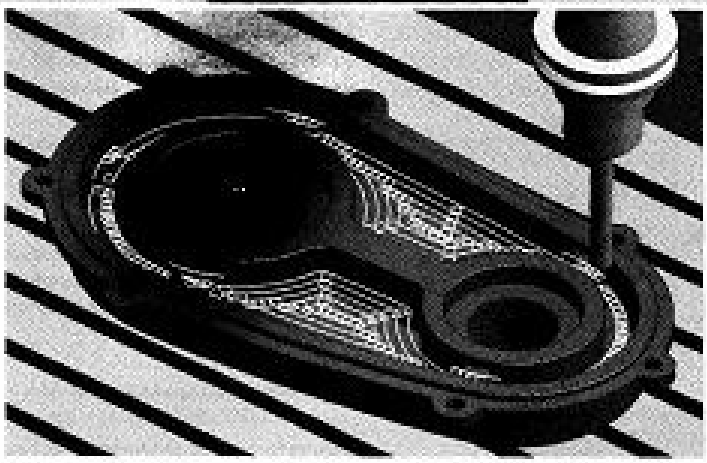


کنترل فعال شرایط ماشینکاری به کمک حسگرها و عملگرهای پیزوالکتریک در عملیات فرزانگشتی مینیاتوری[1]

علی محمد ناصرپاک نیکو، مجید معارفیان، احسان لایق
گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

یکی از مشکلات عمده بزرگ در فرایند فرزکاری مینیاتوری شکستن زودرس و غیر قابل پیش‌بینی ابزار است. در این مقاله، ساز و کاری ارائه می‌شود که با استفاده از آن، حسگرها و عملگرهای پیزو الکتریک، شرایط ماشینکاری بحرانی را قبل از شکستن ابزار، شناسایی و با کاهش میزان براده برداری از وقوع آن جلوگیری می‌نمایند. برای این منظور ساز و کار یاد شده پارامترهایی چون عمق برش و غرض برش را به مدی تغییر می‌دهد که نیروی وارد بر محور ابزار، کمتر از نیروی حد شکست آن گردد. به دلیل پاسخ زمانی بسیار کوچک و ساده‌گی فراوان، این ساز و کار، پراتری قابل توجهی نسبت به موارد مشابه دارد.

واژه‌های کلیدی
فرز انگشتی مینیاتوری، سایش ابزار، عمر ابزار، پیزو الکتریک، کنترل فعال.

۱- مقدمه

در گذشته دامنه استفاده از ماشینکاری مینیاتوری به موارد خاصی چون صنایع هوافضا، الکترونیک و بیومکانیک محدود می‌شد. اما امروزه با گسترش استفاده از قطعات کوچک، موارد استفاده از این نوع عملیات ماشینکاری نیز افزایش یافته است. همچنین تولیدکنندگان کالاهای صنعتی به منظور افزایش میزان تولید و کیفیت در مقابل کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های حمل و نقل، به تولید قطعات مینیاتوری روی آورده‌اند. به طوری که آینده آنها در گرو استفاده موفقیت‌آمیز از فرایندهای ماشینکاری مینیاتوری است. یکی از پرکاربردترین انواع این عملیاتها، فرز انگشتی مینیاتوری است. به طور معمول ابزار فرز انگشتی با قطر کمتر از یک میلیمتر را از نوع مینیاتوری به حساب می‌آورند. هرچند که امروزه در صنعت ابزارهایی با قطر کمتر از ۰/۱۰۵ میلیمتر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جدول (۱) تفاوت بین عملیاتهای فرزکاری معمولی و فرزکاری مینیاتوری نشان داده شده است.

جدول شماره ۱- مقایسه بین ابزار فرز مینیاتوری و معمولی

فرزکاری مینیاتوری	فرزکاری معمولی	مشخصات
۱۰۱۰۲۵ میلیمتر	۲۰-۳ میلیمتر	قطر
۰/۱۲	۰/۱۲	Feed/tooth/radius

فرایند فرزکاری مینیاتوری و فرزکاری معمولی از نظر هندسه و نحوه برادبرداری کاملا مشابه یکدیگرند. اما همان طور که جدول شماره (۱) نشان می‌دهد، در فرزکاری مینیاتوری نسبت میزان بیشروی به قطر ابزار بزرگتر است. به همین دلیل انتخاب صحیح پارامترهای ماشینکاری همچون عمق برش، عرض برش، پیشروی، سرعت اسپیندل و غیره بسیار مهمند. به طوری که اگر پارامترهای ماشینکاری به صورت مناسبی انتخاب نگردند ابزار به سرعت فرسوده و دچار شکست خواهد شد. متاسفانه نیروها در فرزکاری مینیاتوری مشابه آن چیزی است که در مورد ابزارهای فرزکاری معمولی انجام می‌شود ولی ساز و کار سایش و شکست ابزار کاملا متفاوت است. در فرزکاری معمولی، هنگامی ابزار فرسوده و غیر قابل مصرف محسوب می‌شود که در اثر سایش، لب پریدگی‌هایی در نوک ابزار، به صورت حفره‌های ریز[2] به وجود آید. در اثر افزایش این حفره‌ها، لبه‌ی برنده یکی پس از دیگری می‌شکنند و ابزار ساقط خواهد شد. حال آن که در ابزار فرزکاری مینیاتوری به جای لبه برنده، محور مارک ابزار است که می‌شکند. تحقیقات قبلی نشان می‌دهند که ساقط شدن ابزار در اثر پدیده‌هایی چون فرسایشگی براده[3]، خستگی و سایش مضاعف در اثر افزایش ناگهانی نیرو و تنش در روی لبه برنده به وجود می‌آید. اما علل اصلی در شکست ابزارهای مینیاتوری، فرسایشگی براده روی لبه برنده است. هنگامی که این پدیده روی می‌دهد مقدار نیرو و تنش تماسی به محور ظریف ابزار به صورت کنترل نشده‌ای افزایش می‌یابد و ابزار به سرعت از این ناحیه دچار شکست می‌شود. از آنجا که عموماً پیش‌بینی این پدیده در حوزه زمان غیر ممکن است لذا تعیین عمر ابزار و تخمین زمان ساقط شدن آن به صورت دقیق بسیار دشوار است.

