

طراحی ماشین ابزار و کنترل عددی

جلد اول: طراحی سازه ماشین ابزار

دکتر بهمن ناصر صادقیان

عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شهدای هویزه

۱۳۹۸



انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز

۷۷۳

سرشناسه	مهتا، ناریندر کومار	Mehta, Narinder Kumar
عنوان و نام پدیدآور	طراحی ماشین ابزار و کنترل عددی / [ناریندر کومار مهتا]؛ مترجم ناصر صادقیان.	
مشخصات نشر	اهواز: دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۹۸ -	
مشخصات ظاهری	ج.: مصور، جدول، نمودار.	
شابک	978-600-141-265-3	
وضعیت فهرست نویسی	فیبا	
یادداشت	عنوان اصلی: Machine Tool Design and Numerical Control, 3rd ed., 2017.	
یادداشت	کتابنامه.	
مندرجات	ج. ۱. طراحی سازه ماشین ابزار	
موضوع	ماشین‌های افزار - کنترل عددی	
موضوع	Machine-tools -- Numerical control	
موضوع	ماشین‌های افزار - طراحی	
موضوع	Machine-tools -- Design	
شناسه افزوده	س. قیان ناصر، ۱۳۵۷ - مترجم	
شناسه افزوده	دانشگاه شهید چمران اهواز	
شناسه افزوده	Shahid Chamran University of Ahvaz	
رده بندی کنگره	TJ1189	
رده بندی دیویی	90.23/621	
شماره کتابشناسی ملی	۶۰۸۵۷۹۳	

کلیه حقوق این کتاب برای ناشر محفوظ است و هرگونه استفاده از مطالب این کتاب اعم از چاپ کاغذی، الکترونیکی و یا قراردادن مطالب بر روی اینترنت و وب سایت بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع و بر اساس ماده ۲۳ قانون حقوق مولفان و مصنفان و قوانین مربوط به جرایم رایانه ای کشور قابل پیگیری در محاکم قضایی می باشد.

ISBN-978-600-141-265-3



9

786001 1265

عنوان: طراحی ماشین ابزار و کنترل عددی

ترجمه: دکتر ناصر صادقیان

ویراستار علمی: دکتر محمد سجاد مهدیه

ویراستار ادبی: دکتر سیده بی بی زینب افضل

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: ۱۳۹۸

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

ناشر: اداره چاپ و انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز

لینوگرافی، چاپ و صحافی: اداره چاپ و انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز

بهاء: ۴۵۰۰۰ تومان

اهواز، میدان دانشگاه، دانشگاه شهید چمران اهواز، ابتدای خیابان استاد بیات فر، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز

کدپستی: ۶۱۳۵۷۸۳۱۵۱ پست الکترونیک: press@scu.ac.ir - تارنما: <http://scu.ac.ir>

بخش و فروش: ۳۳۳۱۰۷۲ و ۳۳۳۳۱۵۴۲ (۰۶۱) - ۶۶۴۹۴۴۰۹ و ۶۶۴۱۱۱۷۳ (۰۲۱)

پیش‌گفتار

در مورد کتاب

اولین ویرایش کتاب در سال ۱۹۸۴ با عنوان «طراحی ماشین ابزار» منتشر شد که منطبق بر موضوع دوره ارائه شده در دانشکده مهندسی کشور بود. انگیزه نگارش این کتاب، تهیه یک متن پایه برای دانشجویان دوره کارشناسی بود که به صورت یک منبع مفید برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی و مهندسان صنعتی نیز مورد توجه قرار گرفت.

ویرایش دوم، کتاب در سال ۱۹۹۶ و تحت تأثیر محدودیت موضوعی ناشی از پیشرفت‌های کنترل عددی در سال‌های گذشته منتشر شد؛ بنابراین قسمت کنترل عددی ماشین‌های ابزار نیز به ادامه کتاب ملحق شده است. نتیجه عنوان کتاب در ویرایش دوم "طراحی ماشین ابزار و کنترل عددی" در نظر گرفته شد.

