت تولید بالاتر رود (منظور از قابلیت تولید، تعداد قطعات سالمی است که در هر دوره‌ی کاری تولید می‌شود). به منظور رسیدن به تولید بیشتر، باید سرعت ماشین کاری را افزایش داده و زمان تنظیم یا تمیز کردن دستگاه را هم کاهش داد. خوشبختانه ابزار فرزکاری چرخان هر دوی این فاکتورها را شامل می‌شود [۷].

پیشروی توسط دستگاه زبری سنج قابل حمل مدل (Mahr Perthometer M2) اندازه‌گیری شده است (شکل ۸).



شکل (۸): دستگاه زبری سنج جهت اندازه‌گیری صافی سطح

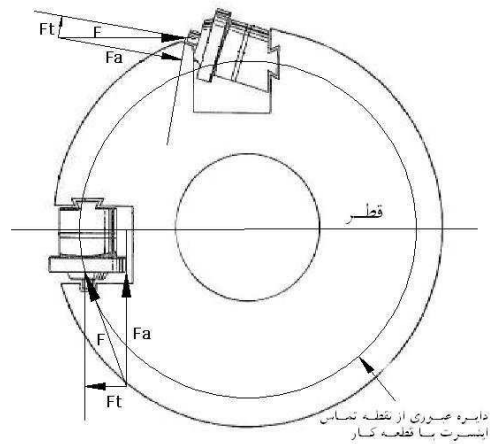
برای دستیابی به مدلی دقیق از تاثیرات متقابل سه پارامتر مستقل عمق برش، سرعت پیشروی و سرعت دورانی بر روی فاکتور وابسته صافی سطح، از روش طراحی آزمایش فاکتوریل کامل استفاده گردید. در این روش کلیه ترکیبات ممکن سطوح در نظر گرفته می‌شود و تعداد آزمایش مورد نیاز برابر تعداد سطوح به توان تعداد پارامترها است. همچنین برای هر پارامتر سه سطح در نظر گرفته شد، که طراحی آزمایش در جدول ۱ آمده است.

جدول (۱): پارامترها و سطوح آزمایش

پارامتر	واحد	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
عمق برش	mm	۰/۵	۰/۸	۱/۲
سرعت پیشروی	mm/min	۱۲	۲۰	۳۱
سرعت دورانی	RPM	۱۰۰	۱۶۰	۲۵۰

بدین ترتیب ۲۷ آزمایش انجام گردید و در هر بار حداقل ۱ بار و حداکثر ۵ بار صافی سطح اندازه‌گیری شد. داده‌ها با اختلاف زیاد نسبت به مقادیر دیگر، از مجموعه حذف شده و میانگین مقادیر به دست آمده برای تحلیل به‌کار گرفته شده است.

می‌باشد. در این طرح از زاویه تقریباً ۱۵ درجه استفاده شده است. شکل ۷ نمونه طراحی و ساخته شده در مجموعه کارگاههای دانشگاه صنعتی اصفهان را نمایش می‌دهد.



شکل (۶): دو روش زاویه دار نمودن کارتریج



شکل (۷): نمونه طراحی و ساخته شده

۵- طراحی آزمایش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها، از هم ارتفاع بودن اینسرت‌ها نسبت به سطح قطعه‌کار و عدم لنگی آنها با استفاده از ساعت اندازه‌گیری اطمینان حاصل شده و برای انجام عمل ماشینکاری از