شرکت ره‌آوران مدار سپاهان ۲-۲۲۰۷۹۷۱-۰۳۱
بوردهای آموزشی آزمایشگاههای الکترونیک و دیجیتال
ارزشهای انسانی را در خودمان پرورش دهیم.

یک ابزار میدانوری از قابلیت‌های برخوردار است و علاوه بر آن، هنگامی که ابزار روی قطعه کاری می‌نشاند آن قطعه کار در اکثر موارد طوری قابل استقرار خواهد بود. همچنین در ابزارگذاری میدانوری میزان براده برداری و نیروهای ماشینکاری بسیار کوچک که با کوچکترین فرسودگی و تغییر شکل در لبه برنده ابزار نیروی ماشینکاری روی محور به طور ناگهانی به چند برابر افزایش می‌یابد به این ترتیب ساز و کاری بوده نیاز است که بتواند آستانه بحرانی شکست ابزار را در کسر کوچکی از زمان تشخیص دهد و با تغییر شرایط ماشینکاری، ابزار را از ورود به محدوده سقاط شدن باز دارد. نو پژوهش مستقیم و غیر مستقیم برای تشخیص و نمایش سایش ابزار وجود دارد. در روشهای مستقیم به کمک ابزار نوری ابزار اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی نقاط تماس بین ابزار و قطعه کار و آنالیز رادیو اکتیو برادره میزان سایش ابزار تعیین می‌گردند اما در روشهای غیر مستقیم پارامترهای فرایند ماشینکاری همچون دامنه ارتعاشات، دما و نیرو و اکوستیز به منظور تحلیل سایش ابزار اندازه‌گیری و بررسی می‌گردند.

خوب است به این نکته نیز اشاره گردد که کار تحقیقاتی ارائه شده در این گزارش اینجایی نیست و بر اساس جستجوهای صورت گرفته در مقالات منتشر شده تاکنون گزارشی مشابه با آن انجام نشده است. از این رو امکان مقایسه نتایج عددی حاصل با نتایج مشابه میسر نیست ولی در این پژوهش هدف اصلی، یعنی کنترل نیروها در عملیات ماشینکاری و کنترل فعال شرایط ماشینکاری به خوبی برآورده شده است. لازم به ذکر است نتایج مختلف به دست آمده از تحلیلها نیز دارای تغییرات کاملاً منطقی و قابل قبولی هستند. به دلیل پیچیده بودن فرایند تحلیلها و به ویژه وجود تعاملهای تماسی[2] تاکنون یک نرم‌افزار المان محدود [ANSYS] برای شبیه‌سازی شرایط ماشینکاری مورد استفاده قرار گرفته است و برای انجام فرایند کنترل یک کد رایانه‌ای به زبان APDL[3] زبان برنامه نویسی محض [ANSYS] تهیه شده است.

۲- شرح ساز و کار و فرایند تحلیل

همان طور که در بخش پیش، توضیح داده شد دلیل اصلی شناخت ابزار در فرایند ابزارگذاری میدانوری، افزایش ناگهانی نیروی وارد بر محور ابزار در اثر پدیده‌ای همچون انباشتگی برادره است از آنجا که قطر ابزار و عمق برش در فرایند ماشینکاری میدانوری کمتر از یک میلیمتر است، در شرایط بحرانی که ابزار به آستانه شکست می‌رسد، با تغییر مکان کوچک میز در راستای مناسب می‌توان شرایط ماشینکاری را طوری تغییر داد که نیروهای ماشینکاری کاهش یابند و ابزار از شرایط بحرانی خارج گردد. برای این منظور از لایه‌های پیزوالکتریک در بین راهگاههای[4] ماشین ابزار استفاده می‌شود. این لایه‌ها علاوه بر اندازه‌گیری نیروهای ماشینکاری، نقش عملگری را نیز به منظور اعمال تغییر مکان مناسب به میز کار بر عهده دارند.

