مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹٤، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ٤٦٦-٤٧٠

مجموعه مقالات کنفرانس ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ و ۱٤ آبان ۱۳۹٤

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

طراحی، تحلیل و ساخت میز ماشین‌ابزار با قابلیت جابجایی در راستای عمودی

علی قانع ارسی[۱]، مهران محبوب‌خواه[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد، مهندسی مکانیک- ساخت و تولید، دانشگاه تبریز، تبریز

۲- دانشیار، مهندسی مکانیک- ساخت و تولید، دانشگاه تبریز، تبریز

* تبریز، صندوق پستی ۵۱۶۶۶۱۴۷۶۶، mahboobkhah@tabrizu.ac.ir

چکیده

یکی از نقاط ضعف ربات‌های موازی محدودیت و شکل نامساعد فضای‌کاری آن‌ها می‌باشد. برای بهبود فضای‌کاری آن‌ها می‌توان با اضافه کردن محورهای تکمیلی، این مشکل را برطرف نمود. در این مقاله یک میز با قابلیت جابجایی دستی و نیمه‌اتوماتیک الکتریکی در راستای محور Z بعنوان درجه آزادی تکمیلی ربات ماشین‌ابزار جهت تنظیم میز و قطعه‌کار در فضای‌کاری یک ربات موازی، طراحی و ساخته شده است. در ابتدا، طراحی مجموعهٔ میز با ترسیم نقشه‌های شماتیک، شامل رویهٔ میز، فریم، کشویی‌ها و شاسی انجام شده و قطعات در نرم‌افزار کتیا مدل‌سازی سه‌بعدی شده است. همچنین تمامی قطعات مکانیکی مورد نیاز نظیرالکتروموتور، چرخ‌دنده‌ها و سایر قطعات با توجه به نیروهای ماشین‌کاری اعمال شده و وزن قسمت‌های متحرک و الحاقات آن، محاسبه و انتخاب شده است. سپس بمنظور بررسی سفتی، مجموعهٔ میز در نرم‌افزار انسیس مدل‌سازی و تحلیل جابجایی و تغییر شکل‌های آن انجام شده است. پس از اصلاح و تقویت نکات ضعف طراحی و تحلیل مجدد مجموعهٔ میز، مراحل ساخت میز انجام شده است. بمنظور صحه‌گذاری و بررسی سفتی میز ساخته شده، بارگذاری و اجرای آزمایش تجربی و اندازه‌گیری میزان تغییرشکل مجموعهٔ میز انجام شده. مشاهدات حاکی از همخوانی نتایج حاصل از طراحی با نمونهٔ ساخته شده می‌باشد.

کلید واژگان: طراحی میز، تحلیل سفتی، ساخت میز

Design, analysis and construction of machine tool table with capability of vertical axis movement

Ali Ghane Arasi, Mehran Mahboubkhah*

Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
* P.O.B. 5166614766, Tabriz, Iran, mahboobkhah@tabrizu.ac.ir

ABSTRACT

One of drawbacks of parallel robot is its unsuitable form and limitation of workspace. This problem can be solved through establishing of the complementary axis for it. In this paper, a manual and semiautomatic table with capability of movement in Z axis, as the complementary degree of freedom of robot for adjusting the table and work piece in robot workspace has been designed and manufactured. Firstly, design with drawing the schematic plan of table set such as upper part, its frame, guide ways, chassis and etc. was implemented, then the parts was modeled in CATIA software. Also, all of the mechanical parts such as electro motors, gears and etc., considering machining forces and weight of parts has been computed and selected. After that, to stiffness, the table set was modeled in ANSYS software and deformations of components were determined. After improving the weakness points of design and reanalyzing of table set, the construction of table has been implemented. To approve and investigation of stiffness of constructed table set, experimental tests with applying load on table and measuring its displacements was also implemented. Comparison of the design data and experimental tests has been shown the same results.

Keywords: Table Design, Stiffness Analysis, Table Construction.

