



توسعه تکنولوژی برای روش های پیشرفته ماشین کاری با استفاده از سیستم های خبره

مرتضی صادق عمل نیک

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم، قم
amalnik@qom.ac.ir، ۳۷۱۶۱۴۶۶۱۱، صندوق پستی

چکیده

در این مقاله در باره طراحی و ساخت یک سیستم هوشمند جهت انتقال و توسعه تکنولوژی جهت فرایندهای پیچیده و مدرن طراحی و ساخت و تولید بحث و بررسی می شود و یک مثال از سیستم هایی که توسط نویسنده طراحی و ساخته شده و اطلاعاتی که در اختیار مهندس طراح و مهندس تولید جهت بهینه کردن طراحی و ساخت قرار می دهد توضیح داده می شود. ثانیاً سیستم این قابلیت را دارد که کلیه فرایندهای فوق الذکر را ایجاد و زمان و هزینه ماشین کاری و پیشروی ابزار را محاسبه نماید و اطلاعات بسیار مفیدی برای بهینه کردن طراحی و ساخت و تولید در اختیار طراح یا مهندس ساخت و تولید قرار دهد. از این سیستم می توان به عنوان یک مشاور و آموزش دهنده برای مهندسان و افراد تازه کار استفاده نمود و انتقال دانش و تکنولوژی تولید قطعات مختلف را با هریک از فرایندهای فوق الذکر به سرعت و به آسانی و بدون هیچ گونه هزینه انجام داد. در این مقاله درباره طراحی و توسعه چنین سیستم خبره ای بحث می شود و برای هر یک از فیچرهای طراحی تمامی الترناتیوهای ساخت در نظر گرفته و زمان و هزینه ماشین کاری و نرخ پیشروی ابزار محاسبه می شود و با مقدار تجربی مقایسه می شود.

کلید واژگان: سیستم خبره، بهینه سازی، ماشین کاری، الکتروشیمیایی

Development of Technology for Advanced Method of Machining by Using Expert System

Morteza Sadegh Amalnik

Department of Mechanical Engineering, University of Qom, Qom, I.R.Iran
P.O.B. 3716146611, Qom, Iran, amalnik@qom.ac.ir

ABSTRACT

In this paper, an expert system is developed for technology transfer and development in the process of design and manufacturing complex parts. The expert system evaluates machining time, cost and manufacturability of each design feature and offers useful information and advises the designers for optimum design. It also gives useful information to manufacturing engineer for selecting optimum machine parameters. This type of expert system can be developed as a consultancy system for complex parts which can be machined by advanced machining methods.

Keywords: Electrochemical, Expert System, Machining, Optimization.

۱- مقدمه

مصنوعی در برنامه ریزی استراتژیک انتخاب بهینه فرایندهای ماشین کاری را از میان بسیاری از فرایندهای کاندید شده مشخص نموده است. در این مقاله اطلاعات و دانش مربوط به تعدادی از روش های ماشین کاری در پایگاه دانش ذخیره شده است [۴]. میل و همکاری تکنیک برنامه ریزی جبرتیو براساس مدل ها و اشکال هندسی جنریک را برای ترتیب عملیات ماشین کاری هوشمند مشخص شده است [۵]. خیری یک روش ماشین کاری را از میان خانواده فرایندهای غیرسنتی انتخاب و تاکید بیشتر بر استفاده از برنامه نویسی به زبان پرولوگ نموده است [۶]. فنتون و گائون سیستم هوشمندی جهت انتخاب مواد برای عملیات برش کاری فلزات ارائه نمودند [۷]. کاربرد سیستم های پایگاه دانش یا سیستم های خبره جهت هدایت در انتخاب شرایط ماشین کاری بر ای روش های ماشین کاری سنتی محدود می باشد [۹، ۸]. این سیستم ها در زمینه های عیب یابی و تشخیص عیوب موفقیت آمیز بوده است [۱۰]. پایگاه های اطلاعاتی و سیستم های هوشمندی هم اکنون برای انتخاب مواد وجود دارد [۱۱]. عمل نیک و مک گیخ سیستم هوشمندی جهت ارزیابی طراحی از نظر قابلیت ساخت به روش ماشین کاری الکتروشیمیایی طراحی و توسعه داده است. در این سیستم از یک طرف برای هر شکل هندسی طراحی شده زمان و

