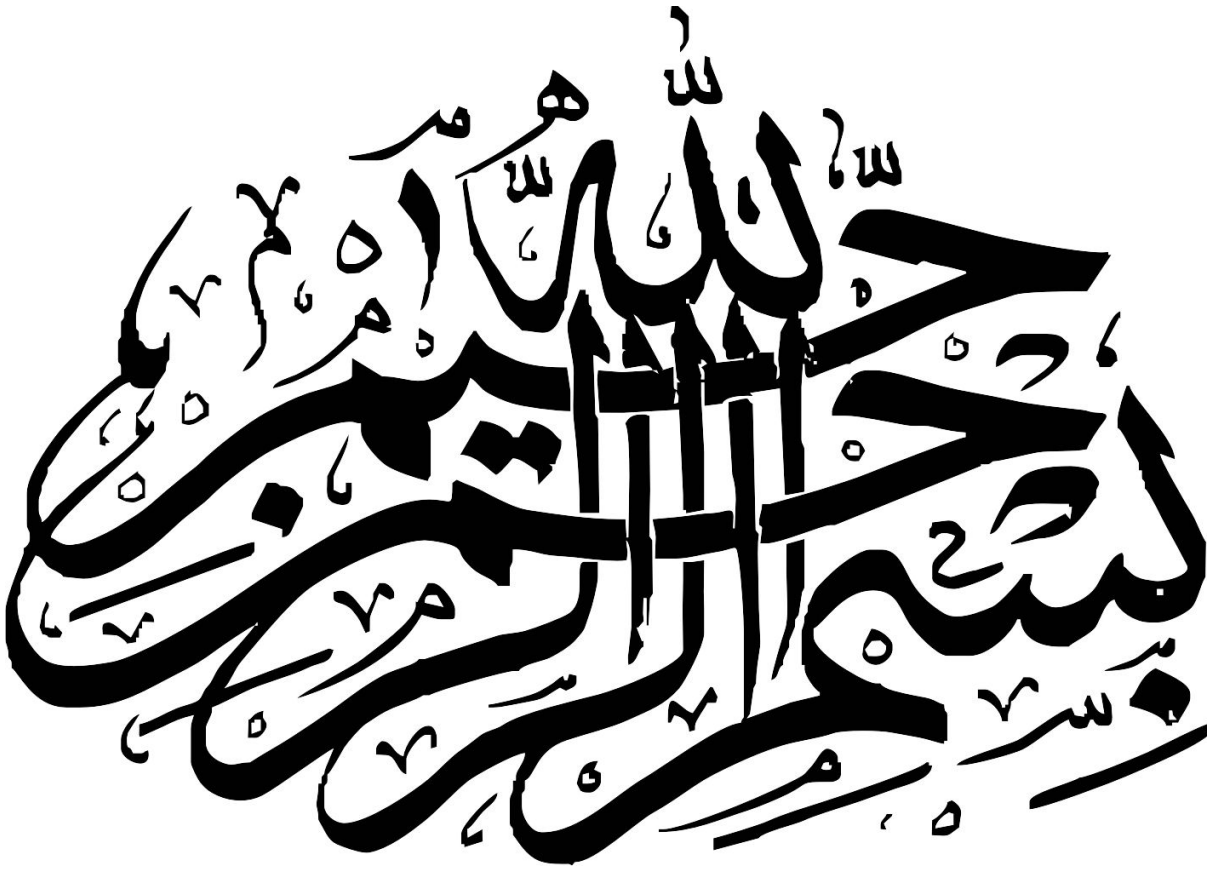

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی ساخت و تولید

پایان‌نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی مکانیک (ساخت و تولید)

عنوان:

طراحی، تحلیل و ساخت میز دوار برای ربات ماشین‌ابزار

استاد راهنما:

دکتر مهران محبوب‌خواه

استاد مشاور:

دکتر محمد زادشکویان

پژوهشگر:

امیر زارع

شهریور ۹۳

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و درود بر محمّد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجّل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان چیزی بنگاریم.

اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب " من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر اللّه عزّ و جلّ" : **ازپدر و مادر عزیزم**...این دو معلم بزرگوارم... که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یاوری بی چشم داشت برای من بوده‌اند؛ از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای **دکتر مهران محبوب‌خواه** که در کمال سعه‌صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ از استاد صبور و باتقوا، جناب آقای **دکتر محمد زادشکویان،** مدیریت محترم گرسی گروه، که زحمت مشاوره این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید؛ و از استاد فرزانه و دلسوز؛ جناب آقای **دکتر محمدرضا شبگرد** که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه کلی ۱

فصل۱

مقدمه وکلیات ۲

۱-۱- مقدمه ۳

۱-۲- اهمیت و کاربرد میز دوار ۵

۱-۳- مطالعه‌ی پیشینه تحقیقات ۶

۱-۳-۱- میز دوار پنوماتیکی ۷

۱-۳-۲- میز دوار با سیستم محرکه‌ی مستقیم ۸

۱-۳-۳- میز دوار با سیستم محرکه‌ی غلتکی ۱۰

۱-۳-۴- مکانیزم استفاده شده در این پروژه ۱۵

۱-۴- آشنایی با ربات ماشین‌ابزار ۱۷

۱- ۵- معرفی موتورها و انکودر دورانی ۲۰

۱-۵-۱- انکودر دورانی ۲۰

۱-۵-۲- سرو موتور ۲۱

۱-۵-۳- موتورهای پله‌ای ۲۲

فصل ۲

مواد و روش‌ها ۲۳

۲-۱- مقدمه ۲۴

۲-۲- طراحی جزئی ۲۵

۲-۲-۱- انتخاب موتور ۲۵

۲-۲-۱-۱- محاسبه‌ی گشتاور ناشی از نیروهای ماشینکاری ۲۶

۲-۲-۱-۲- محاسبه‌ی گشتاور اصطکاکی ۲۷

۲-۲-۱-۲- محاسبه‌ی گشتاور دینامیکی ۲۷
۲-۲- ۲- طراحی حلزون و چرخ‌حلزون ۲۹
۲-۲- ۳- محاسبه و انتخاب یاتاقان برای شفت حلزونی و استقرار دیسک دوار ۳۵
۲-۲- ۴- محاسبه و انتخاب مقطع مناسب برای بدنه ۳۷
۲-۲- ۵- طراحی دیسک گردان ۳۸
۲-۲- ۶- محاسبه وانتخاب تسمه و پولی ۳۹
۲-۲-۷- انتخاب سیستم ترمز ۴۱
۲-۲-۸- محاسبه و انتخاب انکودر ۴۲
۲-۳- تحلیل تغییر شکل پیچشی میز دوار به روش تحلیلی ۴۴
۲-۴- تحلیل اجزاء محدود ۴۷
۲-۴-۱- مدلسازی در نرم افزار ANSYS ۴۷
۲-۴-۱-۱- تغییر شکل محوری و پیچشی دیسک دوار ۵۰
۲-۴-۱-۲- تغییر شکل محوری و پیچشی چرخ‌حلزون ۵۱
۲-۴-۱-۳- تغییر شکل محوری و پیچشی حلزون ۵۳
۲-۴-۱-۴- تغییر شکل محوری بدنه ۵۵
۲-۴-۱-۵- تغییر شکل محوری لوله‌ی خارج از مرکز ۵۶
۲-۴-۱-۶- تغییر شکل محوری قطعه‌کار مخروطی ۵۸
۲-۵- ساخت نمونه‌ی آزمایشگاهی ۵۹
۲-۵-۱- معیارهای انتخاب میز دوار دستی ۵۹
۲-۵-۲- مراحل ساخت و تجهیز میز دوار دستی ۶۲

فصل ۳

نتیجه‌گیری، بحث و پیشنهادات ۶۶
۳-۱- مقایسه‌ی نتایج تحلیل تئوری تغییر شکل پیچشی و نتایج روش تحلیل اجزاء محدود ۶۷
۴-۱- مشخصات نمونه‌ی طراحی شده و نمونه‌ی ساخته شده میز دوار ۶۸
نتیجه‌گیری ۶۹
پیشنهادات ۷۰
مراجع ۷۱