۱- مقدمه

شکی نیست که در صنعت ساخت و تولید، ماشین‌های چند محور و ربات‌های موازی با قابلیت تولید و دقت بالا، تحول شگرفی ایجاد نموده‌اند. علیرغم بسیاری از نکات قوت این نوع رباتها، دارا بودن فضای‌کاری نامناسب و نقاط تکین، یکی از مهمترین نکات ضعف آن‌ها می‌باشد [۲،۱]، که این نقیصه وابسته به مهارت طراح می‌تواند به حداقل ممکن برسد. با این حال این اشکال بصورت کامل قابل حذف نخواهد بود، از این‌رو طراحان ربات و ماشین‌ابزار با انجام تحلیل‌های مختلف، شکل و کیفیت فضای کاری آن‌ها را مورد ارزیابی قرار می‌دهند و توصیه می‌کنند تا ماشین‌کاری یا سایر وظایف ربات در بهترین و قوی‌ترین مناطق فضای‌کاری ربات انجام شود [۳]. یکی از راه‌حل‌هایی که برای این منظور به ذهن می‌رسد، انتقال و تنظیم موقعیت قطعه‌کار و ابزار به مناطق مناسب فضای‌کاری با استفاده از ایجاد و بکارگیری محورهای کمکی که در اصطلاح به آن‌ها محورهای با نیم‌درجه آزادی اطلاق می‌شود، می‌باشد. در این راستا در این مقاله به طراحی و ساخت میز یک درجه آزادی که بتواند در راستای محور عمودی موقعیت قطعه‌کار را در موقعیت مناسب فضای‌کاری قرار دهد، پرداخته شده است. یکی از مهمترین شاخص در طراحی بدنه یک ماشین‌ابزار، سفتی سازه آن می‌باشد [۵،۴]. برای ماشین‌ابزار موازی با توجه به محدود بودن فضای‌کاری، می‌بایست میزی طراحی گردد که ضمن صلبیت و عدم ارتعاش و تحمل وزن مناسب با الحاقات و قطعه‌کارهای متنوع، به لحاظ شکل و وزن، بارهای ماشین‌کاری ناشی از حرکت و چرخش ابزار را نیز تحمل نماید و توانایی جابجایی با دقت بالا در راستای عمودی را نیز داشته باشد. میزی که معرفی خواهد شد ضمن دارا بودن قابلیت‌های ذکر شده، با سفتی مناسب و حداقل لقی بین قطعات متحرک، قادر است بصورت ترکیبی به مجموعه ملحق شده و به عنوان عضو و قسمتی از دستگاه اصلی باشد.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

A. Ghane Arasi, M. Mahboubkhah, Design, analysis and construction of machine tool table with capability of vertical axis movement, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 466-470, 2015 (in Persian فارسی)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.27.7]

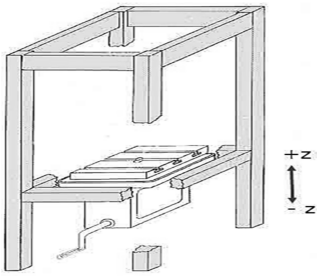
اتصال میز ربات توسط قید و بندهای طراحی شدهٔ قابل تنظیم قابل انجام می‌باشد، که در این نمونه، نسبت به ربات موازی پنج درجه آزادی طراحی شده است. همان‌طوری‌که گفته شد سفتی و مقاومت میز به تغییر شکل‌ها و جابجایی‌ها در مقابل نیروهای اعمال شده به آن از اصلی‌ترین اهداف طراحی می‌باشد که برای حصول به این هدف بایستی مراحل مختلفی اجرا شود. ابتدا طراحی شماتیک و اولیهٔ قطعات اصلی میز و پس از آن مدل‌سازی میز در یکی از نرم‌افزارهای طراحی مثل کتیا[1] انجام می‌شود. بررسی میزان سفتی با مدل‌سازی و انجام تحلیل در یکی از نرم‌افزارهای اجزاء محدود که در این تحقیق نرم‌افزار انسیس[2] می‌باشد قابل انجام است. نتایج تحلیل‌های سفتی، نکات ضعف طراحی اولیه را نمایان می‌کند که با تقویت آنها می‌توان سفتی سازه را از جهات ذکر شده اصلاح نمود. در ادامه به جزئیات این مراحل و نحوهٔ انتخاب و ساخت مجموعهٔ میز اشاره شده است.

