مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹۴، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ۴۳۶-۴۳۹

مجموعه مقالات کنفرانس ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ و ۱۴ آبان ۱۳۹۴

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

طراحی و ساخت ماشین‌ابزاری برای انجام پرینت سه‌بعدی

احسان سوری[۱*]، علی‌اصغر چنگ‌مریم[۲]، سید عباس حسینی[۳]، بهنام کشاورزیان[۴]

۱- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه اراک، اراک
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه اراک، اراک
۳- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، شرکت پایستار اندیش الوند، بروجرد
۴- مربی، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد، بروجرد
* اراک، صندوق پستی ۸۷۹-۳۸۱۵۶، e-soury@araku.ac.ir

چکیده

امروزه با افزایش توان محاسباتی سیستم‌های کامپیوتری و همچنین ظهور سیستم‌های مختلف نرم‌افزاری برای طراحی و تولید و بالا گرفتن رقابت در بین تولیدکنندگان بازار صنعتی جهان، نیاز به کاهش نیروی کار ماهر و افزایش کیفیت محصولات و کم کردن هزینه‌ها، تولیدکنندگان محصولات صنعتی را وادار به استفاده از سیستم‌های CAD/CAM جهت خودکارسازی فعالیت‌های طراحی و تولید نموده، تا زمان و هزینه‌ی تولید محصولات را کاهش دهند. از طرفی نیاز به ساخت یک مدل قابل لمس از طراحی‌های انجام شده، منجر به تولید پرینترهای سه بعدی و یک روش تولید بدون براده‌برداری شد. این دستگاه باعث شده است فرآیند مدل‌سازی بسیار سریع و تقریبا بدون خطا باشد. پرینتر سه بعدی براساس سیستم‌های CAD/CAM کار می‌کند. در این مقاله مراحل ساخت ماشین‌ابزاری جهت انجام پرینت سه بعدی ارائه شده است. این پرینتر قابلیت تولید قطعات با ابعاد ۲۵×۲۵×۴۰ سانتی‌متر را دارد. جنس مواد مصرفی آن از پلیمرهایی مثل ABS و یا PLA می‌باشد. با ساخت نمونه‌ای از این پرینتر و آزمون آن، روش طراحی ارائه شده مورد تایید قرار گرفت.

کلید واژگان: طراحی و ساخت، ماشین‌های ابزار، ساخت افزودنی، سیستم‌های CAD/CAM ، پرینتر سه بعدی

Design and manufacture a machine tool for three-dimensional printing

Ehsan Soury[1*], AliAsqar ChangMaryam [1], Seyed Abbas Hosseini[2], Behnam Keshavarzian[3]

1- Department of Engineering, Arak University, Arak, Iran
2- Payestar Andish Alvand Company, Borujerd, Iran
3- Islamic Azad University Borujerd Branch, Borujerd, Iran
* P.O.B. 38156-879, Arak, Iran, e-soury@araku.ac.ir

ABSTRACT

Today, by increasing the computing power of computer systems and appearance of various software systems for design and production as well as increasing competition between producers in the industrial market, the need to reduce the skilled workers and increase product quality and reduce costs, the producers of industrial are prompted to use the CAD/CAM systems for automating design and production activities and to reduce the time and cost of production. In the other hand, the need to build a palpable model of design leads to the emerging of three-dimensional printers that is a non-material removal method of production. This system makes a very fast modeling process almost without error. Three-dimensional printers work based on CAD/CAM systems. In this paper, the process of making a machine tool for three-dimensional printing is presented. The printer is capable of producing parts with dimensions of 25×25×40 cm. The used materials are polymers like ABS or PLA. The proposed design was approved by making a sample of this printer and testing the machine.

Keywords: Additive Manufacturing, CAD/CAM systems, Design and Manufacture, Machine Tool, Three-dimensional Printers.