فهرست اشکال

شکل **صفحه**

شکل(۱-۱). دستگاه فرز با محورهای دوار A و B[۷] ۳
شکل(۱-۲). مکانیزم چرخدنده‌ی حلزونی[۷] ۴
شکل(۱-۳). میز دوار پنوماتیکی[۹] ۷
شکل(۱-۴). میز دوار با سیستم محرکه‌ی مستقیم[۹] ۹
شکل(۱- ۵). نحوه‌ی انجام بارگذاری اولیه در مکانیزم محرک غلتکی برای جلوگیری از لقی[۵] ... ۱۰
شکل(۱- ۶). مکانیزم محرک غلتکی[۵] ۱۱
شکل(۱- ۷). مقایسه دقت موقعیت‌دهی مکانیزم محرک غلتکی و حلزونی[۵] ۱۲
شکل(۱- ۸). مقایسه پاسخ‌دهی فرکانسی مکانیزم محرک غلتکی و حلزونی[۵]..... ۱۳
شکل(۱- ۹). تست قرارگیری جرم غیر بالانس بر روی میز دوار[۵] ۱۳
شکل(۱-۱۰). مقایسه میزان تاثیرپذیری از جرم غیربالانس [۵] ۱۴
شکل(۱-۱۱). مقایسه دقت موقعیت‌دهی مکانیزم محرک غلتکی و حلزونی[۵] ۱۵
شکل(۱-۱۲). اجزای اصلی میز دوار ۱۷
شکل(۱-۱۳). ساختار ربات موازی[۲۰] ۱۸
شکل(۱-۱۴). ساختار مکانیزم موازی پنج درجه‌ی آزادی ۱۹
شکل(۱- ۱۵) . انکودر دورانی[۲۳] ۲۱
شکل(۱- ۱۶). سرو موتور[۲۴]. ۲۲
شکل(۲-۱). دیاگرام نیروهای ماشینکاری وارده به قطعه‌کار ۲۶
شکل(۲-۲). سینماتیک حرکتی میز دوار[۲۶] ۲۸
شکل(۲-۳). حلزون و چرخ‌حلزون ۳۲
شکل(۲-۴) انتخاب زاویه‌ی فشار چرخ حلزون[۲۸] ۳۳
شکل(۲-۵). نیروهای وارده به حلزون وچرخ حلزون[۲۸] ۳۴

شکل(۲-۶). یاتاقان مخروطی ۳۶
شک(۲-۷). بدنه میز دوار ۳۷
شکل(۲-۸). دیسک گردان ۳۸
شکل(۲-۹). استاندارد استفاده شده برای T-slot ۳۹
شکل(۲-۱۰). انتخاب پولی[۲۷] ۴۰
شکل(۲-۱۱) .پولی ۴۰
شکل(۲-۱۲). انتخاب تسمه[۲۷] ۴۱
شکل(۲-۱۳). سیستم ترمز با استفاده از پین وپیچ ۴۲
شکل (۲-۱۴). سیستم اندازه‌گیری مستقیم ۴۲
شکل (۲- ۱۵). سیستم اندازه‌گیری غیر مستقیم ۴۳
شکل(۲- ۱۶). دیاگرام آزاد نیروها درحالت استاتیکی ۴۴
شکل(۲-۱۷). دیاگرام آزاد نیروها در دیسک دوار ۴۵
شکل(۲-۱۸). دیاگرام آزاد نیروها در حلزون ۴۶
شکل (۲- ۱۹). نحوه‌ی اعمال نیروهای ماشینکاری به لبه‌ی دیسک ۴۸
شکل(۲-۲۰). شرایط مرزی در انتهای بدنه که جابجایی صفر در نظر گرفته می‌شود. ۴۸
شکل (۲-۲۱). مدل مش بندی شده‌ی میز دوار ۴۹
شکل (۲-۲۲) تغییر شکل محوری میز دوار در راستای محور Y ۴۹
شکل(۲-۲۳). مدل مش‌بندی شده دیسک گردان ۵۰
شکل(۲-۲۴). تغییر شکل محوری دیسک دوار در راستای محور Z ۵۱
شکل(۲-۲۵) مدل مش‌بندی شده چرخ حلزون ۵۳
شکل(۲-۲۶). تغییر شکل محوری چرخ حلزون در راستای محور Z ۵۳
شکل(۲-۲۷). مدل مش‌بندی شده حلزون ۵۴
شکل(۲-۲۸). تغییر شکل محوری حلزون در راستای محور Y ۵۴
شکل(۲-۲۹). مدل مش بندی شده بدنه ۵۵
شکل(۲-۳۰). تغییر شکل محوری بدنه در راستای محور y ۵۶
شکل(۲-۳۱) مدل مش بندی شده لوله‌ی خارج از مرکز ۵۷