در فرایند طراحی هر قطعه بعد از طراحی هر شکل هندسی، نیاز به ماشین کاری می باشد. برای ارزیابی طراحی از نظر زمان و هزینه ماشین کاری و قابلیت ساخت و کیفیت نیاز به سیستم هوشمندی می باشد که بتواند این کار را انجام دهد. در بسیاری از فرایندهای پیشرفته، مانند ماشین کاری غیر سنتی مانند ماشین کاری الکتروشیمیایی و یا ماشین کاری از طریق تخلیه الکتریکی و غیره استفاده می شود. از این فرایندها برای ماشین کاری انواع قطعات پیچیده استفاده می شود. جاذبه فرایند ماشین کاری با الکتروشیمیایی این است که نرخ باربرداری بستگی به سختی قطعه ندارد. و اتصال بین ابزار و قطعه کار وجود ندارد. بنابراین ابزار می تواند برخلاف روش های سنتی خیلی نرم تر از قطعه کار باشد [۱]. کاربرد جدید الکتروشیمیایی شامل اره کاری، سنگ زنی، الکتروشیمیایی قطعات کوچک می باشد (میکرو ماشینینگ) که توجه زیادی را به خود جلب نموده است [۲]. ترکیبی از ماشین کاری به روش الکتروشیمیایی و تخلیه الکتریکی موجب افزایش سرعت ماشین کاری می شود [۳، ۴]. مفهوم بکارگیری و استفاده از سیستم های هوشمند جهت انتخاب و بهینه کردن متغیرهای فرایندهای ماشین کاری در منابع [۵، ۶] نشان داده شده است. هون اصول بکارگیری تکنیک های هوش

Please cite this article using:

M. Sadegh Amalnik, Development of Technology for Advanced Method of Machining by Using Expert System, Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference, Vol. 15, No. 13, pp. 431-435, 2015 (in Persian فارسی)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

کردن منبع و کتاب‌ها و مقالات علمی می‌باشند. اطلاعات این‌طور نیست همیشه آماده و راحت بدست آید زیرا حجم زیادی از دانش فنی براساس تجربیات سال‌های زیادی حاصل شده است که بطور مناسب ذخیره نشده است و یا به آسانی در بانک‌های اطلاعاتی و مدارک قابل دسترسی نمی‌باشند. آموزش دادن نیروهای انسانی و جایگزین کردن آن‌ها به جای نیروهای متخصص و با تجربه در کوتاه‌مدت کار بسیار مشکل و تقریباً امکان‌پذیر نیست. در چنین شرایطی اگر دانش مناسب از منبع قابل اطمینانی موجود نباشد، کار و قطعات در دست ماشین‌کاری با تاخیر انجام می‌شود و قطعات ماشین‌کاری شده از نظر زمان و هزینه و مرغوبیت همراه با ریسک خواهد بود. و امکان آسیب دیدن ماشین و ابزار و قطعه‌کار افزایش خواهد یافت. جهت کاهش زمان و هزینه و افزایش کیفیت و بهره‌وری و کمک به طراح و برنامه‌ریزی فرایند ساخت قطعات بوسیله ماشین‌کاری الکتروشیمیایی و غیره نیاز به سیستم هوشمندی می‌باشد تا کلیه عوامل موثر در هزینه و کیفیت و بهره‌وری در ابتداء طراحی و ساخت و تولید در نظر گرفته شود.

در این مقاله برای هریک از فرایندهای فوق‌الذکر یک سیستم هوشمند طراحی و توسعه داده شده است. این سیستم‌ها به هم مرتبط شده و بطور الترناطیو ایجاد می‌شوند. به‌عنوان مثال در این مقاله یک سیستم هوشمند برای بهینه کردن پارامترهای طراحی و ساخت به روش الکتروشیمیایی طراحی و ساخته شده است. این سیستم خبره می‌تواند به‌عنوان یک سیستم مشاوره‌ای دانش عمل کند. از یک‌طرف مهندس طراح را جهت انتخاب بهینه متغیرهای طراحی هدایت می‌کند و توصیه‌های لازم را جهت بهینه کردن طراحی ارائه می‌دهد و از طرف دیگر مهندسين فرایند ساخت را جهت انتخاب مناسب متغیرهای ماشین‌کاری برای رسیدن به اهداف مشخص شده هدایت می‌کند.