۱- مقدمه

فرآیند چاپ سه بعدی، فرآیندی است که کاربر رایانه را قادر به ساخت طرح موجود در سیستم می‌کند. در حال حاضر چندین روش و تکنولوژی برای ساخت قطعه سه بعدی وجود دارد که هر کدام دارای مزایا و معایب منحصر به خود هستند. از آن‌جایی که ساخت قطعات پیچیده توسط دستگاه‌های CNC با مشکلاتی از قبیل محدودیت حرکت محورها و غیره بوده که امکان ساخت قسمت‌های پیچیده و درونی قطعات را ندارند تکنولوژی تولید قطعات به روش لایه به لایه می‌تواند جایگزینی مناسب برای ساخت قطعات با هر نوع پیچیدگی باشد [۱]. برخی از پژوهش های انجام شده اخیر در این زمینه در ادامه فهرست شده است.

در سال ۲۰۰۹ سمیر کومار پاندا و همکاران در موسسه ملی تکنولوژی هندوستان [۲] به بررسی تاثیر پنج پارامتر ضخامت لایه، جهت‌گیری لایه‌ها، زاویه ریزش ماده مذاب، قطر فیلامنت مذاب و فاصله هوایی بین نازل و قطعه کار در روش FDM بر خواص قطعات تولیدی مثل کیفیت سطح، استحکام و مقاومت به ضربه پرداختند و در نهایت با استفاده از روش باکتریال فورجینگ ترکیب تئوری پارامترها و تنظیمات موردنیاز برای دست‌یابی به یک قطعه با خواص مناسب پیشنهاد دادند.

در آگوست ۲۰۱۲ میلادی جرج میرلس و همکارانش از دانشگاه تگزاس ایالات متحده امریکا [۳] در مقاله‌ای در مورد روش FDM با مواد مصرفی فلزی و پارامترهای بهینه فرآیند و کاربرد قطعات تولید شده به این روش اطلاعاتی ارائه دادند. آنها در این پژوهش از آلیاژ Bi58Sn42 استفاده کردند.

در سال ۲۰۱۲ لادمیلا نواکوا و ایوان کوریک [۴] در مورد مواد متداول و پیشرفته مورد استفاده در روش‌های مختلف FDM تحقیق کردند و با ذکر خصوصیات مواد مختلف در این روش به جای استفاده از مواد پلیمری متداول

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

E. Soury, A.A ChangMaryam , S.A. Hosseini, B. Keshavarzian, Design and manufacture a machine tool for three-dimensional printing, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 436-439, 2015 (in Persian فارسی)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.75.5]

استفاده از مواد جدیدی همچون سیلیکون نیترات، PZT، آلومینیوم اکسید، فولاد زنگ نزن و الکتروسرامیک‌ها را در کاربردهای خاص FDM پیشنهاد دادند.

روش‌های متعدد و گوناگونی جهت پرینت ۳ بعدی تاکنون ابداع و بکارگیری شده است که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از استریولیتوگرافی یا SLA (تاباندن نور به رزین حساس به نور و پخت نهایی و جدا کردن تکیه‌گاه‌ها و اضافات)، تف جوشی لیزری یا SLS (پیوند دادن یا جوش کردن ذرات پودری به یکدیگر با استفاده از لیزر)، پرینتر سه بعدی (چسباندن ذرات پودر با استفاده از چسب در هر مقطع عرضی و در صورت نیاز پخت نهایی) و روش FDM که در این روش با استفاده از یک نازل شبیه به اکسترودر فیلامنت مواد مصرفی که اغلب از نوع مواد پلاستیکی از جمله ABS و PLA می‌باشند با گرم کردن و به شکل خمیری درآوردن فیلامنت مواد پلاستیکی سعی می‌شود که لایه‌ها با حرکت و کنترل حرکت هد نازل در سه محور با ایجاد قطعه از پایین‌ترین لایه تا بالاترین لایه کل قطعه را ایجاد نمایند. مهم‌ترین مزایای روش FDM عبارتند از:

- ساخت قطعات عملکردی؛
- حداقل اتلاف مواد؛
- جداشدن راحت تکیه‌گاه‌ها؛
- راحتی تغییر مواد.