۲- طراحی و انتخاب اجزاء میز یک درجه آزادی

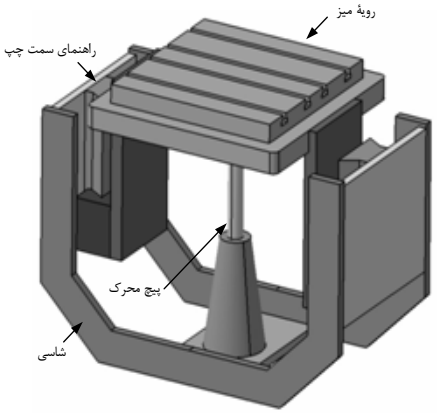
مجموعه میز ربات ارائه شده از چند قسمت اساسی شکل گرفته که در ذیل اهم آن و دلیل انتخاب هر روش در سیستم به‌طور خلاصه توضیح داده می‌شود. در شکل ۱، نقشهٔ شماتیکی و اولیهٔ میز که در داخل چارچوب اصلی دستگاه قرار می‌گیرد، نشان داده شده است. میز مور نظر قادر خواهد بود قطعه‌کار را در راستای محور عمودی دستگاه جابجا نماید.

۲-۱- انتخاب سیستم محرکهٔ مناسب

برای جابجایی میز، مکانیزم‌های متنوعی وجود دارد که هر کدام دارای معایب و محاسنی می‌باشند. سیستم‌های محرکه هیدرولیکی توسط سیلندر و پیستون حرکت مورد نیاز را تامین می‌کنند و توسط پمپ هیدرولیک مایع



شکل۱ نقشهٔ شماتیک و اولیهٔ میز در داخل فریم دستگاه



شکل۲ مدل‌سازی میز در نرم‌افزار کتیا

سیال مانند روغن با ویسکوزیته پایین بصورت مستمر به داخل سیلندر تزریق می‌گردد و پیستون را به‌عنوان قطعه متحرک آب‌بندی شده در داخل سیلندر هدایت می‌کند. با توجه به ضریب انبساط مایعات، مانند روغن هیدرولیک دسترسی به حرکت‌های ریز و دقیق پیستون امکان‌پذیر است، ولی با توجه به مسائل اقتصادی و گرانی سیستم و واحدهای جانبی استفاده از این سیستم در ساخت نمونهٔ حاضر مقرون به صرفه نمی‌باشد. سیستم‌های محرکه نیوماتیکی نیز از حیث تراکم‌پذیری بالای سیال و عدم داشتن دقت‌های بالا در کاربرد حاضر قابل استفاده نمی‌باشند. نوع دیگر سیستم محرکه، استفاده از الکتروموتور و سیستم‌های مکانیزم چرخدندهٔ ساده و شانه بعنوان گیربکس می‌باشد. لقی و پایین بودن میزان سفتی و عدم استفاده از پوستهٔ گیربکس به دلیل طول زیاد آن، از اشکالات مهم آن است، که نمی‌توان به راحتی از آن صرف نظر نمود. سیستمهای محرکه خطی مغناطیسی نیز که دارای دقت بالایی می‌باشند بخاطر قیمت بسیار زیاد موردنظر نمی‌باشند.

با درنظر گرفتن انواع سیستم‌های محرکه، روی دستگاه‌های مختلف که به چند نمونهٔ مهم آن اشاره گردید، سیستم محرکه الکتروموتور با گیربکس متشکل از چرخدندهٔ حلزونی و پیچ ذوزنقه‌ای که دقت مناسب داشته و در بعضی از دستگاه‌های فرز نیز نوعی از آن استفاده شده است، در ساخت میز مورد استفاده قرار گرفته است. در این سیستم از یک گیربکس حلزونی با پیچ چهار راهه با نسبت ۷/۵ که با یک شفت حمال وپیچ ذوزنقه‌ای با گام پنج استفاده شده و در داخل محفظه قسمت متحرک میز ربات جای می‌گیرد.