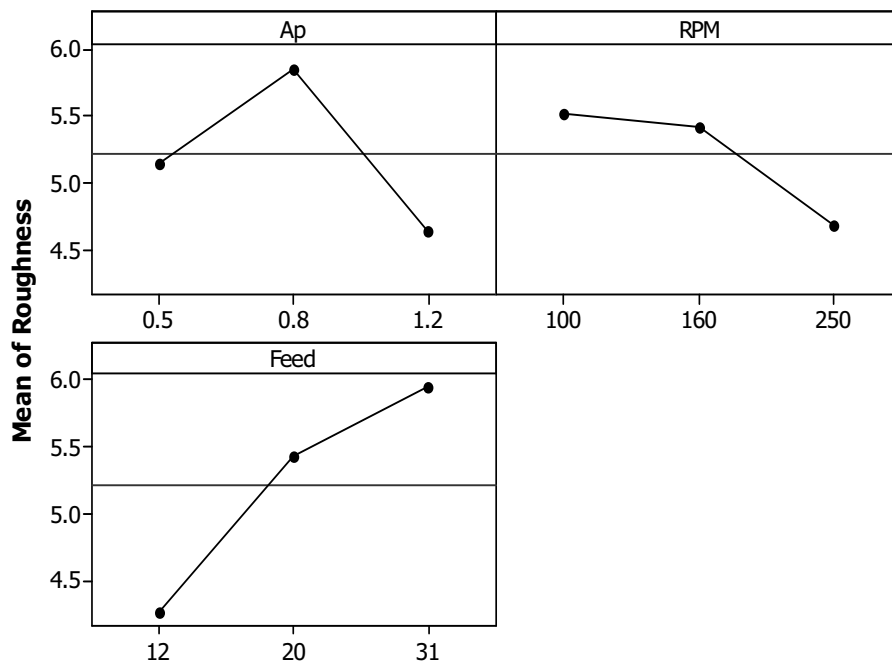
ماشین فرز NC استفاده گردیده است. قطعه‌کار مورد آزمایش آلومینیوم نورد شده سری ۵۰۰۰ با آلیاژ پایه منیزیم می‌باشد. گیره‌بندی قطعه‌کار در طی تمام نمونه برداری‌ها ثابت بود و با تغییر هر یک از پارامترهای ماشینکاری اعم از عمق برش، سرعت پیشروی و سرعت دورانی، صافی سطح در جهت

۶- تحلیل آماری داده‌ها

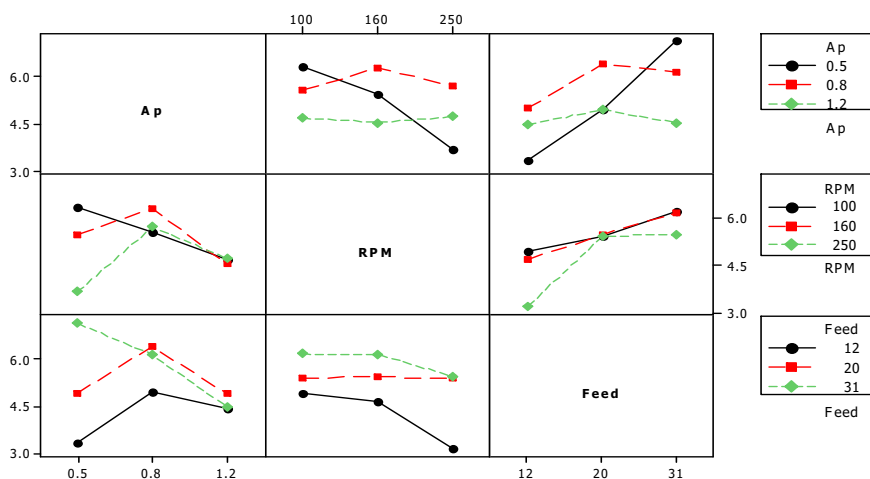
۶-۱- بررسی تاثیر فاکتورها

می‌رفت با افزایش سرعت پیشروی، صافی سطح به طرز قابل توجهی کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود که عمق برش بر روی صافی سطح اثر منظمی نداشته و Ra در سطح ۲ عمق برش، به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد. شاید بتوان این پدیده را بدین‌گونه توجیه کرد که با افزایش عمق برش به دلیل افزایش نیروی عمودی (در راستای محور اسپیندل) بر روی سطح قطعه‌کار، فشار منطقه ماشینکاری زیاد می‌شود و سطح آن فشرده گشته و پروفایل صافی سطح مقداری بهبود می‌یابد. در نمودار ۲ اثرات متقابل پارامترها بر روی صافی سطح نشان داده شده‌است.