شکل(۲-۳۲). تغییر شکل محوری لوله خارج از مرکز در راستای محور X ۵۷
شکل(۲-۳۳). مدل مش بندی شده قطعه‌کار مخروطی ۵۸
شکل (۲-۳۴). تغییر شکل محوری قطعه‌کار مخروطی در راستای محور y ۵۹
شکل (۲-۳۵). میز دوار دستی موجود ۶۰
شکل (۲-۳۶). مدل مش بندی شده دیسک گردان میز موجود ۶۱
شکل (۲-۳۷). تغییر شکل محوری دیسک گردان در راستای محور Y ۶۱
شکل (۲-۳۸). قطعه‌کار واسطه برای اتصال انکودر دورانی به میز ۶۲
شکل (۲-۳۹). بدنه ربات برای قرارگیری میز دوار ۶۳
شکل (۲-۴۰). موتور پله‌ای و سیستم تسمه و پولی ۶۳
شکل (۲-۴۱). نصب انکودر بر روی میز دوار ۶۴
شکل (۲-۴۲). نمونه‌ی آزمایشگاهی میز دوار اتوماتیک ۶۵

فهرست جداول

جدول **صفحه**

جدول(۲-۱). مشخصات سرو موتور..... ۲۹

جدول(۲-۲). ویژگی مواد انتخاب شده در شبیه سازی دیسک دوار..... ۵۰

جدول(۲-۳). ویژگی مواد انتخاب شده در شبیه سازی چرخ حلزون..... ۵۲

جدول(۲-۴). ویژگی ماده‌ی استفاده شده برای شبیه سازی حلزون..... ۵۳

جدول(۲-۵). ویژگی مواد انتخاب شده در شبیه سازی بدنه..... ۵۵

جدول(۲-۶). ویژگی مواد انتخاب شده در شبیه سازی لوله‌ی خارج از مرکز..... ۵۶

جدول(۲-۷). ویژگی مواد انتخاب شده در شبیه سازی قطعه‌کار مخروطی..... ۵۸

جدول(۳-۱). مقایسه نتایج تحلیل تئوری واجزاء محدود گیربکس حلزونی ودیسک دوار..... ۶۸