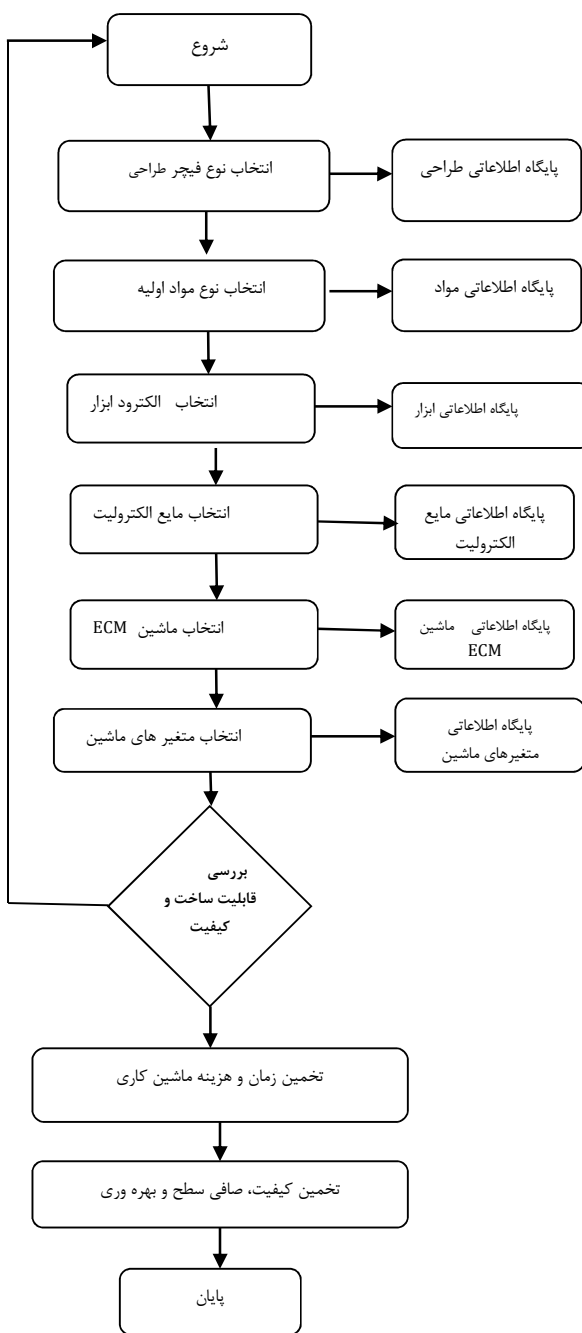
در سه دهه گذشته تلاش‌های زیادی جهت طراحی و توسعه سیستم‌های خبره و یا سیستم‌های پایگاه دانش انجام شده است و در زمینه‌های مختلفی از جمله در زمینه‌های طراحی و ساخت و تولید، ارزیابی قابلیت ساخت طراحی از نظر زمان و هزینه و کیفیت ساخت، بهینه‌سازی، تشخیص عیوب، انتخاب ابزار، انتخاب ماشین، انتخاب مواد و غیره، سیستم‌های مختلفی طراحی، ساخته و تجاری شده‌اند. در بسیاری از موارد طراحی و ساخت چنین سیستم‌هایی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشد. در ساخت محصولاتی مانند موتورهای هواپیما که نیاز به عملیات ماشین‌کاری زیادی می‌باشد، می‌توان از این سیستم‌ها جهت انتقال تکنولوژی و بهینه کردن متغیرهای طراحی، و ساخت، انتخاب بهینه ابزار، ماشین، مواد، و ترتیب عملیات ماشین‌کاری، کاهش ضایعات و بالا بردن ضریب اطمینان استفاده نمود.

در سیستم هوشمند طراحی و توسعه داده شده از پایگاه‌های اطلاعاتی مختلفی استفاده شده است که عبارتند از: ۱- پایگاه اطلاعاتی انتخاب مواد: از این پایگاه اطلاعاتی جهت انتخاب انواع مواد استفاده می‌شود. در این پایگاه کلیه ویژگی‌های مربوط به مواد مختلف مانند نام، جنس، و شماره یا کد استاندارد مواد سختی، صفتی، وزن مخصوص، وزن اتمی، تعداد الکترون‌های آخرین مدار، قیمت، مشخصات فیزیکی، شیمیایی، متالوژی و مکانیکی مواد آورده شده است. ۲- پایگاه انتخاب ابزار: در این پایگاه انواع ابزارهای مورد نیاز همراه با ویژگی‌ها و خصوصیات، اندازه قیمت و سایر ویژگی‌ها قرار داده شده است. ۳- پایگاه اطلاعاتی قید و بند و فیکسچرها: در این پایگاه انواع فیکسچرهای موجود همراه با مشخصات و ویژگی‌های آن‌ها ذخیره می‌شود. ۴- پایگاه اطلاعاتی ماشین‌ها: در این پایگاه اطلاعاتی انواع ماشین‌ها همراه با اندازه، قیمت، مشخصات و ویژگی‌های آن‌ها ذخیره می‌شود. ۵- پایگاه متغیرها و