تحلیل‌های آماری را می‌توان توسط اکثر نرم‌افزارهای آماری موجود انجام داد، که در این تحقیق از نرم‌افزار آماری (Minitab v15) استفاده گردید. اثرات اصلی پارامترهای مستقل بر روی فاکتور صافی سطح در نمودار ۱ نشان داده شده است. همانطور که از نمودار ۱ بر می‌آید، با افزایش سرعت دورانی از سطح ۱ به سطح ۲ صافی سطح تغییر محسوسی نمی‌کند. ولی با افزایش سرعت دورانی از ۱۶۰ تا ۲۵۰، Ra بیشتر شده یعنی صافی سطح از نظر کیفی بهبود می‌یابد. همانگونه که انتظار



نمودار (۱): اثرات اصلی پارامترهای مستقل بر روی صافی سطح



نمودار (۲): اثرات متقابل پارامترهای مستقل ماشینکاری بر صافی سطح

در نظر گرفته شده در این تحقیق شامل اثرات پارامترهای مستقل سرعت دورانی، سرعت پیشروی و عمق برش و اثرات متقابل آنها می‌باشد.

بر اساس جدول ۳ که در آن نتایج تحلیل واریانس برای صافی سطح نشان داده شده است، پارامترهایی با P-Value بزرگتر از ۰/۰۵ اثر مهمی بر روی نتایج ندارند. همانگونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، پارامترهای عمق برش، سرعت پیشروی و اثر متقابل عمق برش و سرعت دورانی بیشترین تاثیر را بر روی فاکتور صافی سطح دارند.

برای تحلیل و تفسیر داده‌ها، از روش تحلیل واریانس (ANOVA) استفاده شده است. این روش برای اعتبارسنجی اهمیت و تاثیر پارامترهای مستقل و اثرات متقابل آنها به کار می‌رود، که این عمل با مقایسه مجذورات میانگین با تخمین خطای آزمایشات و در یک سطح اطمینان مشخص صورت می‌پذیرد. با توجه به اینکه سطح اطمینان ۹۵٪ (که سطح قابل قبولی می‌باشد) در نظر گرفته شده است، کافی است که P-Value را با مقدار سطح اطمینان مقایسه کرد. اگر P-Value برای هر پارامتر از مقدار ۰/۰۵ کمتر و مساوی باشد، نشان‌دهنده این حقیقت است که اعتبار اثر آن قابل قبول خواهد بود. مدل

جدول (۳): تحلیل واریانس برای صافی سطح

پارامتر	درجه آزادی	مجموع مربعات	مجموع میانگین	F-ratio	P-Value
Ap	۲	۶/۶۸۹۵	۳/۳۴۴۸	۵/۸۵	۰/۰۲۷
RPM	۲	۳/۶۹۲۱	۱/۸۴۶۱	۳/۲۳	۰/۰۹۴
Feed	۲	۱۳/۲۷۸۷	۶/۶۳۹۳	۱۱/۶۱	۰/۰۰۴
Ap*RPM	۴	۸/۳۷	۲/۰۹۲۵	۳/۶۶	۰/۰۵۶
Ap*Feed	۴	۱۲/۵۶۳۵	۳/۱۴۰۹	۵/۴۹	۰/۰۲
Feed*RPM	۴	۲/۶۳۸۷	۰/۶۵۹۷	۱/۱۵	۰/۳۹۸

جدول (۴): تحلیل واریانس برای رگرسیون

مدل	درجه آزادی	مجموع مربعات	مجموع میانگین	F-ratio	P-Value
مدل	۶	۳۳/۲۴۲۷	۵/۵۴۰۴۵	۵/۹۷	۰/۰۰۱
خطا	۲۰	۱۸/۵۶۴۴	۰/۹۲۸۲۲		
مجموع	۲۶				

۶-۲ ارائه مدل آماری صافی سطح

گردید. نتایج نشان داد که پارامترهای عمق برش، سرعت پیشروی و اثر متقابل عمق برش و سرعت دورانی بیشترین تاثیر را بر روی صافی سطح دارند. با افزایش سرعت دورانی صافی سطح از نظر کیفی بهبود می یابد و با افزایش سرعت پیشروی، صافی سطح کاهش می یابد. همچنین عمق برش تاثیر منظمی بر روی صافی سطح ندارد.