در حال حاضر و "رژرنگ" کتاب صرف‌کننده "تجدید نظر سومین ویرایش به صورتی انجام شده که خواننده را مجذوب سازد" تغییرات کتاب به‌طور عمده از بازخورد ارزیابان و خوانندگان که به دست ناشر گردآوری شده، حاصل شده است. ویرایش‌های مهم این ویرایش، به صورت خلاصه عبارت است از:

- زیربخش "محاسبات زمان ماشین‌کاری" در فصل نخست اضافه شده است. قسمت برجسته این بخش، محاسبه زمان ماشین‌کاری در این مایات سنگ‌زنی است که معمولاً در متون مربوط یافت نمی‌شود.
- بخش اصلی "سینماتیک ماشین‌های ابزار" در فصل دوم اضافه شده است که در آن دیاگرام‌های چرخ‌دنده‌ای ماشین‌های تراش و سوراخکاری بحث شده در یک بهتری از طراحی جعبه دنده واقعی به خواننده می‌دهد. ویژگی جذاب این بخش، ارائه بحث مرتبط با رزوه‌تراشی بر روی ماشین تراش و عملیات مرتبط با کله‌گی ایندکس بر روی دستگاه فرز است که بر اساس اصول سرانگشتی مورد استفاده در بیشتر کتاب‌های موجود (کارگاهی) است به نظر می‌رسد که این بخش محتوای مناسبی برای فرمول‌بندی پروژه‌های طراحی و تمرین دانشجویان سال آخر تخصص‌های مهندسی مکانیک و ساخت و تولید داشته باشد.
- در ویرایش دوم، دستورالعمل طراحی جعبه‌دنده ماشین ابزار با محاسبه تعداد دندانه چرخ‌دنده‌ها اتمام یافته بود. در ویرایش اخیر، این قسمت با افزودن بحث منطقی "تعیین ابعاد محور و چرخ‌دنده" در فصل دوم تداوم یافته است.
- زیربخش "طراحی بستر ماشین تراش" در فصل سوم اضافه شده است که با ارائه مثال حل‌شده‌ای، جزئیات مفاهیم تنوری را در عمل نشان داده است. این مبحث برای فرمول‌بندی کردن پروژه‌های طراحی و مسایل مستقل نه تنها برای بسترهای ماشین‌های ابزار بلکه برای سایر

- اجزای سازه‌ای ماشین ابزار مانند پایه‌ها، ستون‌ها و میزها نیز قابل استفاده است.
- تعداد زیادی مثال حل شده به ویژه در فصل‌های نخست تا سوم اضافه شده است تا درک موضوعات ارائه شده تسهیل شود. به علاوه، اغلب پرسش‌های مروری جدید نیز به تمام فصول اضافه شده است.
- فضای یادگیری-یاددهی این کتاب شامل ۳۹ مثال حل شده، ۸۵ پرسش مروری (در کتاب ترجمه حاضر) است.

ساختار کتاب

کتاب (در ترجمه حاضر) در پنج فصل سازماندهی شده است. فصل نخست، مباحث مقدماتی مروری بر مفاهیم پایه‌ای طراحی کاربری و کمکی ماشین‌های ابزار و ماحسبه زمان ماشینکاری عملیات مختلف دارد. همچنین در کلی بر احای انتقال قدرت هیدرولیکی و مکانیکی به کار رفته در ماشین ابزار به دست می‌دهد. بخش چیدمان ماشین‌های ابزار مختص این کتاب است و کاملاً مبتنی بر مفاهیم مرتبط با گسترش توجه به مدون کردن و پیکربندی مجدد در ماشین‌های کنترل عددی (CNC) است.