جدول(۳-۲). مقایسه نمونه‌ی طراحی شده و نمونه‌ی ساخته شده میزدوار..... ۶۸

فهرست علائم

M_L گشتاور ناشی از نیروهای ماشینکاری

M_F گشتاور اصطکاکی

$M\alpha$ گشتاور دینامیکی

M_D گشتاور مورد نیاز برای موتور

F_x نیروی ماشینکاری در جهت محور X

F_Y نیروی ماشینکاری در راستای محورY

F_Z نیروی ماشینکاری در راستای محور Z

r شعاع قطعه‌کار برنجی

μ ضریب اصطکاک

r_b شعاع یاتاقان مخروطی

m_f جرم گیره

m_w جرم قطعات متحرک میز دوار

m_T جرم قطعه‌کار برنجی

n سرعت دورانی میز

t_a زمان لازم برای شتاب‌گیری میز دوار

t_v زمان کاهش شتاب میز دوار

$\propto$ شتاب زاویه‌ای میز دوار

d_A قطر خارجی چرخ حلزون

d_2 قطر میانگین چرخ حلزون

p گام چرخ حلزون

m مدول حلزون وچرخ حلزون

Z_2 تعداد دندانه‌های چرخ حلزون

Z_1 تعداد دندانه‌های حلزون

d_{a2} قطردایره‌ی سر چرخ حلزون

C لقی سر دندانه‌ی چرخ حلزون

h_a ارتفاع سر دندانه‌ی چرخ حلزون

h_f ارتفاع پای دندانه‌ی چرخ حلزون

h ارتفاع دندانه

d_1 قطر میانگین حلزون

L طول راهنما در حلزون

λ زاویه‌ی راهنمای حلزون

ϕ_n زاویه ی فشار حلزون

V_s سرعت لغزش

V_w سرعت خط گام حلزون

v_G سرعت خط گام چرخ حلزون

n_w سرعت دورانی حلزون

n_G سرعت دورانی چرخ حلزون

$\mathcal{F}$ ضریب مالش حلزون و چرخ حلزون

δ حداقل ضخامت بدنه‌ی میز دوار

L طول بدنه

B عرض بدنه

H ارتفاع بدنه

D_2 قطر پولی متحرک

D_1 قطر پولی محرک

ξ ضریب لغزش تسمه وپولی

n_1 سرعت دورانی شفت موتور

n_2 سرعت دورانی شفت حلزونی

R_D دقت دورانی میز دوار

r_s دقت سرو موتور

i_1 نسبت انتقال پولی‌ها

i_2 نسبت انتقال گیربکس حلزونی

نام خانوادگی: زارع **نام:** امیر

عنوان پایان‌نامه: طراحی، تحلیل و ساخت میز دوار برای ربات ماشین‌ابزار

استاد راهنما: دکتر مهران محبوب‌خواه **استاد مشاور:** دکتر محمد زادشکویان

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته**: مهندسی مکانیک **گرایش**: ساخت وتولید **دانشگاه**: مراغه **دانشکده**: فنی مهندسی

تاریخ فارغ التحصیلی: شهریور ۱۳۹۳ **تعداد صفحه**: ۷۳

کلید واژه‌ها: طراحی اجزاء ، تحلیل اجزا محدود، چرخدنده‌ی حلزونی، ربات ماشین‌ابزار

چکیده

میز دوار یکی از اجزای مهم ماشین‌های ابزار می‌باشد. اجزاء و مکانیزم‌های مورد استفاده در میزهای دوار بسیار دقیق و متنوع هستند. مکانیزم‌های حرکتی پنوماتیکی، محرک غلتکی، محرک مستقیم و چرخدنده‌ی حلزونی از آن جمله‌اند. مکانیزم‌های نامبرده شده هرکدام مزایا و معایبی در کاربرد ماشین‌های ابزار دارند. ولی مکانیزم چرخدنده‌ی حلزونی یک مکانیزم رایج در بین سازندگان ماشین‌ابزار است، که دقت موقعیت‌دهی بالا را فراهم می کند و یکی از معایب آن این است که، وقتی خلاف جهت بارگذاری به حرکت در می‌آید، دقت کاهش می‌یابد.

در این پایان‌نامه میز دوار با مکانیزم چرخدنده‌ی حلزونی برای ربات ماشین ابزار پنج درجه‌ی آزادی طراحی شده است. میز دوار به عنوان محور دورانی پنجم ماشین‌ابزار محسوب شده و برای نگه-داشتن قطعه‌کار و دوران همزمان آن با چهار محور دیگر استفاده می‌شود.

در این تحقیق ابتدا طراحی تمام قطعات نظیر موتور، چرخدنده‌ها و غیره، برای یک ابعاد مشخصی از میز و با نیروهای وارد شده مشخص، انجام شده است. نیروهای وارده به میز با توجه به نیروهایی که در حین کارکرد ماشین‌ابزار وجود دارند، محاسبه شده و طراحی میز بر مبنای آن‌ها انجام گرفته

است. سپس برای بررسی میزان تغییرشکل‌ها و کیفیت طراحی انجام شده و صحه‌گذاری بر مراحل طراحی، مدل میز در نرم‌افزار ANSYS ایجاد و تحلیل شده است. در نهایت ساخت نمونه‌ی آزمایشگاهی با استفاده از میز دوار دستی آماده، مطابق با مکانیزم طراحی شده در این پایان‌نامه انجام گرفته است. همچنین تحلیل سفتی در نرم‌افزار ANSYS نیز روی مدل نهایی انجام شده که نتایج آن نشان می‌دهد، که در بارگذاری روی میز، تغییر شکل‌ها و خطاهای متوسط حاصل از آن 0.00003^0 می‌باشد.