۲-۱ شرح ساز و کار

نحوه عملکرد ساز و کار در شکل (۱) نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود در ابتدا نیروهای ماشینکاری اعمال شده بر میز کار باعث تولید سیگنال ولتاژ در لایه‌های پیزو الکتریکی می‌شوند که در راهگاههای ماشین ابزار نصب شده‌اند. این سیگنال که به پردازشگر ساز و کار ارسال می‌شود اگر از حد بحرانی بزرگتر باشد باعث ارسال سیگنال ولتاژ به عملگرهای پیزوالکتریک می‌گردد. در اثر ولتاژ اعمالی، ضخامت لایه عملگر پیزوالکتریک افزایش یا کاهش یافته به این ترتیب شرایط ماشینکاری اصلاح می‌گردد.

شکل ۱- طرح واره ذکر شده از ماشین ابزار مجهز به لایه‌های حسگر و عملگر پیزوالکتریک و مدار کنترلی آن

حد بحرانی که سیگنال ورودی با آن مقایسه می‌شود را می‌توان از طریق آزمایش به دست آورد. این مقدار برای چیدمان‌های مختلف ابزار و قطعه کار مقادیر متفاوتی دارد. برای این منظور ابزار و قطعه کار مورد نظر روی ماشین ابزار بسته می‌شوند. سپس با اعمال تغییرات مناسب در عرض و عمق برش، میزان براده برداری به آرامی افزایش داده می‌شود تا لحظه‌ای که ابزار سقط گردد. سیگنال ورودی ثبت شده از طریق لایه پیزو الکتریک در لحظه سقط شدن با اعمال یک ضریب اطمینان مناسب به عنوان سیگنال بحرانی در نظر گرفته می‌شود.

در شکل (۲) نمونه یک راهگاه صنعتی نشان داده شده است. برای مدلسازی فرایند ماشینکاری یک حالت ساده در نظر گرفته شده است. مدل شامل یک راهگاه است که روی بستر[5] ابزار گرفته و میز کار بر روی آن نصب می‌شود. قطعه کار روی میز متصل و عملیات ماشینکاری بر روی آن انجام می‌شود. بین راهگاه و میز یک بخش حائل قرار دارد. این قسمت معمولاً می‌تواند از جنس پلاستیک باشد که به صورت پوششی بر روی راهگاه نصب می‌شود. دلیل اصلی استفاده از بخش حائل بین میز و راهگاه ایجاد قابلیت کنترل به کمک حسگرها و عملگرهای پیزو الکتریک است. حسگرها و عملگرهای پیزو الکتریک معمولاً به شکل صفحه‌ای یا ضخامت نسبتاً کم تولید می‌شوند که می‌توان آنها را بین راهگاه و بخش حائل قرار داد و با این روش، نیروهای اعمالی به میز را کنترل نمود.

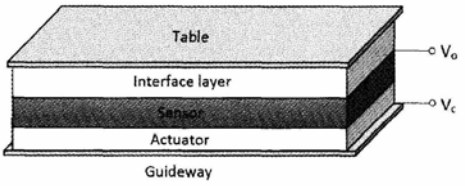
شکل ۲- یک نمونه صنعتی از راهگاه دو قسمتی

این نحوه چیدمان باعث می‌شود میز به صورت مستقیم با لایه‌های پیزو الکتریک در تماس نباشد و با جابه‌جایی جزئی با عرضی آن، لایه‌های پیزو الکتریک و الکترودهای متصل به آنها صدمه نبیند (کار به یاد دکر است چنان که قسمت حائل از جنس پلاستیک باشد می‌تواند به سطح زیرین آن چسبانده شود و در غیر این صورت یعنی زمانی که ضخامت قسمت حائل زیاد باشد می‌تواند فقط امکان حرکت عمودی داشته و از حرکت آن در جهات دیگر ممانعت شود). در طراحی‌های جدید ماشینهای ابزار، معمولاً به کار گیری لایه از جنس پلاستیک مسئول است. در این حالت استفاده از پوشش پلاستیک دارای مزایای مختلفی از جمله حرکت راحت‌تر میز روی راهنماها، قابلیت پرداخت‌کاری مناسب‌تر و افزایش ضریب میرایی (مقاومت) است.