فصل دوم مربوط به توفیق نواعد طیم سرعت و پیشروی (تغذیه) در ماشین‌های ابزار است و با جزئیات طراحی جعبه‌دنده‌های انتقال پیوسته‌ای ادامه یافته است، به طوری که تمام زیر و بم موضوع از انتخاب دیاگرام ساختاری بهینه و نمودار سرعت تا انتهای دیاگرام دنده‌ای و تعیین ابعاد محور و چرخ دنده را شامل می‌شود. بخش جداگانه مربوط به طراحی جعبه‌دنده با موتورهای چندسرعت و جعبه‌دنده‌های مخصوص با سرعت‌های روی هم افتاده، تصادف هندسی شکسته و... ارائه شده است.

تنظیم پیوسته سرعت و آهنگ پیشروی با روش‌های الکتریکی هیدرولیکی و مکانیکی به تفصیل ارائه شده است. برای درک بهتر، سینماتیک عملیات ماشینکاری رز برآشی بر روی دستگاه تراش و عملیات مربوط به کله‌گی ایندکس بر روی دستگاه فرز آورده شده است. در آن اصول اولیه محاسبات سرانگشتی موجود در منابع ماشینکاری، استفاده شده است.

در فصل سوم، کارکردها و نیازمندی‌های سازه‌های ماشین‌های ابزار ارائه شده و با معیارهای طراحی و کاربری آنها در اجزای ساختمانی نظیر بسترها، پایه‌ها، ستون‌ها و... ادامه یافته است. طراحی با انتخاب شکل اجزای سازه‌ای و استحکام بخشی آنها با تقویت کننده‌ها به تفصیل و با ارائه داده‌های متعدد بحث شده است. از دیدگاه پیچیدگی پیکربندی و سیستم نیرویی، تحلیل تئوری طراحی واقعی اجزای سازه‌ای ماشین ابزار به قدرت امکان پذیر است. از این رو تکنیک‌های مدل سازی، قسمت ضروری تأیید طراحی آنهاست و مبنای این روش‌ها در انتهای فصل ارائه شده است.

بیان عملکرد و طبقه‌بندی راهگاه‌ها در فصل چهارم آورده شده است. معیارهای طراحی راهگاه‌های لغزشی بحث شده و دستورالعمل تفصیلی طراحی این نوع راهگاه‌ها برای مقاومت به سایش و ایجاد سفتی بر مبنای فشار میانگین و بیشینه تبیین شده است. انتخاب پروفیل‌های راهگاهی و روش‌های

تنظیم لقی و حفاظت راهگاه‌ها به کمک تصاویر ساده، توضیح داده شده است. طراحی راهگاه‌های لغزشی هیدرودینامیکی، هیدروستاتیکی، آبروستاتیکی و ضد اصطکاکی با جزئیات هر کدام توصیف شده است که با نمودارها و داده‌های طراحی مرتبط تحلیل شده‌اند. مضاف بر این، طراحی پیچ‌های قدرت با اصطکاک لغزشی و غلتشی نیز در این مبحث آورده شده است.

در فصل پنجم، عملکرد و نیازمندی‌های اسپیندل‌های ماشین‌های ابزار به بحث گذاشته شده است و اثر نرمی اسپیندل و تکیه‌گاه‌های آن بر روی دقت ماشینکاری تحلیل و بررسی گردیده است. بخش عمده این فصل به طراحی یاتاقان‌های لغزشی، یاتاقان‌های ژورنال هیدرودینامیکی و هیدروستاتیکی و تکیه‌گاه‌های آبرودینامیکی و آبروستاتیکی اختصاص یافته است و با تحلیل مقادیر و نمودارهای طراحی مربوط به آن پوشش داده شده است. موارد ویژه ماشین‌های ابزار نظیر شرایط کاری، ترکیب‌بندی مناسب یاتاقان برای انواع ماشین‌های ابزار و بارگذاری یاتاقان‌ها با جزئیات بحث شده‌اند.