۲-۲- انتخاب سیستم گیربکس محرکه

میز ربات کلاً از دو قسمت شاسی اصلی که ثابت و قسمت متحرک میز تشکیل شده است. پس قاعدتاً می‌بایست قسمت گیربکس و محرک آن در داخل میز متحرک قرار گیرد. نقطه اتصال گیربکس حلزونی تابع موقعیت پیچ ذوزنقه‌ای می‌باشد. واضح است که بهترین نقطه از لحاظ اعمال نیروی بالابرنده، مرکز صفحه میز از قسمت زیرین آن می‌باشد. نقطه بالایی تلاقی پیچ ذوزنقه‌ای با میز متحرک می‌باشد که باید با در نظر گرفتن نیروهای وارده یاتاق‌بندی گردد. برای این منظور از رولبرینگ‌های مخروطی برای مقاومت در برابر نیروهای عمودی در راستای محور پیچ استفاده شده است. با حرکت میز بطرف بالا پیچ حمال ذوزنقه‌ای حالت فشاری و موقع برگشت آن تحت تنش کششی قرار می‌گیرد و برای هر دو جهت از دو رولبرینگ مخروطی در انتهای محور شفت و روبه روی هم استفاده شده است. برای حرکت پیچ ذوزنقه‌ای و ایجاد کورس ۲۰۰ میلی‌متری آن مهره برنجی- فسفری بصورت مخزن‌دار طراحی و ساخته شده است. مخزن پیچ بصورت بسته و محتوی روغن و دارای شاخص نمایش‌گر میزان کیفیت روغن است. خروجی گیربکس از مرکز چرخ حلزون در قسمت میانی شفت و پیچ ذوزنقه‌ای توسط خار کوپل می‌گردد که در شکل‌های ساخته شدهٔ دستگاه نمایش داده خواهد شد.

۲-۳- طراحی شاسی اصلی

قطعات شاسی اصلی با همدیگر و با استفاده از اتصالات پیچ و مهره و پین‌های مخروطی سنگ خورده تنظیم و تثبیت می‌گردد. انتخاب اتصالات فوق مانع از ایجاد تنش‌های ناشی از برش‌کاری و جوش‌کاری در اتصالات دائم می‌گردد. برای برش‌کاری قطعات اصلی شاسی بصورت U شکل، به دلیل عرض کم و طول زیاد، امکان تغییر ابعاد بدلیل حرارت‌های ناشی از برش‌کاری با گاز اکسیژن و برق وجود دارد، برای این منظور از برش لیزر با اعمال کمترین حرارت انتخاب شده که صافی‌سطح مناسب و تلرانس ابعاد آن ۰/۵ mm±

1. Catia
2. Ansys

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.27.7]

می‌باشد، استفاده شده است. قطعات اصلی U شکل بصورت موازی و صفحات رابط کناری و تحتانی توسط پیچ‌های آلن M10 روی هم محکم شده و پس از صحه‌گذاری ابعاد، سیستم توسط پین‌های مخروطی تثبیت شده است.

۲-۴- طراحی و انتخاب ریل‌ها

ریل‌ها به عنوان بستر هدایت قطعات متحرک نقش مهمی در ساخت دستگاه‌های مختلف مخصوصاً ماشین‌های ابزار دارند. به‌طورکلی ریل‌های روباز عموماً برای بارهای عمود بر ریل استفاده می‌شوند. ریل‌های بسته و گیردار مانند ریل‌های با مقاطع گرد و گرد ناقص و انواع دم‌چلچله‌ها و کشویی‌های مستطیلی با توجه به قفل‌شدن ریل نر توسط مادگی و عدم حرکت ، از دقت و کیفیت بهتری برخوردار هستند. صافی سطح در ریل‌ها نیز اهمیت داشته و روی دقت حرکتی تأثیرگذار است. در نمونهٔ ساخته شده، با توجه به شرایط دستگاه و دقت نسبتاً زیاد و وزن کم از ریل و کشویی دم‌چلچله نر و مادگی استفاده شده است، که مسیر هدایت میز متحرک را با کمترین لقی تامین می‌کند. واضح است که در ریل‌های گیردار که کشویی دم‌چلچله نیز در آن محدوده قرار دارد، از صفحات با گوه‌های قابل تنظیم با استفاده از پیچ‌های تنظیم و مهره‌های تثبیت استفاده می‌گردد. بلوک کشویی مادگی دارای کانال‌های تزریق گریس جهت روان‌کاری بوده و با کمترین اصطکاک حرکت میز را تضمین می‌نماید. جنس کشویی از چدن خاکستری و زاویه دم‌چلچله آن °۶۰ انتخاب شده است. به علت حجم کم فضای استقرار میز و ابعاد نسبتاً بزرگ صفحه میز و از طرف دیگر برای سفتی بیشتر، کشویی‌های نر و مادگی به صورت قرینه و در دو طرف صفحه میز و شاسی U شکل در نظر گرفته شده که ضمن کاهش لقی میز متحرک، نیروهای خمشی و پیچشی را نیز خنثی نموده و میز را براحتی در راستای محور عمودی هدایت می‌کند.