هزینه ماشین‌کاری را محاسبه و اطلاعات لازم را جهت بهینه کردن طراحی در اختیار مهندس طراح قرار می‌دهد و از طرف دیگر متغیرهای ماشین‌کاری را انتخاب و توصیه‌های لازم را جهت انتخاب بهینه متغیرهای ماشین‌کاری در اختیار مهندسين ساخت و تولید قرار می‌دهد [۱۲]. عمل نیک و همکارانش سیستم هوشمندی جهت ارزیابی طراحی از نظر زمان و هزینه و قابلیت ساخت از طریق ماشین‌کاری وایر کات به روش ترکیبی از الکترو شیمیایی و تخلیه الکتریکی ارائه نموده است. در این سیستم برای هر شکل هندسی طراحی شده زمان و هزینه ماشین‌کاری محاسبه و اطلاعات لازم جهت بهینه کردن طراحی در اختیار طراح قرار می‌دهد و توصیه‌های لازم را جهت انتخاب بهینه پارامترهای ماشین‌کاری در اختیار مهندسين ساخت و تولید قرار می‌دهد [۱۳]. مونایری و همکارانش جهت بهینه کردن ماشین‌کاری میلینگ یک سیستم هوشمند شبکه عصبی طراحی و توسعه نموده است. در این مقاله یک سیستم یکپارچه توسعه محصول برای بهینه کردن ماشین‌کاری ارائه نموده است [۱۴]. عمل نیک و همکارانش سیستم هوشمندی جهت بهینه کردن طراحی و فرایند ساخت و برآورد زمان و هزینه برای ماشین تراش سی ان سی طراحی و آن‌را توسعه دادند [۱۵]. ونگ و تسای مدل‌های هوشمندی برای پیش بینی صافی سطح، نرخ ماشین‌کاری و خوردگی ابزار را برای ماشین‌کاری مواد مختلف از طریق ماشین‌کاری به روش تخلیه الکتریکی توسعه داده است [۱۶]. عمل نیک سیستم هوشمندی جهت ارزیابی طراحی از نظر زمان و هزینه و قابلیت ساخت از طریق ماشین‌کاری به روش التراسونیک ارائه نموده است. در این سیستم برای هر شکل هندسی طراحی شده زمان و هزینه ماشین‌کاری محاسبه و اطلاعات لازم جهت بهینه کردن طراحی محصول و فرایند ساخت در اختیار مهندس طراحی محصول و مهندس طراح فرایند قرار داده می‌شود [۱۷]. جهت اطلاعات بیشتر به مقالات [۱۸-۲۰] رجوع کنید. امروزه بسیاری از قطعات مکانیکی پیچیده مورد نیاز به عملیات ماشین‌کاری نیاز دارند و جهت ساخت و تولید آن از فرایندها و روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. بعنوان مثال برای ساخت پره توربین و یا پره‌های نازک کمپرسور با شکل دقیق و بازده بالا از ماشین‌کاری به روش الکتروشیمیایی استفاده می‌شود. در تولید پره توربین سرعت پیشروی ابزار ثابت است و شدت جریان در کل سطح قطعه کار زیاد است و از جریان‌هایی به بزرگی ۱۰۰ آمپر در سانتی متر مربع استفاده می‌شود. از این روش شکل‌دهی برای ساخت پره‌های توربین و کمپرسور و قطعات مشابه استفاده می‌شود.

۲- کاربرد سیستم هوشمند در انتقال تکنولوژی

در شرایطی که در فرایندهای الکتروشیمیایی و تخلیه الکتریکی و یا پرتوهای لیزر ماشین‌کاری در محیط دینامیک و پیچیده ای انجام می‌شود، هر تغییری که در هر لحظه در ویژگی‌های ابزار، قطعه‌کار، ماشین و متغیرهای ورودی در شرایط عملی بوجود می‌آید تاثیر مستقیمی بر ویژگی‌های ماشین‌کاری خواهد گذاشت. در چنین شرایطی اگر متخصص طراح فرایند خسته باشد و یا شرایط کاری مناسب نباشد و یا به هر دلیلی در شرایط عادی نباشد در این صورت امکان آن می‌رود که طراحی فرایند به صورت بهینه انجام نشود و عملیات ماشین‌کاری با مشکل روبرو شود. از طرف دیگر در صورتی که اتفاقی برای فرد متخصص پیش آید و یا به هر دلیل نتواند به کار خود ادامه دهد و یا استعفا دهد عملیات تولید بامشکل روبرو می‌شود. زیرا اکثر مهندسان و طراحان عمومی فرایند دارای اطلاعات محدودی در رابطه با متغیرها و پارامترهای ماشین‌کاری فرایندهایی مانند الکتروشیمیایی، تخلیه الکتریکی و غیره دارند و بدنبال متخصصین در این زمینه هستند و یا برای حل مشکل خود بدنبال پیدا



شکل ۱ فلوجارت سیستم خبره

تجربیهایی که از افراد متخصص دریافت شده و کتاب‌ها و مقالات علمی که در قالب قوانین و واقعیت‌ها در پایگاه دانش ریخته شده است خروجی‌های بسیاری می‌دهد که برای بهینه کردن پارامترهای طراحی و ساخت و تولید بسیار مهم می‌باشد. سیستم هوشمند برای سوراخ کردن یک قطعه آهنی اطلاعات زیر را به ما می‌دهد.