مقدمه کلی

هدف از این پایان‌نامه طراحی اجزای میز دوار برای ربات ماشین‌ابزار پنج درجه‌ی آزادی می‌باشد. میز دوار به‌عنوان محور دورانی پنجم این ماشین‌ابزار محسوب می شود. این میز برای نگه‌داشتن قطعه و دوران همزمان آن با چهار محور دیگر ماشین استفاده خواهد شد. بنابراین باید مکانیزمی برای این میز انتخاب شود، که دارای توان و دقت موقعیت‌دهی مناسب برای کاربرد ماشین‌ابزار باشد. در این پایان‌نامه در ابتدا طراحی تمام قطعات (موتور، چرخدنده‌ها و...)، برای یک ابعاد مشخصی از میز و با نیروهای وارد شده مشخص انجام می‌شود. سپس برای بررسی دقت طراحی انجام شده قطعات میز، تحلیل‌های لازم جهت مشخص شدن طراحی مناسب با استفاده از نرم افزارهای اجزاء محدود انجام می‌شود.

در این تحقیق مطالب به شرح زیر ارائه می‌شود.

در فصل اول در ارتباط با اهمیت وکاربرد محورهای دوار در ماشین ابزارهای چند محوره و در صنعت کنونی مطالبی ارائه شده است، سپس انواع مکانیزم های میز دوار معرفی شده و مکانیزم مناسب با توجه به اصول طراحی ذکر شده انتخاب می شود. همچنین ربات ماشین ابزار پنج درجه آزادی که میز دوار محور پنجم آن می‌باشد معرفی می‌شود. در پایان این فصل در مورد موتورهای سرو، پله‌ای و انکودر دورانی که در طراحی میز دوار مدنظر قرار گرفته مطالبی ارائه شده است.

در فصل دوم اجزای اصلی میز دوار در حد نمونه‌ی آزمایشگاهی طراحی می شود. سپس برای بررسی صحت طراحی‌های انجام شده، تحلیل اجزا محدود انجام می‌گیرد. در پایان این فصل مراحل ساخت نمونه-ی آزمایشگاهی ارائه می‌شود.

در فصل سوم نتایج حاصل از تحقیق ارائه می‌شود.

فصل اول:

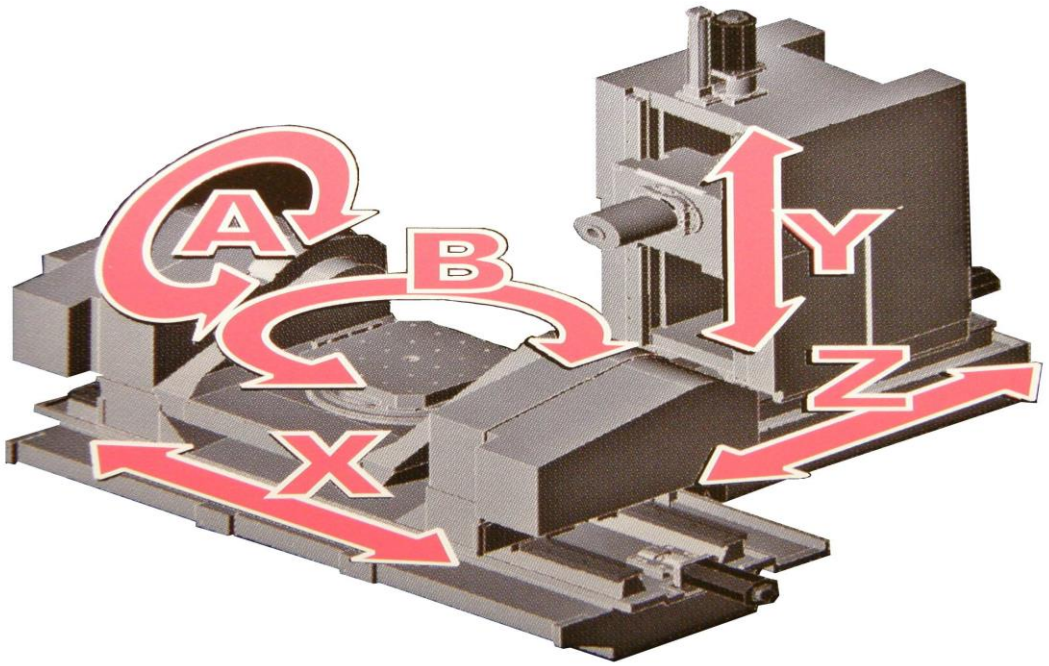
مقدمه و کلیات

فصل ۱

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

امروزه پله‌های ترقی تولید با استفاده از ماشین‌ابزارهای چندمحوره، که پاسخ‌گوی نیازمندی‌های قابلیت تولید و دقت موقعیت‌دهی است، طی می شود. ماشین‌ابزارهای چندمحوره دارای محورهای دوار و خطی هستند(شکل ۱-۱).



شکل(۱-۱). دستگاه فرز با محورهای دوار B وA [۶]

دقت محصول بیش‌تر به دقت حرکت قطعاتی که به ماشین‌ابزار مونتاژ می‌شوند، بستگی دارد. به همین دلیل میزهای دوار با عملکرد بالا به‌عنوان یک بخش ضروری برای ماشین‌ابزارهای چندمحوره هستند. این محورها هنوز در مرحله‌ی پیشرفت هستند[۱]. سازندگان نهایت تلاش خود را برای معرفی محورهای دوار با عملکرد بالا برای صنعت انجام داده‌اند. نگرانی محورهای دوار شامل لقی، سفتی و تاثیر پارامترهای دیگر بر روی دقت حرکت است[۳و۲].

انواع مختلفی از مکانیزم میز دوار توسط سازندگان ماشین‌ابزار معرفی شده است. مکانیزم چرخدنده‌ی حلزونی[۱] یک مکانیزم رایج در صنعت کنونی است،که دقت موقعیت‌دهی بالا را فراهم می‌کند. اما زمانی‌که در خلاف جهت بارگذاری به حرکت در می‌آید، به دلیل خاصیت سایشی سیستم چرخدنده‌ای دقت کاهش می‌یابد(شکل۱-۲)[۴]. برای بهبود خاصیت سایشی، چرخدنده‌های حلزونی مارپیچ[۲] گسترش یافته‌اند. این روش تماس بیشتر در سیستم متداول چرخدنده‌ای را فراهم می کند، که دارای دقت - موقعیت‌دهی و تکرارپذیری بالاست.

شکل(۱-۲). مکانیزم چرخدنده‌ی حلزونی[۷]

1- worm gear mechanisms
2- spiral worm gear

پژوهش‌های اخیر به سمت استفاده از مکانیزم محرک غلتکی[1] در ساختار میزهای دوار پیش می-رود. نتایج آزمایش عملکرد بالای این مکانیزم را در مقایسه با روش متداول چرخدنده‌ی حلزونی را نشان می دهد[۵].

یکی دیگر از مطالعات انجام شده در زمینه‌ی میزهای دوار، استفاده از مکانیزم محرک مستقیم[2] است، که معایب استفاده از سیستم چرخدنده‌ای را حذف می کند. در این مکانیزم میز دوار به طور مستقیم با نیروی الکترومغناطیسی موتور به حرکت در می‌آید[۶].

در این پروژه هدف طراحی میز دواری است که ساخت آن با وجود امکانات موجود میسر و حداکثر کارآیی را داشته باشد. به همین منظور مکانیزم‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت مناسب-ترین مکانیزم انتخاب می‌شود.

۱-۲- اهمیت وکاربرد میز دوار[۸]

میز دوار یک وسیله‌ی فلزکاری[3] بسیار دقیق است، که برای موقعیت‌دهی دقیق قطعه‌کار به کار می رود. همچنین می‌تواند عملیات سوراخکاری یا برش بر روی قطعه‌کار را در فاصله‌ی دقیق حول یک محور عمودی یا افقی انجام دهد. گونه‌های خاص از میز دوار به‌عنوان صفحه تقسیم در عملیات تقسیم استفاده می‌شوند.

میز دوار می‌تواند به صورت دستی یا توسط کامپیوتر کنترل شود. میزهای دوار اتوماتیک امروزه در دسترس هستند و به‌عنوان محور چهارم دستگاه های CNC استفاده می‌شوند. میزهای دوار برای اتصال به

1- roller drive mechanism
2- direct drive system
3- metal working