فهرست مطالب

پیش‌گفتار.....	ه
پیش‌گفتار مترجم.....	ط
تقریظ.....	ک
تقدیر و تشکر.....	م
فصل نخست: مقدمه‌ای بر محرکه‌ها و مکانیزم‌های ماشین ابزار - اصول طراحی ماشین ابزار..	
۱-۱- حرکت‌های آری و کالی در ماشین‌های ابزار.....	۲
۲-۱- عوامل تعیین‌کننده حرکت‌های کاری ماشین ابزار.....	۳
۱-۲-۱- محاسبه زمان ماشین‌آلات.....	۵
۳-۱- محرکه‌های ماشین ابزار.....	۲۰
۱-۳-۱- انتخاب موتور الکتریکی.....	۲۱
۴-۱- انتقال هیدرولیکی و اجزای آن.....	۲۴
۵-۱- انتقال مکانیکی و اجزای آن.....	۳۷
۱-۵-۱- انتقال‌های اصلی حرکت دورانی.....	۳۷
۲-۵-۱- انتقال حرکت دورانی به خطی.....	۴۲
۳-۵-۱- دستگاه‌های حرکت نوبتی.....	۴۷
۴-۵-۱- مکانیزم‌های معکوس‌سازی و دیفرانسیل.....	۴۹
۵-۵-۱- مکانیزم‌های ویژه و ابزارها.....	۵۴
۶-۵-۱- کوپلینگ‌ها و کلاچ‌ها.....	۵۴
۶-۱- پیش‌نیازهای فنی - اقتصادی در طراحی ماشین ابزار نو.....	۵۹
۷-۱- نیازمندی‌های عمومی طراحی ماشین ابزار.....	۶۱
۸-۱- فرایند طراحی مهندسی اعمالی به ماشین‌های ابزار.....	۶۴
۹-۱- طرح‌بندی ماشین ابزار.....	۶۸
پرسش‌های مروری.....	۷۵
مراجع.....	۷۸

- فصل دوم- تنظیم سرعت و آهنگ‌های پیشروی..... ۷۹
- ۱-۲- هدف تنظیم سرعت و آهنگ‌های پیشروی..... ۷۹
- ۲-۲- تنظیم پله‌ای سرعت: طراحی جعبه سرعت..... ۸۰
- ۱-۲-۲- قواعد مختلف تنظیم پله‌ای..... ۸۰
- ۲-۲-۲- اطلاعات اولیه ضروری در طراحی جعبه سرعت: انتخاب نسبت بازه..... ۸۷
- ۳-۲-۲- مقادیر استاندارد قدر نسبت تصاعد هندسی و راهنمای مقدار مناسب..... ۹۰
- ۴-۲-۲- تفکیک مراحل سرعت..... ۹۳
- ۵-۲-۲- نمودارهای ساختاری و تحلیل آنها در انتخاب بهترین ویرایش ممکن..... ۹۵
- ۶-۲-۲- نمودار سرعت..... ۱۰۱
- ۳-۲-۳- طراحی جعبه پیشروی..... ۱۰۵
- ۴-۲- محرک‌های ماشین ابزار با استفاده از موتورهای چند سرعت..... ۱۱۱
- ۵-۲- موارد ویژه طراحی جعبه دنده..... ۱۱۴
- ۱-۵-۲- جعبه سرعت پله‌ای سرعت روی هم..... ۱۱۶
- ۲-۵-۲- جعبه سرعت با تعداد دندانی شکسته..... ۱۱۹
- ۳-۵-۲- جعبه سرعت با سامانه تریبی..... ۱۲۰
- ۶-۲- توصیه‌های کلی برای تهیه نمودارهای..... ۱۲۴
- ۷-۲- تعیین تعداد دندانه در چرخ‌دنده‌ها..... ۱۲۸
- ۱-۷-۲- تعیین ابعاد محور و چرخ‌دنده..... ۱۳۱
- ۸-۲- طبقه‌بندی جعبه‌های سرعت و پیشروی..... ۱۳۷
- ۱-۸-۲- طبقه‌بندی جعبه‌های سرعت..... ۱۳۷
- ۲-۸-۲- طبقه‌بندی جعبه‌های پیشروی..... ۱۴۱
- ۹-۲- تنظیم پیوسته سرعت و آهنگ پیشروی..... ۱۴۵
- ۱-۹-۲- تنظیم غیرپله‌ای هیدرولیکی سرعت و آهنگ‌های پیشروی..... ۱۴۶
- ۲-۹-۲- تنظیم غیرپله‌ای الکتریکی سرعت و آهنگ پیشروی..... ۱۵۲
- ۳-۹-۲- تنظیم غیرپله‌ای مکانیکی سرعت و آهنگ پیشروی..... ۱۵۷
- ۱۰-۲- سینماتیک ماشین‌های ابزار..... ۱۶۶
- ۱-۱۰-۲- نمودار دنده‌ای جعبه سرعت ماشین تراش رزوه‌تراشی..... ۱۶۶
- ۲-۱۰-۲- نمودار دنده‌ای جعبه سرعت ماشین تراش دارای واریاتور مکانیکی..... ۱۶۹
- ۳-۱۰-۲- سینماتیک رزوه‌تراشی بر روی ماشین تراش..... ۱۷۲
- ۴-۱۰-۲- نمودار دنده‌ای ماشین سوراخکاری..... ۱۷۸
- ۵-۱۰-۲- نمودار دنده‌ای جعبه سرعت دستگاه فرز افقی..... ۱۸۲