گرفتن اطلاعات مواد، از طریق پایگاه اطلاعاتی مواد، توسط سیستم هوشمند، ویژگی‌های ۷۲ مواد مختلف در آن ذخیره شده است. به‌عنوان مثال

پارامترهای ماشین‌کاری: در این پایگاه کلیه متغیرها و پارامترهای ماشین‌کاری ذخیره می‌شود. ۶- پایگاه اطلاعاتی مایع الکتروولیت؛ در این پایگاه اطلاعات مربوط به انواع مایع الکتروولیت ذخیره می‌شود. ۷- پایگاه اطلاعات طراحی: در این پایگاه اطلاعات هر یک از اشکال هندسی و فیچرهای طراحی ذخیره شده است. از این پایگاه معمولاً زمانی استفاده می‌شود که ارتباط متقابل و اینترفیسی بین طراحی محصول و طراحی فرایند ساخت وجود نداشته باشد. در شکل ۱ فلوجارت سیستم هوشمند به همراه پایگاه‌های اطلاعاتی آن نشان داده شده است. در شکل ۲ ساختار و خروجی‌های سیستم هوشمند نشان داده شده است.

۳- ارزیابی تجربی سیستم هوشمند

انواع اشکال هندسی را سیستم هوشمند می‌تواند قابلیت ساخت آن‌را از نظر زمان و هزینه ارزیابی نماید و توصیه‌های لازم را جهت انتخاب بهینه متغیرهای طراحی و ساخت و تولید به طراح و مهندس ساخت و تولید ارائه نماید. برای اطمینان از خروجی سیستم هوشمند هزینه و زمان و نرخ پیشروی ماشین‌کاری یک حفره استوانه‌ای توسط سیستم هوشمند و ماشین‌کاری تجربی آن باهم مقایسه شده است. مقایسه زیر که در جدول ۱ مشخص شده است نشان می‌دهد که نتایج سیستم هوشمند به علت انتخاب بهتر متغیرهای ماشین‌کاری بهتر از نتایج سیستم تجربی می‌باشد. و طراح در کمتر از ۳۰ ثانیه می‌تواند قابلیت ساخت و هزینه و زمان هر شکل هندسی که طراحی می‌کند از طریق سیستم هوشمند دریافت نماید. پایگاه اطلاعاتی دانش توضیح داده شده در بالا با نتیجه تجربی سوراخ‌کاری مقایسه شده و نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است. در این آزمایش از ماشین الکتروشیمیایی ۵۰۰ آمپری و الکتروولیت نیترات سدیم ۳۰ درصدی با نرخ جریان الکتروولیت ۳۰ لیتر در دقیقه جهت انجام سوراخ‌کاری استفاده شده است. ابزار الکتروود از جنس مس با قطر ۱۰ میلی‌متر استفاده شده است. در تجربه عملی ماشین‌کاری باروش الکتروشیمیایی، برآورد زمان و هزینه نرخ پیشروی و پارامترهای دیگر بسیار مشکل است. در مقابل سیستم هوشمند می‌تواند این برآوردها را ظرف کمتر از ۳۰ ثانیه محاسبه و توصیه‌های لازم را جهت بهینه کردن طراحی ارائه نماید. همچنین می‌تواند توصیه‌های لازم را به مهندس طراح فرایند و مهندسین ساخت و تولید ارائه نماید. بعضی از خروجی‌های سیستم هوشمند الکتروشیمیایی طراحی شده برای سوراخ‌کاری سوراخی به قطر و عمق ۱۰ میلی‌متر در زیر نشان داده شده است.