هدف از انجام این کار پژوهشی طراحی و ساخت یک پرینتر سه بعدی آزمایشگاهی است که با استفاده از روش FDM و به کمک مواد پلیمری بتواند قطعات با ابعاد ۲۵×۲۵×۴۰ سانتی‌متر را تولید کند. در ادامه توضیحات کامل در مورد روش طراحی و ساخت ارائه شده است.

۲-طراحی و ساخت

۲-۱- طراحی مکانیزم‌های حرکتی

هنگامی که از پرینت سه بعدی صحبت می‌شود اولین مسئله‌ای که به ذهن می‌رسد چگونگی حرکت دادن هد نازل در سه محور و کنترل این حرکات است. مکانیزم‌های مختلفی جهت انجام این کار وجود دارد که عبارتند از:

- مکانیزم استفاده از لید اسکرو و بال اسکرو
- مکانیزم استفاده ازتسمه و پولی
- مکانیزم استفاده از سیستم چرخ شانه‌ای

در مکانیزم چرخ شانه‌ای به دلیل وجود لقی در برگشت چرخ رو شانه نمی‌توان به دقت‌های بالا دست یافت. لذا جهت رفع این نقیصه در پرینتر ساخته شده موجود سعی شد که از دو مکانیزم دیگر یعنی بال اسکرو و تسمه پولی استفاده شود.

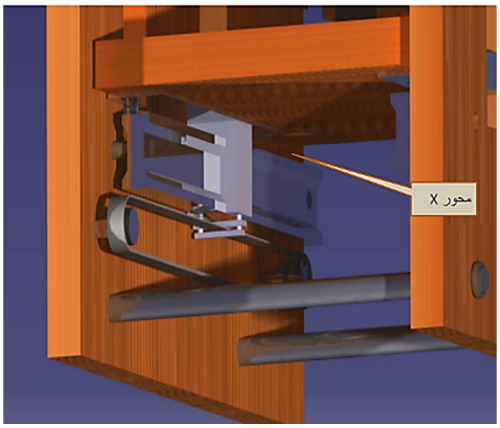
در دستگاه طراحی شده محور X (محوری که میز حرکت می‌کند) با استفاده از سیستم تسمه و پولی حرکت می‌کند، به این طریق که یک پولی به استپ موتور استفاده شده جهت حرکت دادن محور X وصل شده و یک پولی نیز به طریق هرزگرد در انتهای کورس محور X به استراکچر دستگاه متصل شده است و بین این دو پولی تسمه تایم نصب شده است و هنگام حرکت در این راستا با چرخش موتور به تعداد دور مورد نیاز (که با توجه به گام تسمه یا پولی تبدیل به مقدار حرکت خطی مورد نیاز می‌شود) پولی اول متصل به موتور می‌چرخد و با حرکت دادن تسمه و پولی هرزگرد باعث می‌شود که میز که به تسمه متصل است به مقدار دلخواه حرکت کند. لازم به یادآوری است که برای کنترل مستقیم بودن حرکت و تحمل وزن و بار وارد بر میز دستگاه در کنار استفاده از سیستم تسمه پولی برای حرکت از دو ال ام گاید و واگن استفاده شده است. مکانیزم حرکت در راستای محور X در شکل ۱ نشان داده شده است.

برای ایجاد حرکت در راستای محور Y (این محور با هد نازل دستگاه حرکت می‌کند) نیز از سیستم تسمه و پولی استفاده شده است که مکانیزم آن کاملا مشابه مکانیزمی است که برای محور X توضیح داده شد. مشخصات این مکانیزم نیز در شکل ۲ مشخص شده است.