۲-۵- طراحی پولی و تسمهٔ رابط

استفاده از پولی‌ها و تسمهٔ رابط در میز ربات به دو دلیل عمده می‌باشد. اولاً برای انتقال نیروی چرخشی از الکتروموتور به ورودی سیستم محرکه و ایجاد یک نوع سیستم ایمنی، دوماً جهت کاهش دور و ایجاد رابط حرکت سریع منطقی میز با توجه به کورس میز در حدود یک ثانیه.

با در نظر گرفتن نیاز به حرکت سریع و نیمه اتوماتیک میز ربات، استفاده از یک مولد نیروی الکتریکی چرخشی با دور۱۶۵۰ (rev/min) مانند پولی و تسمه که به ورودی گیربکس حلزونی مرتبط می‌گردد، لازم می‌باشد. با توجه به نسبت گیربکس حلزونی ۷/۵ دور، خروجی آن کاهش یافته و به (rev/min) ۲۲۰=۱۶۵۰/۷/۵می‌رسد، که حدود ۳/۷ ثانیه می‌باشد، که با در نظر گرفتن گام پیچ عمودی P=۵mm مقدار جابجایی میز در یک ثانیه ۱۸/۵=۵×۳/۷ میلی‌متر خواهد بود. مقدار جابجایی بدست آمده با کورس دستگاه همخوانی نداشته و اپراتور فرصت کنترل حرکت‌های ریز و منقطع را از دست می‌دهد، یعنی با فرض کورس ۲۰۰mm حدود۱۰ ثانیه زمان لازم است تا میز از ماکزیمم به مینمم یا برعکس حرکت نماید که زمان کوتاهی است. برای کنترل بیشتر و دسترسی به فاصله‌های کوچکتر، می‌توان با کمتر نمودن دور الکتروموتور توسط پولی و تسمه، ضمن افزایش گشتاور، حرکت‌های سریع را نیز به صورت ریز و دقیق را ایجاد نمود. برای این منظور از دو پولی با نسبت ۳ استفاده شده و روی صفحه حائل در قسمت متحرک میز ربات جای گرفته است.

۲-۶- طراحی گیربکس ثانویه

به طورکلی گیربکس ثانویه متشکل از دو چرخ دنده ساده ورودی و خروجی با نسبت سه و یک چرخ‌دنده هرزگرد به عنوان واسط جهت ایجاد فاصله بیشتر و هم جهت ساختن چرخش ورودی و خروجی گیربکس می‌باشد. چند علت برای استفاده از گیربکس ثانویه وجود دارد. علت اول: ایجاد دور کمتر و به همان اندازه گشتاور بیشتر، تا در حالت‌های دستی، اپراتور و بتواند با نیروی کمتر و دقت بیشتر، اندازه‌های دلخواه را توسط محرکه دستی اعمال نماید. علت دوم: به دست آوردن اندازه‌های کوچک در ورنیه یعنی با کم شدن نسبت دور، مقدار چرخش‌ها نیز کمتر شده و با مقیاس کوچکتر به اندازه یک دور چرخش شفت ورودی، میز را جابجا می‌کند. پس در این حالت محیط ورنیه به قسمت‌های کوچکتر تقسیم شده و دقت حرکت میز بالا می‌رود. علت سوم: ایجاد فاصله بین ورودی گیربکس حلزونی با محرکه دستی که شفت ورنیه نیز روی آن قرار دارد.

۲-۷- طراحی غلافی و شفت ورنیه

غلافی ورنیه بصورت فلنجی ساخته شده و روی پوسته خروجی گیربکس ثانویه نصب شده و دارای سیستم یاتاق‌بندی بلبرینگی بوده و شفت ورنیه در داخل آن جای گرفته و به محور خروجی گیربکس ثانویه توسط خار کوپل شده است. تقسیم‌بندی ورنیه به ازاء هر °۳۶۰ و ۲ mm می‌باشد و خطوط آن در دستگاه تقسیم حک شده و کوچکترین فاصله آن که دقت حرکت میز را نشان می‌دهد، ۰/۰۵mm محاسبه شده است.