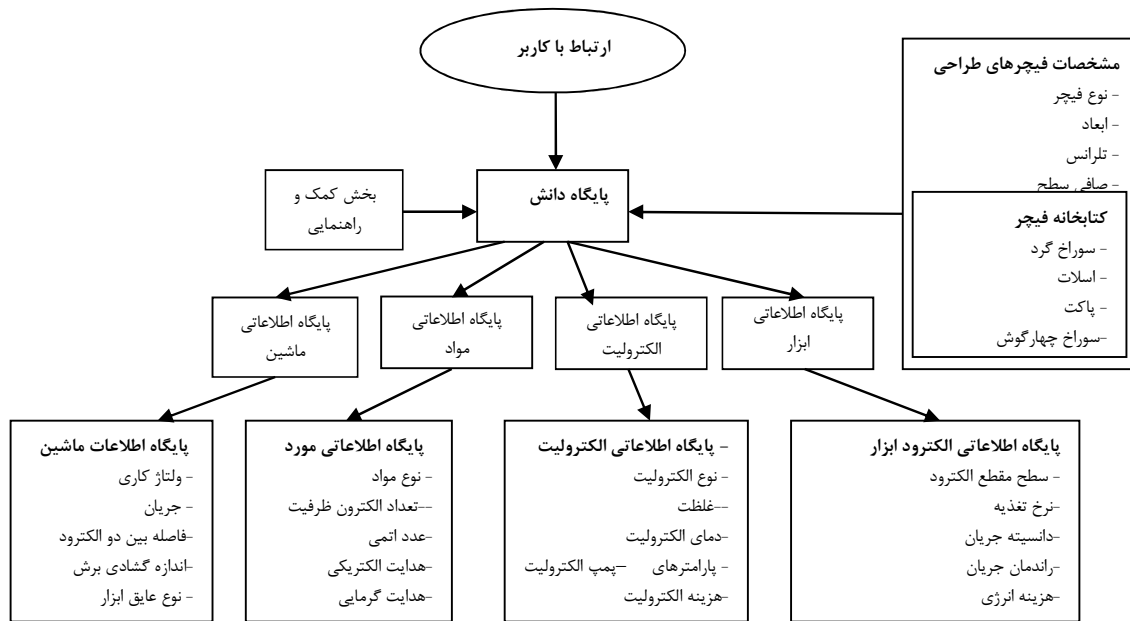
۴- خروجی سیستم هوشمند

سیستم هوشمند با استفاده از پایگاه‌های اطلاعاتی و محاسباتی و با استفاده از

جدول ۱ نتایج مقایسه سیستم هوشمند با نتایج تجربی ماشین‌کاری به روش

الکتروشیمیایی

نوع فیچر	قطر (میلی متر)	روش استفاده	زمان ماشین‌کاری (دقیقه)	نرخ پیشروی (میلی متر در دقیقه)	هزینه ماشین‌کاری (پاند)
سوراخ ۱	۱۰	روش	۷/۵۰	۱/۳۳	۱/۹۱
سوراخ ۲	۱۰	تجربی	۷/۲۵	۱/۳۷	۱/۸۴
سوراخ ۳	۱۰		۷/۷۴	۱/۲۹	۱/۹۶
سوراخ ۱	۱۰	روش	۶/۷۷	۱/۴۸	۱/۷۲
سوراخ ۲	۱۰	هوشمند	۶/۷۷	۱/۴۸	۱/۷۲
سوراخ ۳	۱۰		۶/۷۷	۱/۴۸	۱/۷۲



شکل ۲ ساختار و خروجی های سیستم هوشمند طراحی شده

ویژگی‌های مواد انتخاب شده در سیستم خبره عبارتند از:

- Electrode. internal hole area = 0.20
- Electrode. percentage tool wear = 0.0
- Machine. gap between two electrodes = 0.3
- Machine. range of side overcuts mm = 0.3
- Machine. working voltage = 15.0
- Machine. maximum current = 175.0
- Machine. gap between two electrodes= 0.3

تعیین پارامترها و زمان و هزینه ماشین کاری توسط سیستم هوشمند

- Material. type=Cast Iron
- Material. valence=2.0
- Material density = 7.86
- Material. removal rate=17.39
- Material. atomic weight=55.85
- Material. removal rates at 1000 A per cm min=2.21
- Material. working voltage=15.0
- Material. maximum current= 250.0
- Electrode. type=Copper
- Electrode. electrical resistivity =1.71
- Electrode. electrode cost = medium
- Electrode. strength = 400.0
- Electrode. elasticity = 121.0
- Electrode. thermal conductivity =0.93
- Electrode. melting point = 1082.0
- Electrode. spark resistance = poor
- Electrode. reparability = fair
- Electrolyte. composition= NaNo3
- Electrolyte. concentrations =240 gram per litre
- Electrolyte. temperatures =38 degree of centigrade
- Electrolyte. Flow rate range = 0.95 litre per m per 100A
- Electrolyte. Velocity range = 1500 to 3000 m per min
- Electrolyte. Inlet pressure range =137 to 2060 kpa
- Electrolyte. outlet pressure range = 0 to 310 kpa
- Feature. type = circular hole
- Hole. diameter = 10.0 mm
- Hole. depth = 10.0 mm
- Hole. surface finish = 10 micrometer

پیشنهاد و انتخاب شرایط ماشین کاری مناسب در سیستم هوشمند

- Hole. dimensional tolerance +, - =50
- Hole overall cut = 0.13
- Hole. taper =0.01
- Machine. gap between two electrodes = 0.3
- Machine. range of side over cuts mm = 0.3
- Machine. working voltage = 15.0
- Machine. current density = 297.09
- Machine. current efficiency = 0.3
- Machine. maximum current = 175.0
- Machine. feed rate =1.55

- Material. type=Cast Iron
- Material. valence=2.0
- Material. removal rate=17.39
- Material. atomic weight=55.85
- Material. Rem. rates at 1000 A per cm min=2.21
- Material. working voltage=15.0
- Material. maximum current= 250.0

گرفتن اطلاعات الکترولیت از طریق پایگاه اطلاعاتی الکترولیت، توسط

سیستم هوشمند که ویژگی‌های مواد مختلف الکترولیت در آن ذخیره شده است. این ویژگی‌ها عبارتند از:

- Electrolyte. composition= NaNo3
- Electrolyte. concentrations =240 gram per litre
- Electrolyte. temperatures =38 degree of centigrade
- Electrolyte. flow rate = 0.95 litre per m per 100A
- Electrolyte. velocity = 1500 to 3000 m per min
- Electrolyte. inlet pressure range =137 to 2060 kpa
- Electrolyte. outlet pressure range = 0 to 310 kpa