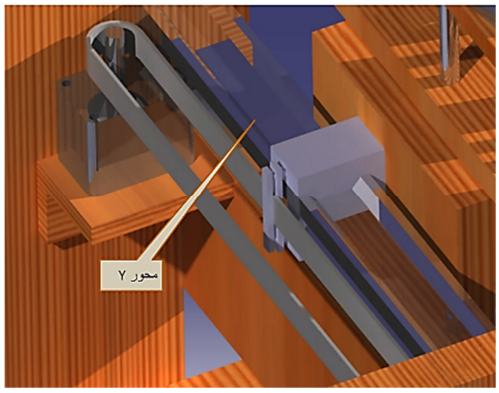
حرکت در راستای Z (شکل ۳) برای تشکیل لایه‌ها (مقاطع عرضی) را نیز هد نازل دستگاه انجام می‌دهد. به این طریق که در این راستا برای حرکت هد نازل از سیستم بال اسکرو استفاده شده است زیرا باید در این راستا بدون هیچگونه لقی حرکت کرده و با توقف حرکت موتور بلافاصله حرکت محور نیز متوقف شود. مکانیزم استفاده از بال اسکرو به این طریق است که شفت خروجی موتور با استفاده از یک کوپلینگ انعطاف‌پذیر به یک پیچ لید اسکرو وصل می‌شود و مهره بال اسکرو که روی پیچ قرار دارد با چرخش پیچ جابجا شده و ملحقات متصل به خود را در راستای محور Z جابجا می‌کند.

۲-۲- موتورهای محرک

برای حرکت موتورهای محرک محورها و نیز موتور نازل دستگاه از استپ موتور استفاده شده است. دلیل این کار این است که در سرعت‌ها و توان‌های پایین حرکتی استفاده از استپ موتور ارزان‌تر و کار کردن با آن ساده‌تر است. زیرا نیاز به انکدر و یا خط‌کش برای اندازه‌گیری دقت حرکت ندارد. در ساخت این دستگاه از چهار استپ موتور استفاده شده است.

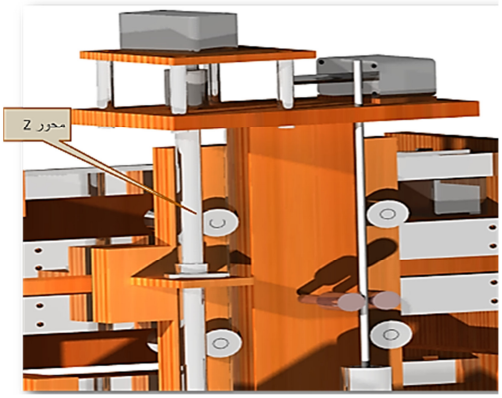


شکل ۱ مکانیزم حرکت در راستای X



شکل ۲ مکانیزم حرکت در راستای Y

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.75.5]



شکل ۳ مکانیزم حرکت در راستای Z

۲-۳- نازل و مواد مصرفی

نازل یکی از اصلی‌ترین قطعات این دستگاه است. ماده‌ای که قرار است پس از ذوب و انجماد به قطعه ی مورد نظر تبدیل شود از داخل نازل دستگاه عبور می‌کند. در نازل، قسمتی به نام هیتر وجود دارد. هیتر از المنت‌های حرارتی الکتریکی ساخته شده است که وقتی دستگاه شروع به کار می‌کند مواد اولیه پلیمری از جنس ABSو یا PLAبه صورت رشته وارد نازل و متعاقبا به المنت ها نزدیک می‌شود. سپس رشته‌ها ذوب می‌شوند و از نازل بیرون می‌آیند. در بدو بیرون آمدن مواد از نازل یک فن الکتریکی قرار دارد که ماده‌ی مورد نظر را منجمد کند. در نتیجه شکل مورد نظر سریعا تشکیل می‌شود.

۲-۴- صفحه گرم

مسئله مهمی که در ساخت این وسیله اهمیت دارد این است که مواد مذاب ریخته شده (مخصوصا اگر ماده استفاده شده ABS باشد) چون دارای حرارت زیادی هستند و روی صفحه ریخته می‌شوند به دلیل اختلاف دمای بالا با میز کار، دچار اعوجاج می‌شوند لذا برای برطرف کردن این عیب و جلوگیری از عدم دقت ابعادی از یک صفحه گرم قابل کنترل که دمای آن حین فرآیند حدود ۸۰ درجه سانتی‌گراد است استفاده می‌شود.

