

تکامل چرخ‌دنده‌ها و ماشین ابزارهای چرخ‌دنده‌تراشی

محمد جواد ناطق
دانشگاه، تربیت مدرس

۱۳۹۷



سرشناسه	ناطق، محمدجواد، ۱۳۳۱ -
عنوان و نام پدیدآور	تکامل چرخ‌دنده‌ها و ماشین ابزارهای چرخ‌دنده تراشی / محمدجواد ناطق.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه تربیت مدرس، مرکز نشر آثار علمی، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	۳۵۸ص: مصور، جدول، نمودار.
فروست	مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس: ۲۴۶.
شابک	978-600-7589-80-9
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	واژه‌نامه.
یادداشت	کتابنامه.
یادداشت	ابه.
موضوع	چرخ‌دنده
موضوع	Gearing
موضوع	چرخ‌دنده و ساختار
موضوع	Gearing -- Design and construction
موضوع	چرخ‌دنده‌ری
موضوع	Gear-cutting machines
شناسه افزوده	دانشگاه تربیت مدرس، مرکز نشر آثار علمی
شناسه افزوده	Tarbiat Moallemeh University, TMU Press
رده بندی کنگره	TJ۱۸۴/۵۲۸ ۱۳۹۷
رده بندی دیویی	۶۲۱/۸۳۳
شماره کاتالوگ	۵۵۳۰۰۶
عنوان کتاب	تکامل چرخ‌دنده‌ها و ماشین ابزارهای چرخ‌دنده تراشی
نگارنده	دکتر محمدجواد ناطق
ویراستار ادبی و فنی	دکتر رضا بیات
کارشناس اجرایی	فاطمه طالبی
طراح جلد	ترنج
صفحه‌آرایی	فرشته نجفی
شماره انتشار	۲۴۶
شماره پیاپی	۳۱۹
تاریخ انتشار	۱۳۹۷
شمارگان	۱۰۰۰
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۷۵۸۹-۸۰-۹
ناشر	انتشارات دانشگاه تربیت مدرس
نوبت چاپ	اول
ناظر چاپ	مصطفی جانجانی
لیتوگرافی	ایران گرافیک
چاپ و صحافی	قشقای
مرکز پخش	تقاطع بزرگراه‌های ال‌احمد و دکتر جمران، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی: ۱۴۱۱۵-۳۱۸
تلفن	۸۲۸۸۳۰۹۶
دورنگار	۸۲۸۸۳۰۳۲
آدرس اینترنتی فروش	pub.modares.ac.ir
بها	۴۳۰۰۰۰ ریال

فهرست مطالب

.....	نشانه‌ها	۸
.....	پیشگفتار	ط
بخش اول - چرخ‌دنده‌ها		
.....	فصل ۱- چرخ‌دنده‌های ابتدایی	۳
.....	۱- ۱ چرخ‌دنده در دوران باستان و سده‌های میا	۳
.....	۱- ۲ تکامل چرخ‌دنده در غرب	۷
.....	فصل ۲- پیدایش چرخ‌دنده‌های سیکلوئیدی و اینولوتی	۱۵
.....	۲- ۱ پیدایش چرخ‌دنده‌های سیکلوئیدی	۱۵
.....	۲- ۲ دندانه‌نگار	۳۲
.....	۲- ۳ پیدایش چرخ‌دنده‌های اینولوتی	۳۴
.....	۲- ۴ چرخ‌دنده‌های مارپیچی و حلزونی	۳۷
.....	فصل ۳- سینماتیک چرخ‌دنده‌های اینولوتی	۳۹
.....	۳- ۱ چرخ‌دنده ساده	۳۹
.....	۳- ۲ شانه‌دنده	۵۱
.....	۳- ۳ چرخ‌دنده مارپیچی	۵۳
.....	۳- ۴ استانداردهای چرخ‌دنده‌ها	۵۸