گرفتن اطلاعات ابزار از طریق پایگاه اطلاعاتی ابزار، توسط سیستم هوشمند

که ویژگی‌های مواد ابزار مختلف در آن ذخیره شده است. این ویژگی‌ها عبارتند از:

- Electrode. type=Copper
- Electrode. electrical resistivity =1.71
- Electrode. electrode cost = medium
- Electrode. strength = 400.0
- Electrode. elasticity = 121.0
- Electrode. thermal conductivity =0.93
- Electrode. melting point = 1082.0
- Electrode. spark resistance = poor
- Electrode. reparability = fair

گرفتن اطلاعات از پایگاه اطلاعاتی ساخت توسط سیستم هوشمند:

- Feature. Type = circular hole
- Hole. diameter = 10.0 mm
- Hole. depth = 10.0 mm
- Hole. surface finish = 10 micrometer
- Hole. dimensional tolerance +, - =50
- Hole overall cut = 0.13
- Hole. taper =0.01
- Electrolyte. volume flow rate = 3000.0
- Electrode. insulation material type = epoxy
- Electrode. insulation thickness = 0.13 mm
- Electrode. internal hole type = circular hole

۶- مراجع

- [1] J.A. McGeough, *Principles of electrochemical machining*, Chapman and Hall, London, 1974
- [2] I.M. Crichton, J.A. McGeough, W. Munro and C. White, Comparative studies of ecm, edm and ecam, *Journal of Precision Engineering, UK*, Vol 141, 1981, 155-160
- [3] T.H. Drake and J.A. McGeough, Aspects of drilling by electrochemical arc machining, *Proceeding of 2nd Machine Tool Design Research Conference*, Manchester Sept 1981, 361-369
- [4] Hon, L., Selection of Machining Processes by Expert Systems, *Workshop on Expert System in Manufacturing*, Nottingham University, 26-28 Sept. 1984
- [5] Mill, F., Alder, G., An NC Oriented and Feature Based CAPP System, 5th-Computer Aided Process Engineering Conference, Edinburgh 1989, pp 235-238
- [6] Khairy, A., A Knowledge Based System for the Optimum Selection of Machining Process, *Fourth International Conference On Machine Tool design & Control (PADAC-4)*, Alexandria University, december 1989, pp. 307-314
- [7] Fenton, R. and Gagnon, M., Computer aided material Selection for Metal cutting Operations, *Annals of the CIRP*, 1993, Volume 42, 1993, pp. 565-568.
- [8] Pham, D. and Pham, P., *Expert system: A Review*, in D.T. Pham (Ed.) Expert Systems in Engineering, IFS Pub, Kempston, U.K., 1988
- [9] Hays, C., Automated Process System for Prismatic Parts, in A. Kusaik (Ed.), Expert Systems: Strategies and Solutions, in Manufacturing Design and Planning, Society of Manufacturing Engineering, Dearborn, Michigan 1988, pp 151-183
- [10] Oldham, K. et al, Practical development of Knowledge Based Systems in Manufacturing, *Proceed. Of the 30th International. MATADOR Conference*, Manchester, 31st March-1st April 1993, pp 331-344.
- [11] Stammers, M., Material Knowledge for Engineering, *Metals Material*, 6, 1990.
- [12] Sadeh Amalnik Morteza and J.A. McGeough, An intelligent system for Manufacturability Evaluation of Design for Electrochemical Machining, *Journal of Material Processing Technology*, Vol.61, pp 130-139
- [13] Sadeh Amalnik Morteza, H. El. Hofy and J.A. McGeough, An Intelligent System for Manufacturability Evaluation of Design for Wire-Electroerosion Dissolution Machining, *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 79, 1998, pp 155-162
- [14] El-Mounayri, H., Kishawy, H., and Briceno, J., Optimization of CNC ball end milling: a neural network-based model, *Journal Material Processing Technology*, 2004, pp 1-13
- [15] Sadeh amalnik, Morteza, Intelligent Knowledge Based System Approach for Ultrasonic Machining in Computer Base Concurrent Engineering Environment, *International Journal of Artificial Intelligent and Mechatronics*. Volume 3, Issue 2, 2014
- [16] Wang, P.J. and Tsai, K.M., Semi-empirical model on work removal and tool wear in electrical discharge machining, *Journal of Material Processing Technology*, 114(2001), pp 1-17
- [17] Sadeh amalnik, Morteza, Optimization of Design and Manufacturing Processes for Wire-Electrochemical Spark Machining by using an Expert system, *International Journal of Artificial Intelligent and Mechatronics*. Volume 3, Issue 2, 2014
- [18] Sadeh amalnik, Morteza, M.R.Najafi, Development of Design and Manufacturing Support Tool for Optimization of Ultrasonic Machining (USM) and Rotary USM, *Journal of Modern Processes in Manufacturing and Production*, 2015.
- [19] Sadeh amalnik, Morteza, Moayyedi, M.K. and Mirzaei, M. Expert System Approach for CAD/CAM Integration & Optimization Based on International Standard (STEP) and Computer Based Concurrent Engineering, *International Journal of Computer Technology*, 2015
- [20] Sadeh amalnik, Morteza, Intelligent Knowledge Based System Approach for Optimization of Design and Manufacturing Processes for Wire-Electrical Discharge Machining, *Journal of Modern Processes in Manufacturing and Production*, 2015.