به منظور یافتن رابطه بین پارامترها و فاکتور صافی سطح، تحلیل رگرسیون انجام گردید. معادله (۱) بیانگر این ارتباط می باشد:

(۱)

$$Ra = 4.88805 + 0.80828 * Ap - 0.03326 * RPM = 0.26188 * Feed + 0.02474 * Ap * RPM - 0.27864 * Ap * Feed + 0.00033 * RPM * Feed$$

تحلیل واریانس انجام شده برای اعتبارسنجی معادله رگرسیون در جدول ۵ ارائه شده است. کمتر بودن مقدار P-Value در جدول ۴ از ۰/۰۵ نشان می دهد که مدل ارائه شده در تحلیل رگرسیون با سطح اطمینان ۹۵٪ معتبر است و قابل قبول خواهد بود و مدل معنادار است.

۷- نتیجه گیری

امروزه در صنایع بدلیل کاربرد عمده مواد جدید با جنس های فوق العاده سخت، ماشینکاری این مواد و به خصوص ابزارهایی با این قابلیت بسیار مورد توجه قرار دارد. ابزار فرزکاری با لبه برنده چرخان پاسخ مناسبی به این مشکل می باشد. در این ابزار، چرخش لبه برنده باعث تعویض نقطه تماس ابزار با قطعه کار در حین ماشینکاری می شود. بنابراین حرارت کاسته شده و عمر ابزار افزایش می یابد. همچنین نیروهای ماشینکاری و توان مورد نیاز کمتری بکار رفته، ضمن اینکه کیفیت سطح نیز بالا می رود. در این گونه ابزار نه تنها عمر ابزار بسیار افزایش می یابد، بلکه امکان ماشینکاری مداوم با کیفیت سطحی بهتر از ابزار معمولی نیز فراهم می شود. این قابلیت از جمله نیازهای ضروری صنایع، بخصوص صنایع بزرگ خودروسازی می باشد.

یک مطالعه برای یافتن میزان تاثیر پارامترهای ماشینکاری و اهمیت آنها بر روی صافی سطح آلومینیوم در فرزکاری توسط ابزار خودچرخان انجام شد. آزمایشات مورد استفاده در این تحلیل به روش فاکتوریل کامل طراحی گردید و نتایج آن توسط روش تحلیل واریانس مورد بررسی قرار گرفت. همچنین معادله ای بر اساس رگرسیون داده ها استخراج شد. و با استفاده مجدد از روش تحلیل واریانس، اعتبار مدل ارائه شده تایید

۸- مراجع

- [1] Ramaswamy, N., Koenigsberger, F., "Experiments with self-propelled rotary cutting tools", Proceeding of the ninth IMTDR Conference, Part 2, pp. 945-959, 1968
- [2] Venkatesh, VC., Rajesham, S., Kamala, V., "Wear and surface finish in face milling with rotary inserts", Proceedings of the Fifth AIMTDR Conference, University of Roorkee, April 10-12, pp. 183-190, 1972
- [3] Uday A. Dabade, Joshi, S.S., Ramakrishnan, N., " Analysis of surface roughness and chip cross-sectional area while machining with self-propelled round inserts milling cutter", Journal of Materials Processing Technology 132, pp. 305-312, 2003
- [4] Armarego, E.J.A, Karri, V, Smith, A.J.R., "Fundamental studies of driven and self-propelled rotary tool cutting processes", 1. Theoretical investigation, Int. J. Mach. Tool Manuf. 34 (6), pp.785-801, 1994
- [5] Armarego, E.J.A, Karri, V, Smith, A.J.R, Fundamental studies of driven and self-propelled rotary tool cutting processes. II. Experimental investigations, Int. J. Mach. Tool Manuf. 34 (6), 803-815, 1994
- [6] Destefani, J. (2002), " Old Tool Design Takes Off", Manufacturing Engineering magazine, V.128, No. 1
- [7] <http://www.rotarytech.com>
- [8] Briese, L. A. , 5039, Browndeer La, Rancho Palos Verdes, calif, 90274, (1984), "rotary tool cutting cartridge", patent 4477211, us patent