۲-۸- سیستم ایمنی حرکت سریع

با توجه به دو حالته بودن نحوه جابجایی میز متحرک، که یک حالت نیمه‌اتوماتیک و برقی میز و توسط الکتروموتور اعمال می‌گردد و دیگری حرکت میز توسط محرکه دستی که از خروجی گیربکس ثانویه تامین می‌گردد، برای ایمنی بیشتر و عدم تلاقی دو حالت با یکدیگر از سیستم فنر پیستون استفاده گردیده است. عملکرد سیستم ایمنی باید طوری باشد که در حین درگیر بودن محرکهٔدستی، حرکت سریع به سمت +Z یا –Z حتماً قطع گردد یا بصورت خلاص درآید. برای این منظور فنری در انتهای راهگاه ورنیه و درون شفت آن کار گذاشته شده و به یک قطعهٔ پیستونی وصل شده و قطعه پیستون داخل سوراخ شفت جای گرفته و فنر پیستون فوق همواره محرکه دستی را به عقب می‌راند و تنها با جااندازی دسته و فشار آن به جلو، اپراتور می‌تواند محرکه دستی را درگیر کرده و شفت ورنیه یا خروجی گیربکس را بصورت دستی به چرخش درآورد. با از بین رفتن فشار دست، فنر و پیستون محرکه دستی را به عقب رانده و بصورت خلاص درمی‌آید و با اعمال حرکت سریع‌تر توسط دکمه‌های بالا و پائین، میز شتاب گرفته و جابجا می‌گردد و این در حالیست که دسته محرکه از راهنمای ورنیه با توجه به عقب راندن آن از طرف فنر و پیستون، بصورت آزاد آویز شده و هیچ نوع خطری ایجاد نخواهد کرد.

۲-۹- طراحی سایر قسمتهای میز ربات

سایر اجزاء مجموعهٔ میز نیز از جهت عملکرد صحیح آن طراحی و ساخته شده‌اند که به اختصار به آن‌ها اشاره می‌شود:

سیستم‌های روغن‌کاری و گریس‌کاری دستگاه شامل پنج قسمت، پایه‌های قابل تنظیم جهت هماهنگ نمودن و تراز کردن میز ربات با دستگاه اصلی، قید و بندهای واسط جهت ارتباط و اتصال میز ربات با دستگاه اصلی با قابلیت تنظیم در روی دو محور، تابلوی برق شامل کلیدها و رله‌ها و چراغ‌های فازها و

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.27.7]

مدار الکتریکی، میکروسویچ که فرمان‌ها و کنترل‌های حد بالا و پائین میز متحرک را به‌عهده دارند، کاورهای جلویی به‌صورت پیچی و پشتی میز متحرک با سیستم لولایی و پیچ فلکه، سیستم‌های روغن‌کاری و گریس‌کاری دستگاه.

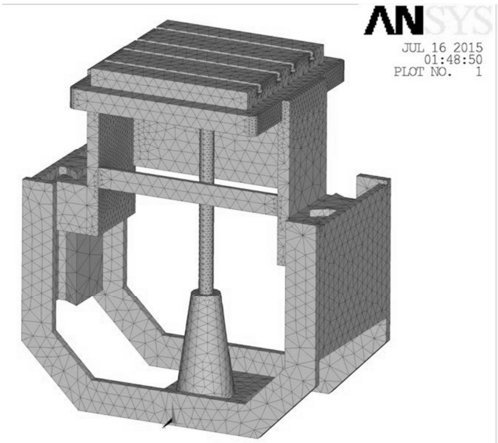
۳- تحلیل سفتی و طراحی مقاومت مصالحی میز

پس از انتخاب و طراحی قطعات مختلف میز، بایستی در مورد نحوهٔ انتخاب ابعاد اجزاء میز بررسی‌های لازم انجام شود تا مشخص شود که سازه از حیث مقاومت در مقابل نیروها و وزن سازه دارای سفتی کافی می‌باشد.

برای این منظور، از نرم‌افزار انسیس جهت تحلیل سفتی‌سازه در مقابل نیروهای خارجی، که نیروهای وزن و ماشین‌کاری وارد بر میز سازه است، استفاده شده است. مدل‌سازی در نرم‌افزار کتیا انجام و به محیط انسیس منتقل شده است. شکل ۳ مدل‌سازی در انسیس را نشان می‌دهد. در این شکل میز در بالاترین موقعیت و بدترین شرایط خود قرار داده شده است.