- Machine. power rate = 2.63
- Machine. energy unit cost = 4.0
- Machine. ECM machining time = 6.77
- Machine. ECM energy cost = 0.01
- Machine. penetration rate = 1.48

برآورد مجموعه زمان و هزینه ماشین‌کاری و هزینه‌های سربار و نیروی انسانی توسط سیستم هوشمند

- Machine. ECM capital cost = 30000
- Machine. ECM depreciation hour cost = 1.71
- Machine. ECM overhead hour cost = 3.0
- Machine. ECM labour minute cost = 0.17
- Machine. ECM machining maintenance time = 1.02
- Electrolyte. total cost of salt for 500 gallon 20 % = 50.0
- Machine. ECM total machining cost = 1.72 British pond
- Machine. ECM depreciation cost per part
- Electrolyte. cost per part = 0.01
- Machine. ECM energy cost = 0.01
- Machine. ECM machining time = 6.77
- Machine. ECM depreciation cost per part = 0.25
- Machine. ECM total labour cost per part = 1.46
- Machine. ECM total machining time = 8.59
- Machine. ECM total machining cost = 1.72
- Machine. ECM batch size = 1000.0

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله توضیح داده شد که یکی از روش‌هایی که جهت انتقال تکنولوژی روش‌های پیچیده و پیشرفته ماشین‌کاری می‌توان از آن استفاده نمود بکارگیری از سیستم‌های هوشمند است. در شرایطی که از فرایندهای پیچیده ای مانند الکتروشیمیایی، تخلیه الکتریکی و غیره استفاده می‌شود، هر تغییری که در هر لحظه در ویژگی‌های ابزار، قطعه‌کار و متغیرهای ورودی در شرایط عملی به وجود می‌آید تاثیر مستقیمی بر ویژگی‌های ماشین‌کاری خواهد گذاشت. همچنین توضیح داده شد اگر متخصص طراح فرایند خسته باشد و یا شرایط کاری مناسب نباشد و یا به هر دلیلی طراح فرایند در شرایط عادی نباشد در این صورت امکان آن می‌رود که طراحی فرایند به صورت بهینه انجام نشود و عملیات ماشین‌کاری با مشکل روبرو شود. از طرف دیگر در صورتی که اتفاقی برای فرد متخصص پیش آید و یا به هر دلیل نتواند به کار خود ادامه دهد عملیات تولید با مشکل روبرو می‌شود. در صورت ایجاد چنین شرایطی، به دنبال متخصصین در این زمینه هستند و یا برای حل مشکل خود بدنبال پیدا کردن منبع و کتاب‌ها و مقالات علمی می‌باشند. اطلاعات این‌طور نیست که همیشه از طریق مقالات و کتاب‌های مرجع آماده و راحت به دست آید، زیرا حجم زیادی از دانش فنی، براساس تجربیات سال‌های طولانی حاصل می‌شود که به‌طور مناسب در خارج از ذهن طراح فرایند مستند و ذخیره نشده است و یا به آسانی در بانک‌های اطلاعاتی و مدارک قابل دستیابی نمی‌باشند. آموزش دادن نیروهای انسانی و جایگزین کردن آن‌ها به جای نیروهای متخصص و با تجربه در کوتاه‌مدت کار بسیار مشکل و تقریباً امکان‌پذیر نیست. در چنین شرایطی اگر دانش مناسب از منبع قابل اطمینانی موجود نباشد، طراحی فرایند به‌طور بهینه انجام نمی‌شود و کار و قطعات در دست ماشین‌کاری با تاخیر انجام می‌شود و قطعات ماشین‌کاری شده از نظر زمان و هزینه و مرغوبیت همراه با ریسک خواهد بود. و امکان آسیب دیدن ماشین و ابزار و قطعه‌کار افزایش خواهد یافت. جهت کاهش زمان و هزینه و افزایش کیفیت و بهره‌وری نیاز به سیستم هوشمندی می‌باشد تا کلیه عوامل موثر در هزینه و کیفیت و بهره‌وری در ابتداء طراحی در نظر گرفته شود و توصیه‌های لازم جهت بهینه کردن طراحی به طراح ارائه شود و از طرف دیگر پارامترهای ماشین‌کاری انتخاب و توصیه‌های لازم جهت انتخاب پارامترهای ماشین‌کاری ارائه شود.