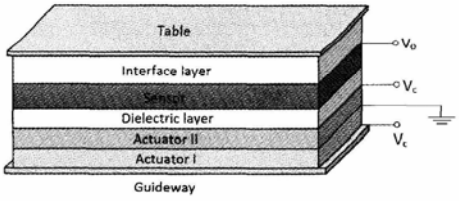
کنترل کننده ساز و کار، یک ریز رایانه‌ای است که شامل یک ریز پردازنده Intel ۸۰۲۸۶ و یک بورد رایانه‌ای، ۱۶۰۰ Dos ایزاری به زبان [ADA] است. عملکرد ساز و کار کنترل کننده کاملاً ساده و به شرح زیر است. تغییرات اندازه نیروی اعمالی به قطعه کار (یا میز) از طرف ابزار و از طریق لایه پیزو الکتریک اصلاحی داده (لایه حسگر پیزو الکتریک) تغییر ضخامت می‌دهد و به تبع آن یک ولتاژ خروجی V۵ تولید خواهد کرد. بزرگی این ولتاژ نشانگر میزان تغییرات ضخامت لایه پیزو الکتریک و یا به عبارت دیگر، اندازه نیروی اعمالی است. ولتاژ خروجی از حسگر پس از یک مدار کنترلی، در صورت نیاز، با یک بهره مناسب تقویت و به لایه (لایه‌های) عملگر وارد می‌شود (شکل ۱ را ببینید). این لایه‌ها با توجه به اندازه ولتاژ ورودی V۵ تغییر ضخامت می‌دهند و در نتیجه میز از موقعیت قبلی خود به مقدار مورد نیاز جابه‌جا می‌شود. با این وجود، میزان براده برداری به گونه‌ای اصلاح می‌گردد که همواره نیروهای ماشینکاری در محدوده مجاز باقی بمانند. ولتاژ خروجی از لایه حسگر می‌تواند معیاری برای اندازه‌گیری نیروهای اعمالی به میز کار باشد. بر این اساس می‌توان به منظور جلوگیری از تجاوز نیروهای ماشینکاری از یک حد معین، مقدار آن را با استفاده از یک

مجله
پرتو هوا
۶۶۰۰۳۳۸۸

تابع تبدیل مناسب، بر حسب یک ولتاژ خروجی مشخص که در این جا به آن ولتاژ معیار Vcr می‌گوییم بیان نمود. اگر قدر مطلق ولتاژ خروجی از لایه حسگر بزرگتر از Vcr باشد به معنای تجاوز نیرو از حد مجاز است و برعکس. برای اطمینان از این که نیرو هیچ گاه از حد مجاز گذر نمی‌کند، می‌توان یک ولتاژ تولرانس Vtol برای ولتاژ معیار در نظر گرفت که اندازه Vtol بیانگر دقت فرایند کنترل نیز خواهد بود. لازم به ذکر است، فرایند کنترل در یک حلقه بسته، حین عملیات ماشینکاری ادامه می‌یابد. در عمل، این شکل فرایند حسگری و عملگری از طریق حسگرها و عملگرهای پیزو الکتریک را حسگری و عملگری همزمان یا بلادرنگ و فرایند کنترل را کنترل فعال می‌نامند؛ چرا که پاسخ زمانی حسگرها و عملگرهای پیزو الکتریک به تحریکهای مکانیکی و الکتریکی اعمالی به آنها بسیار کوچک – در محدوده میکرو تا میلی ثانیه– است. با توجه به توضیحات بالا طرحهای مختلفی برای یافتن ساز و کاری مناسب مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت که در نهایت از میان آنها مدلهای ساده نمایش داده شده در شکلهای (۳) و (۴) برای انجام تحلیلها انتخاب شدند.



شکل ۳- مدل پیشنهادی شماره ۱



شکل ۴- مدل پیشنهادی شماره ۲

بخشهای مختلف مدل شماره ۱ که در شکل (۳) نشان داده شده، به ترتیب از بالا به پایین عبارتند از:

۱. میزکار[۷]
۲. بخش حائل[۸] ؛ بخش حائل همواره با میز در تماس است ولی به آن متصل نیست.
۳. الکترود مربوط به حسگر پیزو الکتریک برای اتصال ترمینال ولتاژ خروجی؛ این الکترود به دلیل ضخامت بسیار کم نمایش داده نشده است.
۴. لایه حسگر[۹] ؛ این لایه می‌تواند به بخش حائل متصل باشد و یا فقط در تماس باشد.
۵. لایه عملگر[۱۰] ؛ این لایه معمولاً به لایه حسگر چسبانده می‌شود.
۶. الکترود لایه عملگر: این الکترود برای اتصال ترمینال ولتاژ ورودی (ولتاژ کنترل‌کننده، Vc) تعبیه می‌شود اما به دلیل ضخامت بسیار کم نمایش داده نشده است.
۷. راهنما[۱۱] ؛ در مدل مورد بررسی به عنوان آخرین بخش و به صورت یک لایه صلب منظور شده است. الکترود مربوط به این عملگر به کمک چسب عایق الکتریکی به راهنما متصل می‌شود.

در مورد نحوه و ترتیب قرارگیری لایه‌های حسگر و عملگر و نیز الکترودهای آن باید به این نکته اشاره گردد که با توجه به تحلیلهای صورت گرفته، ترتیب نامبرده، مناسب‌ترین چیدمان در میان ساز و کارهای مشابه است. به عنوان مثال، قرار گرفتن لایه حسگر بعد از میز و قبل از لایه عملگر، امکان حسگری دقیق‌تر و قرار گرفتن لایه عملگر روی بستر صلب (راهگاه) امکان واکنش مؤثرتر را فراهم می‌آورد. تحلیلهای انجام شده برای بهینه کردن طرح مورد بحث منجر به این نتیجه شد که اضافه کردن یک لایه عملگر دوم[۱۲]، مطابق آن چه در شکل (۴) نمایش داده شده است، در شرایط یکسان می‌تواند، باعث افزایش عملکرد عملگرها و کاهش نسبی ولتاژ تحریک مورد نیاز گردد. از این رو طرح ارائه شده در شکل (۴) به عنوان یک مدل قابل قبول برای انجام تحلیلها مورد استفاده قرار گرفته است. البته به منظور درک بهتر اثر اضافه کردن لایه عملگر دوم مقایسه‌ای بین نتایج حاصل از به کارگیری هر دو مدل نامبرده انجام خواهد شد. در مدل شماره ۲ تغییرات زیر نسبت به مدل شماره ۱ اعمال گردیده است:

۱. یک لایه عایق الکتریکی[۱۳] بین لایه‌های عملگر و حسگر اضافه می‌شود.
۲. یک لایه عملگر بین لایه عایق و لایه عملگر متصل به بستر قرار می‌گیرد.
۳. دو الکترود به سطوح بالایی و پایینی عملگر شماره ۲ متصل می‌گردد؛ الکترود بالایی به منبع تغذیه و الکترود دوم (الکترود بین دو لایه عملگر) اتصال به زمین خواهد بود.

۲-۲) فرایند تحلیل

برای انجام تحلیلها، خواص مواد بخشهای مختلف مدل انتخابی به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

لایه مربوط به میز و راهنما: یک ماده با ضریب صلبیت بالا

لایه حائل: پلاستیک با مدول الاستیسیته E=۲-MPa و ضریب پواسون ν=۰,۳

لایه‌های عملگر و حسگر: H-PZT۵، یک سرامیک پیزو الکتریک صنعتی است.

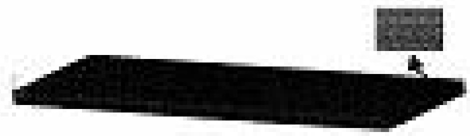
لایه عایق الکتریکی: ماده‌ای با صلبیت نسبتاً بالا (E=۲۰۰ GPa و ضریب پواسون ν=۰,۲)

به دلیل پیچیدگی فرایند تحلیلها و به ویژه وجود تحلیلهای تماسی، ناگزیر یک نرم‌افزار المان محدود (ANSYS) برای شبیه‌سازی شرایط ماشینکاری مورد استفاده قرار گرفته است و برای انجام فرایند کنترل، یک کد رایانه‌ای به زبان برنامه‌نویسی APDL تهیه شده است. هندسه مورد نظر در ANSYS بر اساس طرح ارائه شده در شکل (۴) ایجاد گردیده است. طول و عرض لایه‌های مختلف، یکسان و به ترتیب برابر ۳۰ و ۱۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده‌اند. همچنین ضخامتهای تأثیرگذار در تحلیلها عبارتند از: ضخامت بخش حائل: ۵ میلیمتر، لایه حسگر: ۲/۵ میلیمتر، هر یک از لایه‌های عملگر: ۱/۵ میلیمتر و لایه عایق: ۱/۵ میلیمتر. بعد از ایجاد مکعب مستطیلهای مربوط به هر یک از لایه‌ها، کلیه مکعبهای ایجاد شده غیر از لایه مربوط به میز، با استفاده از دستور VGLUE، به هم چسبانیده می‌شوند– یعنی غیر از میز و لایه حائل که با هم تماس دارند، فرض شده است بقیه لایه‌ها در مدل به هم متصلند. لازم به ذکر است به دلیل ضخامت اندک، لایه‌های مربوط به الکترودها مدل نمی‌شوند. برای قسمتهای غیر پیزو الکتریک از المان SOLID۴۵ که یک المان سه بعدی با ۸ گره – سه درجه آزادی در هر گره– است و امکان تحلیلهای غیر خطی را فراهم می‌آورد، استفاده شده است. همچنین برای لایه‌های حسگر و عملگر پیزو الکتریک المان SOLID۵ مورد استفاده قرار گرفته شده است. SOLID۵ یک المان سه بعدی با ۸ گره و ۶ درجه آزادی در هر گره است – که می‌توانند ۳ درجه آزادی جابه‌جایی و ۳ درجه آزادی ولتاژ باشند– و قابلیت تحلیلهای الکترومکانیکی را ممکن می‌سازد. علاوه بر این، به منظور تعریف تماس بین میز و لایه حائل، برای سطح بالایی لایه حائل المان CONTA۱۷۴ و برای سطح پایینی میز المان TARGE۱۷۰ به کار گرفته شده است. با هدف دستیابی به دقت مناسب، مش‌بندی تا حد امکان، ریز[۱۴] انجام شده است. طول و عرض لایه‌ها، به ترتیب، ۲۰ و ۷ قسمت و ضخامت کلیه لایه‌ها غیر از لایه حائل که ۳ قسمت شده، به ۲ قسمت تقسیم شده است. شکل (۵) نحوه مش‌بندی چهار لایه میانی را نمایش می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، مدل ساده و مناسب در نظر گرفته شده و امکان تولید مش‌بندی