در این مدل‌سازی اجزاء میز به دو قسمت مجزا، شامل قسمت بالایی و پائینی تقسیم‌بندی شده‌اند و نسبت به هم می‌توانند بدون اتصال جوشی حرکت داشته باشند. تماس دو قسمت در محل دو کشویی میز اتفاق می‌افتد که در نرم‌افزار انسیس با المان‌های تماسی مدل‌سازی و مشخصهٔ عدم جدایش[1] برای آن‌ها انتخاب شده است. مدول الاستیسیته، مدول یانگ و دانسیته مربوط به جنس فولاد جهت حل در نظر گرفته شده است. نوع المان که برای مش‌بندی در نظر گرفته شده Node ۱۸۷ ۲۰ می‌باشد. با توجه به سادگی مدل، امکان مش‌زنی بدون ریز کردن انجام گرفته است. با تعریف شرایط مرزی جابجایی و نیرویی مطابق حالت واقعی میز، که در آن میز از کف و از چهار طرف توسط پایه‌ها و ستون اصلی دستگاه مقید شده‌اند و همچنین وزن میز و نیروهای ماشین‌کاری به صورت بار گسترده بر روی میز وارد شده است. سپس تحلیل استاتیکی میز انجام و نتایج تغییر شکل‌ها و تنش‌های میز استخراج شده است. شکل ۴ نمونه‌ای از تحلیل جابجایی را در میز طراحی شده نمایش می‌دهد. به‌طوری‌که از شکل مشهود است تحت بارگذاری kg ۲۰۰ تنها ۱۳ میکرون جابجایی در ماکزیمم نقاط جابجایی دیده می‌شود. همچنین با توجه به تعریف المان‌های تماسی، بین قسمت‌های نر و مادگی ریل‌ها هیچ‌گونه اتصالی بوجود نیامده است.

تنها نقطهٔ ضعفی که در طراحی حاضر به چشم می‌خورد تغییر شکل نسبی



شکل ۳ مدل‌سازی مورد استفاده در انسیس

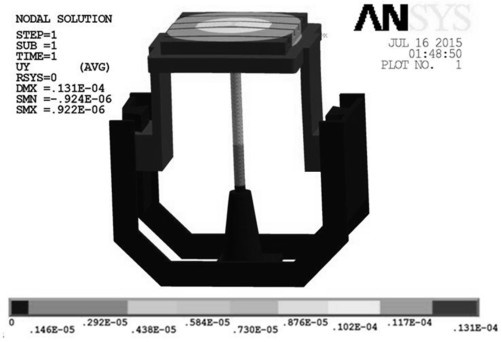
1. No seperation

سازه در جهت محور عرضی Y به دلیل نداشتن حائل بین دو کشویی می‌باشد. در شکل ۵ این مشکل به خوبی مشخص است. با اعمال تغییرات و استفاده از حائل بین دو کشویی این مشکل مطابق شکل ۶ رفع شده است

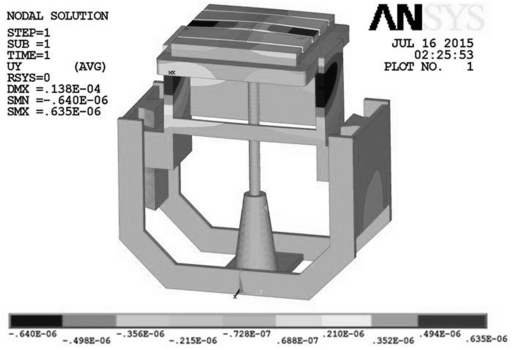
۴- مرحلهٔ ساخت میز

پس از طراحی مقاومت مصالحی و اجزاء میز، نوبت به ساخت آن رسیده است. فرم نهایی میز ساخته شده در شکل۷ نمایش داده شده است. در این شکل قسمت‌های مختلف میز که در بخش۲ توضیح داده شده در شکل نمایش داده شده است.

شکل۴ نتایج تغییر شکل کلی ماکزیممی ۱۳ میکرون میز

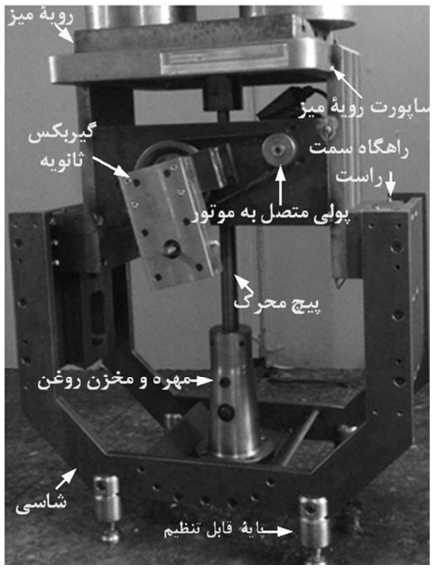


شکل۵ نتایج تغییر شکل میز به میزان ماکزیمم ۲ میکرون در جهت محورY



شکل۶ نتایج تغییر شکل میز به میزان ماکزیمم ۱ میکرون در جهت محور Y پس از ایجاد حائل بین کشویی‌ها