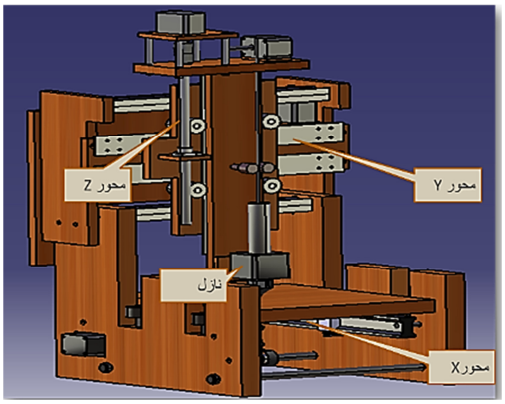
۲-۵- کنترلر

برای کنترل حرکت محورها با استفاده از یک برد کنترلی CNC سعی شده است با فرمان دادن به استپ موتورهای موجود، مقدار حرکت را با استفاده از گام تسمه یا گام حرکت بال اسکرو محاسبه کرده و حرکت در هر راستا با توجه به مدل CAD محصول مورد نظر انجام می‌شود و پس از لایه‌گذاری هر لایه با حرکت در راستاهای X و Y محور Z به اندازه ضخامت یک لایه بالا آمده و این کار تا تکمیل بالاترین لایه جسم ادامه می‌یابد. بنابراین لازم است ابتدا کد CNC از مدل قطعه در نرم‌افزارهایی مثل کتیا استخراج شود و فرمان حرکت آن از طریق این کنترلر که با پورت USB به رایانه متصل است به محورهای حرکتی ارسال شود.

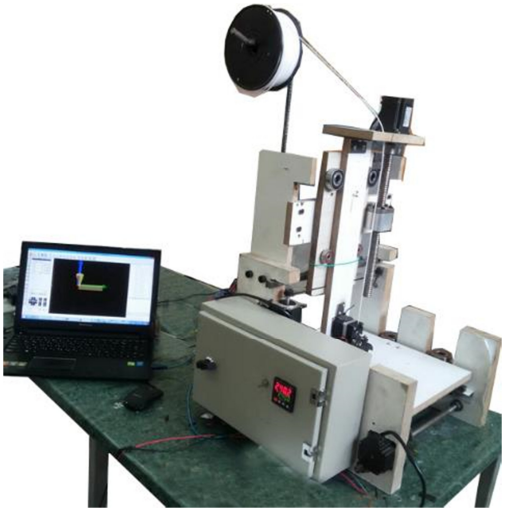
۳- نتایج و بحث

پس از طراحی کامل اجزای دستگاه پرینتر سه بعدی، مدل مونتاژی آن در نرم‌افزار کتیا طراحی شد که در شکل ۴ نمایش داده شده است.

به کمک مدل طراحی شده و استخراج نقشه‌های ساختی تک‌تک قطعات ساخته و کار مونتاژ دستگاه انجام شد. نمونه ساخته شده دستگاه در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴ مدل کلی دستگاه ساخته شده



شکل ۵ دستگاه پرینتر سه بعدی ساخته شده

در نهایت پس از ساخت دستگاه و برطرف کردن اشکالات جزیی در ساخت و برنامه نویسی برای آزمایش صحت عملکرد دستگاه یک نمونه اولیه تولید گردید. برای این منظور از ماده ABS استفاده گردید. در این حالت درجه حرارت نازل به ۲۴۰ درجه سلسیوس تنظیم گردید و دمای میز کار ۸۰ درجه سلسیوس بود. نتیجه اولین تولید توسط این دستگاه در شکل ۶ نمایش داده شده است.