راه‌اندازی مجتمعهای پتروشیمی
شرکت ملی صنایع پتروشیمی
نمود.
بعد از پایان عملیات می‌توان کل سامانه مورد نظر را تخلیه نمود.
مشخصات آب مورد استفاده و نحوه استفاده از آن در عملیات آزمون باید به شرح زیر باشد:
مقدار یونهای کلر در آب شستشو باید ppm ۲۰۰- ۱۰۰ و میزان کلر موجود در آب DM باید کمتر از ppm ۱ باشد.
آب خام را می‌توان برای انجام آزمون در سامانه‌هایی که روکش لاستیکی دارند و یا برای لوله‌های پلاستیکی یا برای آزمون سامانه‌های فلزی غیر آلیاژی به کار برد به شرط آن که بعد از انجام آزمون، سامانه با آب شستشو فلاش گردد.
برای لوله‌هایی با آلیاژهای فلزی کروم نیکل، فلز نیکل و آلیاژهای نیکل باید از آب DM با مشخصات گفته شده استفاده نمود.
روش اجرای عملیات هیدرولیکی بدین صورت است که ابتدا تجهیزات اندازه‌گیری و ابزاردقیقی را از مسیرهای دستگاه
ادامه در ص بعد
دکت
دریچه‌های تنظیم هوا
۷۷۴۵۶۰۲۸

شرکت ره‌آوران مدار سپاهان ۲-۲۲۰۷۹۷۱-۰۳۱۱
انواع کابل‌یاب، لوله‌یاب و دستگاههای PH سنج
پوکندنامه مهندسی
خود، مرهون تلاش همکاران و نظام آفرینش بدانم و از آنان قدردانی و سپاسگزاری کنم.

سطح را فراهم آورده است.



شکل ۵- نحوه مش‌بندی چهار لایه میانی مدل

۳-۴- فرایند حل

فرایند حل بر این اساس انجام می‌شود که در یک حلقه بسته DO میز تدریجاً به سمت بستر حرکت می‌کند. در حقیقت حرکت میز به سمت بستر نتیجه افزایش نیروی اعمالی به ابزار (قطعه‌کار) است. مرحله اول حل، تعیین ولتاژ مجاز Vcr است. در حین حرکت تدریجی میز، ضخامت لایه حسگر به تدریج کاهش می‌یابد. این کاهش ضخامت باعث تولید یک ولتاژ با علامت منفی Vo در صفحه بالایی حسگر می‌شود. واضح است که بزرگی این ولتاژ معرف بزرگی نیروی اعمالی یا به بیان دیگر معرف بزرگی تنش ایجاد شده در سطح تماس خواهد بود. بنابراین اگر هدف عدم تجاوز تنش نرمال (تنش) از یک مقدار معین مجاز (Sall (Fall باشد، با مقایسه تغییرات ولتاژ خروجی و تنش متناظر ایجاد شده در سطح تماس بین میز و لایه حائل در اثر جابه‌جایی میز، می‌توان مقدار ولتاژ متناظر با Sall یعنی ولتاژ مجاز را تعیین نمود. به عنوان مثال برای شرایط مسأله مورد بررسی، چنان چه Sall حدود ۱۰۰۰ پاسکال منظور گردد (این مقدار تنش نرمال متناظر با تغییر مکانی در حدود ۰/۳ میکرومتر از طریق میز است)، Vcr حدود ۰/۰۱۸- ولت به دست می‌آید.

مرحله بعدی حل، ایجاد فرایند کنترل است به این ترتیب که در یک حلقه بسته DO ضمن جابه‌جایی تدریجی میز، ولتاژ خروجی لایه حسگر Vo با ولتاژ مجاز مقایسه می‌شود و به محض آن که شرط زیر ارضا گردد، یک ولتاژ کنترل Vc به لایه‌های عملگر اعمال می‌شود:

$$|V_o + V_{tol}| \ge |V_{cr}| \quad (۴)$$

در رابطه ۴، Vtol (ولتاژ تولرانس) به منزله میزان دقت در فرایند کنترل است و معمولاً عدد کوچکی انتخاب می‌شود. اندازه بزرگی مقدار Vc به بزرگی Vo (به عبارت دقیق‌تر تفاضل) و علامت آن به جهت حرکت میز (جهت اعمال نیرو) وابسته است. در مسأله فعلی، مقدار Vc با ضرب یک بهره مناسب G در عبارت به دست می‌آید:

$$|V_c| = G \times |V_o - V_{cr}| \quad (۵)$$

مقدار G به پارامترهای مختلفی از جمله خواص مکانیکی و الکتریکی مواد و ولتاژ تولرانس بستگی دارد. به عنوان مثال برای مسأله مورد بحث، بهره به صورت زیر به دست آمده است:

$$G = 25000 \times V_{tol} \quad (۶)$$

اعمال ولتاژ کنترل باعث می‌شود عملگرها اندکی کاهش ضخامت داده در نتیجه با کاهش عمق برش، از شدت نیروی اعمالی به سطح تماس میز با بخش حائل کاسته شود. به این ترتیب کرنش ایجاد شده در حسگر نیز کاهش می‌یابد و به تبع آن ولتاژ خروجی از ولتاژ مجاز کوچکتر شده، فرمان اعمال ولتاژ به لایه‌های عملگر قطع می‌شود. لازم به ذکر است که این فرایند در شرایطی که اندازه نیروی اعمالی به قطعه کار از یک حد مجاز کمتر شده است نیز می‌تواند به طریق عکس انجام گردد.