۱۸۴	۲-۱۰-۶- کله‌گی ایندکس و سینماتیک عملیات ایندکس
۱۹۲	پرسش‌های مروری
۱۹۶	مراجع
۱۹۷	فصل سوم: طراحی سازه‌های ماشین ابزار
۱۹۷	۳-۱- کارکردهای سازه‌های ماشین ابزار و نیازهای آنها
۱۹۸	۳-۲- معیارهای طراحی سازه‌های ماشین ابزار
۲۰۱	۳-۳- مواد سازه‌های ماشین ابزار
۲۰۷	۳-۴- صلبیت استاتیکی و دینامیکی
۲۰۸	۳-۴-۱- صلبیت استاتیکی
۲۱۱	۳-۴-۲- سفتی دینامیکی
۲۱۵	۳-۵- پروفیل‌های سازه‌های ماشین ابزار
۲۱۷	۳-۵-۱- عوامل اثر بر دینامیک سازه‌های ماشین ابزار و روش‌های بهبود آن
۲۲۲	۳-۶- دستورالعمل طراحی پایه‌های سازه‌های ماشین ابزار
۲۲۵	۳-۶-۱- طراحی استحکام
۲۲۸	۳-۶-۲- طراحی برای سفتی
۲۳۱	۳-۷- طراحی بسترها
۲۳۷	۳-۷-۱- طراحی بستر ماشین تراش
۲۴۷	۳-۸- طراحی ستون‌ها
۲۵۰	۳-۹- طراحی پوسته‌ها
۲۵۴	۳-۱۰- طراحی پایه‌ها و میزها
۲۵۶	۳-۱۱- طراحی ریل‌های عرضی، بازوها، زین‌ها و حماله‌ها
۲۵۸	۳-۱۲- طراحی سنبه‌ها
۲۶۰	۳-۱۳- روش مدل‌سازی در طراحی سازه‌های ماشین ابزار
۲۶۶	پرسش‌های مروری
۲۷۰	مراجع
۲۷۱	فصل چهارم - طراحی راهگاه‌ها و پیچ‌های قدرت
۲۷۱	۴-۱- کارکردها و انواع راهگاه‌ها
۲۷۱	۴-۱-۱- انواع راهگاه‌های لغزشی
۲۷۳	۴-۱-۲- انواع راهگاه‌های ضداصلطاک
۲۷۳	۴-۲- طراحی راهگاه‌های لغزشی