به‌طورکلی می‌توان هدف از ساخت این دستگاه را به عنوان نمونه‌ی اولیه‌ای برای ساخت یک دستگاه صنعتی بزرگ‌تر برای ساخت قالب‌های بزرگ عنوان کرد. بنابراین در ساخت این دستگاه سعی شد از کنترلرهای کاملا صنعتی استفاده شود که با نمونه‌های موجود پرینترهای سه‌بعدی خانگی فعلی از لحاظ توان عملکردی و استحکام دستگاه کاملا متفاوت است. مورد دیگر که برای این دستگاه درنظر گرفته شده است میز کاری بزرگتری

شکل ۶ نمونه قطعه ساخته شده

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.75.5]

نسبت به نمونه‌های خانگی موجود است. سرعت کار محورهای دستگاه با توجه به صنعتی بودن قطعات به کار رفته بالاتر از موارد مشابه بود. به طوری که دستگاه‌های موجود با سرعت حدود ۲۰ میلی‌متر بر ثانیه کار می‌کنند در حالی که سرعت این دستگاه حدود ۱۰۰ میلی‌متر بر ثانیه به‌دست آمد. مورد دیگر استفاده از ترموکوبل‌های PT100 و نیز کنترل دمای PID برای اندازه‌گیری دقیق دمای نازل در این دستگاه است که تا ۰/۱ درجه سلسیوس دقت را ارائه می‌دهد و دما را می‌تواند در یک دمای ثابت نگه دارد. در مقایسه با کنترلرهای دمای مقاومتی موجود روی دستگاه‌های فعلی، هرچند این کار موجب هزینه بالاتر برای ساخت بود ولی برای دقت ساخت و افزایش کیفیت ساخت لازم بود.

٤- نتیجه‌گیری

با توجه به تنوع تولیدات و نیز پیچیده شدن شکل طراحی قطعات، امروزه استفاده از دستگاه پرینتر سه بعدی برای ساخت نمونه و نیز قطعات مهندسی روند روبه رشدی دارد. در این مقاله گام به گام طراحی و ساخت یک دستگاه پرینتر سه‌بعدی آزمایشگاهی به روش FDM توضیح داده شد. این پرینتر قابلیت تولید قطعات با ابعاد ۲۵×۲۵×۴۰ سانتی‌متر را دارد که جنس مواد مصرفی آن از پلیمرهایی مثل ABS و یا PLA است. در نهایت با ساخت نمونه‌ای از این پرینتر و آزمون آن، روش طراحی ارائه شده مورد تایید قرار گرفت.

٥- تقدیر و تشکر

از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه اراک برای در اختیار گذاشتن بودجه ساخت این دستگاه که خروجی طرح پژوهشی شماره ۹۲/۱۳۵۹۹ مصوب تاریخ ۱۳۹۲/۱۲/۱۹ است تشکر و قدردانی می‌شود.

همچنین از اعضای شرکت پایستار اندیش الوند و مرکز رشد واحد بروجرد پارک علم و فناوری لرستان برای همه کمک‌هایی که برای ساخت این دستگاه به ما رسانده‌اند تقدیر می‌شود.

٦- مراجع

[1] P. P. Corporation, *Rapid Prototype Source for Your Product Development Program*, November 2009.

[2] S. K. Panda, S. Padhee, A. K. Sood, S. S. Mahapatra, Optimization of Fused Deposition Modelling (FDM) Process Parameters Using Bacterial Foraging Technique, *Intelligent Information Management,* Vol. 1, pp. 89-97, 2009.

[3] J. Mireles, D. Espalin, D. Roberson, B. Zinniel, Fused Deposition Modeling of Metals, *Francisco Medina & Ryan Wicker, University of Texas,* http://sffsymposium.engr.utexas.edu/Manuscripts/2012/2012-64-Mireles.pdf, 2012, viewed 22 July 2015.

[4] L. Novakova-Marcincinova, I. Kuric, Basic and Advanced Materials for Fused Deposition Modeling Rapid Prototyping Technology, *Manufacturing and Industrial Engineering,* Vol. 11, No. 1, pp. 24-27, 2012.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.75.5]