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.27.7]



شکل۷ میز ساخته شده

۵- آزمایش عملی میز و مقایسه آن با نتایج تحلیل اجزاء محدود

پس از انجام مراحل ساخت و مونتاژ نهایی میز، به منظور بررسی کیفیت عملکرد آن، آزمایش‌های عملی بر روی میز انجام شده است. مقایسه نتایج تغییر شکل‌ها با تحلیل اجزاء محدود و آزمایش عملی در دو حالت متفاوت در جدول۱ نشان داده شده است. بطوری‌که در شکل۸ نشان داده شده است، وزنهٔ ۲۰۰ kg روی میز دستگاه قرار داده شده و میزان تغییر شکل در جهت

شکل۸ آزمایش عملی تغییر شکل سازه میز در راستای محور Z به میزان ماکزیمم ۱۱میکرون

جدول ۱ مقایسهٔ نتایج تحلیل اجزاء محدود با نتایج عملی در تغییر شکل ماکزیمم میز

تغییر شکل در راستای محور عمودی	نتایج انسیس (μm)	نتایج آزمایش عملی (μm)
در بارگذاری ۱۰۰ kg	۱۱	۹
در بارگذاری ۲۰۰ kg	۱۳	۱۱

عمودی توسط ساعت اندیکاتور اندازه‌گیری شده است. مقایسه نتایج بین دو روش تعیین تغییر شکل سازه تفاوت کمی را نشان می‌دهد. اختلاف موجود به دلیل خطاهای مدل‌سازی که در نرم‌افزار انسیس اتفاق می‌افتد، می‌باشد.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله مراحل‌کار واقعی طراحی مقاومت مصالحی و اجزاء یک میز یک درجهٔ آزادی ربات ماشین‌ابزار تا ساخت و کنترل نهایی آن به صورت کاملاً عملی توضیح داده شده است. در قسمت طراحی و انتخاب قطعات، دلایل و گزینه‌های مورد نظر طراحی، تشریح و طراحی انجام شده است. در قسمت طراحی مقاومت مصالحی و تحلیل سفتی، با استفاده از نرم‌افزار انسیس تحلیلها انجام شده و با تشخیص نقاط ضعف سازه بهینه‌سازی مورد نظر اجرا شده و مجدداً تحلیل‌ها برای تأئید طراحی انجام شده است. پس از اطمینان از نتایج طراحی، ساخت قطعات میز و مونتاژ اجزاء آن انجام شده و در نهایت جهت اطمینان از کیفیت میز ساخته شده، آزمایش عملی با قرار دادن وزنه و اندازه‌گیری میزان جابجایی‌ها در جهات مختلف میز انجام شده است. نتایج این آزمایش در مقایسه با نتایج طراحی اختلاف بسیار ناچیز ۲ میکرونی را نشان می‌دهد که حاکی از دقت انجام تحلیل‌ها و دقت ساخت مجموعهٔ میز می‌باشد که سازه‌ای با لقی بسیار جزئی حاصل شده است.

۷- مراجع

[1] J. P. Merlet, *Parallel robot,* London: Kluwer Academic Publishers, 2000.
[2] C. M. Gosselin, Stiffness mapping for parallel manipulators, in *IEEE Trans. Robot and Autom*, Vol. 6, No. 3, pp. 377–382, 1990.
[3] N. Jaafarzadeh, M. Mahboubkhah, Design and analysis of workspace and singularity of a 4 degree of freedom parallel robot, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 8, pp.28-36, 2014. (In Persian)
[4] A. Rezaei, A. Akbarzadeh, M. R. Akbarzadeh, An investigation on stiffness of a 3-PSP spatial parallel mechanism with flexible moving platform using invariant form, *Mechanism and Machine Theory*, pp. 195-216, 2012.
[5] M. A. Hoseini, *Design and construction of Hexapod Machine tool table based Stewart platform,* Msc. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, 2006. (In Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.27.7]