۲۷۴	۱-۲-۴- شکل‌های راهگاه لغزشی.....
۲۷۵	۲-۲-۴- مواد راهگاه‌های لغزشی.....
۲۷۹	۳-۲-۴- روش‌های تنظیم لقی در راهگاه‌های لغزشی.....
۲۸۲	۳-۳-۴- معیارهای طراحی و محاسبات راهگاه‌های لغزشی.....
۲۸۳	۱-۳-۴- طراحی راهگاه لغزشی برای مقاومت سایشی.....
۲۹۰	۲-۳-۴- طراحی راهگاه لغزشی برای صلیبیت.....
۲۹۲	۴-۴- کارکرد راهگاه‌ها تحت شرایط اصطکاک مایع.....
۲۹۳	۱-۴-۴- طراحی راهگاه‌های لغزشی هیدرودینامیکی.....
۲۹۷	۲-۴-۴- طراحی راهگاه‌های هیدروستاتیکی.....
۳۱۱	۵-۴- طراحی راهگاه‌های لغزشی آیرواستاتیک.....
۳۱۳	۶-۴- طراحی راهگاه‌های لغزشی ضد اصطکاکی.....
۳۲۰	۷-۴- راهگاه‌های ترکیبی.....
۳۲۰	۱-۷-۴- راهگاه‌های لغزشی با بخلیه هیدرولیکی.....
۳۲۱	۲-۷-۴- راهگاه‌های لغزشی با غشای غلظتی.....
۳۲۲	۸-۴- ابزارهای محافظتی برای راهگاه‌ها.....
۳۲۴	۹-۴- طراحی پیچ‌های قدرت.....
۳۲۴	۱-۹-۴- طراحی پیچ‌های قدرت با اصطکاک لغزشی.....
۳۳۰	۲-۹-۴- طراحی پیچ‌های قدرت با اصطکاک غلظتی.....
۳۳۵	برسش‌های دوره‌ای.....
۳۳۷	مراجع.....

فصل پنجم - طراحی اسپیندل‌ها و نگهدارنده‌های آن..... ۳۳۹

۳۳۹	۱-۵- کارکردهای واحد اسپیندل و نیازمندی‌ها.....
۳۴۰	۲-۵- مواد اسپیندل.....
۳۴۲	۳-۵- اثر نرمی ماشین ابزار بر روی دقت ماشینکاری.....
۳۴۷	۴-۵- محاسبات طراحی اسپیندل.....
۳۴۷	۱-۴-۵- خیز محور اسپیندل ناشی از خمش.....
۳۴۸	۲-۴-۵- خیز محور اسپیندل ناشی از نرمی تکیه‌گاه‌های اسپیندل.....
۳۵۰	۳-۴-۵- فاصله‌گذاری بهینه بین تکیه‌گاه‌های اسپیندل.....
۳۵۲	۴-۴-۵- خیز ناشی از نرمی مفصل مخروطی.....
۳۵۵	۵-۴-۵- خیز مجاز و طراحی سفتی: بررسی افزون بر استحکام.....
۳۵۷	۵-۵- یاتاقان‌های ضد اصطکاکی.....

- ۳۶۰ ۵-۵-۱- پیش- بار دهی یاتاقان‌های ضد اصطکاکی
- ۳۶۴ ۵-۶- یاتاقان‌های لغزشی
- ۳۶۷ ۵-۶-۱- یاتاقان‌های آستینی
- ۳۶۹ ۵-۶-۲- یاتاقان‌های ژورنال هیدرودینامیکی
- ۳۷۸ ۵-۶-۳- یاتاقان‌های ژورنال هیدروستاتیکی
- ۳۸۴ ۵-۶-۴- یاتاقان‌های هوا- روانکار
- ۳۸۹ بررسی‌های مروری
- ۳۹۱ مراجع