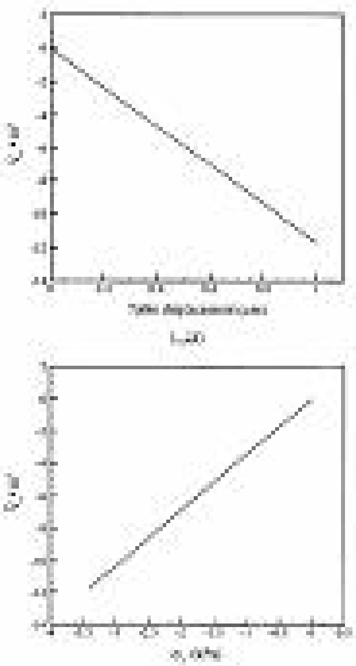
۴- نتایج تحلیل

در این بخش نتایج حاصل از تحلیل مسأله مورد بحث با استفاده از نرم‌افزار ANSYS ارائه می‌شود. از آن جا که مقادیر ولتاژهای خروجی و ولتاژهای کنترل وابسته به خواص مواد پیزو الکتریک مورد استفاده هستند، نتایج برای ولتاژ (اعم از خروجی یا کنترل) به صورت زیر بدون بعد شده‌اند:

$$\bar{V}_\alpha = \frac{V_\alpha e_{33} \times 10^4}{C_{33} t_s}, \quad \alpha = o, c \quad (۷)$$

که در آن e_{33} ثابت تنش پیزو الکتریک، C_{33} ضریب سفتی الاستیسیته ماده پیزو الکتریک و t_s ضخامت یکی از لایه‌های عملگر است.

شکل (۶- الف) تغییرات ولتاژ خروجی را بر اثر تغییرات جابه‌جایی میز نمایش می‌دهد. مطابق انتظار، هر قدر میز بیشتر به سمت بستر حرکت می‌کند و به لایه حسگر بیشتر فشار می‌آورد، مقدار Vo منفی بزرگتری تولید می‌شود. شکل (۶- ب) تغییرات ولتاژ خروجی را بر حسب تغییرات تنش نرمال در سطح تماس با لایه حائل را که نتیجه جابه‌جایی مورد بحث در شکل (۶- الف) است نشان می‌دهد. چنان که ذکر شد تغییرات تنش، نماینده تغییرات اندازه نیروی عمودی اعمالی به قطعه‌کار (ابزار) است و به کمک این نمودار می‌توان مقدار مناسب را برای ولتاژ Vcr تعیین نمود.



(الف)

(ب)

شکل ۶- الف) تغییرات ولتاژ خروجی بر اثر تغییرات جابه‌جایی میز، ب) تغییرات ولتاژ خروجی بر حسب تغییرات تنش نرمال

از طریق شکل (۷) نحوه تغییرات ولتاژ کنترل با بزرگ شدن تنش فشاری ایجاد شده در وسط سطح تماس میز و لایه حائل نمایش داده شده است. منحنی به دست آمده بیان می‌کند که به ازای مقادیر کوچکتر از Sall تنش نرمال برابر صفر است و بعد از افزایش تنش فشاری، مقدار قدر مطلق ولتاژ کنترل مورد نیاز تقریباً به صورت خطی افزایش می‌یابد.

شرکت آوران صنعت سپاهان

شکل ۸- الف) منحنی تغییرات تنش نرمال با فر شرایط کنترل نشده و کنترل شده در حسب تغییرات جابجایی میز کار نمایش می‌دهد. منحنی مشخص شده با علامتهای مربع، مربوط به قبل از انجام فرایند کنترل است. در این حالت مشاهده می‌شود که با نزدیکتر شدن میز به بستر، تنش نرمال به صورت خطی افزایش یافته است. اما پس از انجام عملیات کنترل برای مقادیر کوچکتر از تنش مجاز - که در این با حدوداً یک کیلو پاسکال در نظر گرفته شده است- ابزار افزایش تنش (نیرو) داده شده است و پس از آن با نزدیکتر شدن میز به بستر، مقادیر تنش تقریباً بدون تغییر و در حدود تنش مجاز ثابت باقی می‌ماند.

شکل ۸- ب) تغییرات ولتاژ V_c مورد نیاز را با توجه به منحنی تنش - جابجایی شکل ۸- الف) برای دو مدل شماره ۱ (شکل ۴) و شماره ۲ (شکل ۵) مقایسه می‌کند. چنان که مشاهده می‌شود برای شرایط یکسان در مدل شماره ۱ نیاز به اعمال ولتاژ بزرگتری - در حدود دو برابر - است.

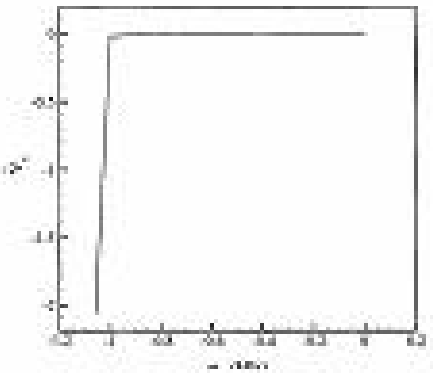
۵- نتیجه گیری

در این پژوهش، بر اساس یک ایده نو ساز و کاری پیشنهاد شده است که از طریق آن می‌توان افزایش ناگهانی نیروها و لنگرهای ماشینکاری در فرایند فرزکاری میکانیکی را که منجر به ایجاد شرایط بحرانی در ابزار می‌شود قبل از وقوع شکست تشخیص داد. این ساز و کار قادر است با تنظیم سریع میزان براده برداری و تعدیل شرایط ماشینکاری بحرانی باعث افزایش عمر ابزار گردد. مزایای استفاده از این ساز و کار عبارتند از:

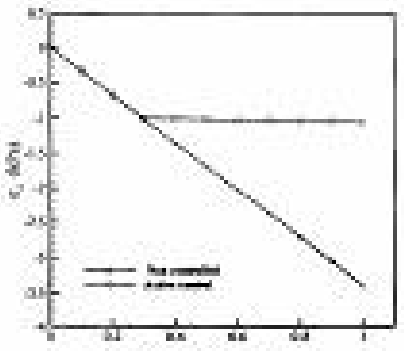
عملیات ماشینکاری باید اصولاً بدون رخ دادن شکست ابزار به پایان برسد و با متوقف شدن در این صورت علاوه بر احتمال صدمه دیدن ماشین ابزار در بیشتر موارد امکان ماشینکاری دوباره قطعه کار نیز وجود ندارد. تحقیقات قبلی نشان می‌دهند که با افزایش عمر ابزار تهیه به میزان ۲۰ درصد بسیاری از عملیات ماشینکاری بدون شکست به پایان می‌رسند. ساز و کار پیشنهادی قادر است با پیش‌بینی احتمال شکست، میزان براده برداری را کاهش و در نتیجه عمر ابزار را افزایش دهد تا ماشینکاری بدون شکست به پایان برسد.

بر خلاف روشهای قبلی که برای اندازه‌گیری و بررسی پارامترهای ماشینکاری، جسگیرهایی روی قطعه کار یا ابزار نصب می‌شوند، در این ساز و کار نیازی به این کار نیست. به این ترتیب علاوه بر سادگی، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در وقت و هزینه نیز صورت می‌گیرد.

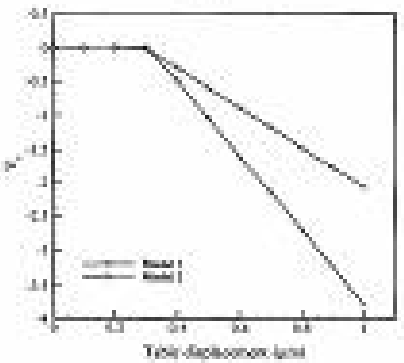
از آنجا که به منظور کاهش میزان براده‌برداری از یک عملگر پیزو الکتریک استفاده می‌شود پاسخ زمانی سامانه بسیار سریع است. همچنین در این ساز و کار، میزان براده برداری مستقیماً با تغییر ضخامت لایه پیزو الکتریک و بدون واسطه کنترل می‌شود. با توجه به این موضوع دیگر نیازی به کنترل سروموتورهای ماشین ابزار نیست که در نتیجه سادگی و قابلیت اعتماد به اندازه قابل توجهی افزایش می‌یابد.



شکل ۷- تغییرات ولتاژ کنترل بر حسب تغییرات تنش نرمال



(الف)



(ب)

شکل ۸- الف) تغییرات تنش نرمال در شرایط کنترل نشده و کنترل شده در حسب تغییرات جابجایی میز کار. ب) تغییرات ولتاژ کنترل برای دو مدل شماره ۱ و مدل شماره ۲

1. Micro-endmilling
2. Cutters
3. Chip Clogging
4. Contact Analysis
5. Guideway
6. Rail
7. Table
8. Interface layer
9. Sensor
10. Actuator
11. Guideway
12. Actuator II
13. Elastomic layer
14. Fixe

شرکت رهآوران معمار سپاهان ۰۳۱۱-۲۲۰۴۷۷۰-۲
دستگاههای برقی مارپیچ کلاچی
کتاب علمی
تهیه، توزیع و فروش کلیه نشریات علمی و فنی کشور
تلفن: ۲۲۰۴۷۷۰-۲

نخستین مجله تخصصی مکاترونیک

ابزار دقیق

ISSN 1735 - 3939

شماره پیاپی: ۱۴ • بها: ۱۰۰۰۰ ریال

مجله‌ای درباره کنترل ابزارهای هیدرولیک، پنوماتیک، مکانیک، الکترونیک، الکتریک و کاربرد صنعتی آنها

مقالات کاربردی - صنعتی

ویژه نامه

پتروشیمی

کنکاش .....
مدیریت .....
کار آفرینان .....
پتروشیمی .....
نیروگاه .....
فولاد .....
فناوری اطلاعات
حمل‌ونقل هوشمند
ساخت و تولید ....
ساختمان و تأسیسات
رباتیک .....
نگهداری و تعمیرات
بازرسی، ایمنی و حفاظت
مهندسی پزشکی و درمان