فصل ۴- چرخ‌دنده‌های مخروطی و سامانه‌های حلزونی ۶۱

۴-۱ چرخ‌دنده‌های مخروطی ۶۱

۴-۲ سامانه‌های حلزونی ۶۷

۴-۳ سینماتیک حلزونی و چرخ‌حلزون ۷۰

۴-۴ انواع محرکه‌های حلزونی ۷۴

فصل ۵- اصلاح چرخ‌دنده‌ها ۸۴

۵-۱ لزوم اصلاح چرخ‌دنده‌ها ۸۴

۵-۲ تداخا و زبری، و چگونگی دوری‌جستن از آنها ۸۵

۵-۳ رهایش نوک و ریش ۸۷

۵-۴ تاجی‌سازی ۸۸

فصل ۶- چرخ‌دنده‌های ویژه ۹۲

۶-۱ چرخ‌دنده‌های غیردایره‌ای ۹۲

۶-۲ سینماتیک چرخ‌دنده غیردایره‌ای ۹۳

۶-۳ نمونه‌هایی از کاربرد چرخ‌دنده‌های ویژه در ابزارهای گوناگون ۹۷

۶-۴ سینترده چرخ‌دنده‌های ویژه ۱۰۹

۶-۵ چرخ‌دنده‌های غیردایره‌ای امروزی ۱۱۲

بخش دوم - ماشین‌ابزارهای چرخ‌دنده تراشی

فصل ۷- تکامل روش‌های چرخ‌دنده تراشی ۱۱۸

۷-۱ مقدمه ۱۱۸

۷-۲ روش‌های جدید چرخ‌دنده تراشی ۱۲۱

۷-۳ سازوکارهای ایندکس ۱۲۷

فصل ۸- ماشین‌کاری چرخ‌دنده به‌روش شکل‌تراشی ۱۳۰

۸-۱ تشریح فرایند ۱۳۰

۸-۲ تکامل ماشین‌های شکل‌تراشی چرخ‌دنده ۱۳۲

۸-۳ دستگاه شکل‌تراشی چرخ‌دنده بر روی ماشین‌تراش ۱۳۷

۸-۴	شکل تراشی چرخ‌دنده در ماشین‌های صفحه‌تراش	۱۴۰
۸-۵	چرخ‌دنده‌تراشی در ماشین‌های فرز	۱۴۲
۸-۶	خان‌کشی چرخ‌دنده	۱۴۶
فصل ۹-	ماشین‌کاری چرخ‌دنده به روش مولد	۱۵۰
۹-۱	ماشین‌کاری چرخ‌دنده به روش هابینگ	۱۵۰
۹-۲	ماشین‌کاری مولد چرخ‌دنده با صفحه‌تراشی	۱۵۶
۹-۳	رنده‌کاری چرخ‌دنده	۱۶۸
۹-۴	شیرازی حلزونی و چرخ‌حلزون	۱۷۵
۹-۵	گرد کردن و سر دانه‌ها	۱۷۶
فصل ۱۰-	ماشین‌کاری چرخ‌دنده‌های مخروطی (۱)	۱۷۷
۱۰-۱	تکامل روش مولد برای ماشین‌کاری چرخ‌دنده‌های مخروطی	۱۷۷
۱۰-۲	ماشین‌های گلیسون برای ماشین‌کاری چرخ‌دنده‌های مخروطی	۱۸۸
۱۰-۳	تشریح ماشین‌های گلیسون	۱۸۹
فصل ۱۱-	ماشین‌کاری چرخ‌دنده‌های مخروط (۲)	۲۰۳
۱۱-۱	ابزارهای ماشین‌کاری چرخ‌دنده‌های مخروطی	۲۰۳
۱۱-۲	تنظیمات اصلی ماشین‌های ماشین‌کاری چرخ‌دنده‌های مخروطی	۲۰۵
۱۱-۳	ماشین‌کاری چرخ‌دنده مخروطی با ابزار برشی به هم پیوسته	۲۰۸
۱۱-۴	ماشین‌های جدید با راهگاه‌های کارت‌زینی	۲۱۱
فصل ۱۲-	ماشین‌کاری چرخ‌دنده‌های غیردایره‌ای	۲۱۹
۱۲-۱	تاریخچه ماشین‌کاری چرخ‌دنده‌های غیردایره‌ای	۲۱۹
۱۲-۲	فناوری امروزی ماشین‌کاری چرخ‌دنده‌های غیردایره‌ای	۲۲۳
فصل ۱۳-	پرداخت‌کاری چرخ‌دنده‌ها: شیونگ	۲۳۴
۱۳-۱	پرداخت‌کاری چرخ‌دنده‌ها	۲۳۴
۱۳-۲	فرایند شیونگ	۲۳۵
۱۳-۳	ابزار شیونگ	۲۳۶
۱۳-۴	روش‌های شیونگ	۲۳۸

۲۴۱	.....	۱۳- ۵ ماشین‌های شیوینگ چرخ دنده
۲۴۸	.....	۱۳- ۶ شیوینگ با ابزار شانه دنده‌ای
۲۵۰	.....	فصل ۱۴- پرداخت کاری چرخ دنده‌ها: سنگ زنی
۲۵۰	.....	۱۴- ۱ فرایند سنگ زنی چرخ دنده
۲۵۱	.....	۱۴- ۲ سنگ زنی چرخ دنده به روش شکل سایی
۲۵۶	.....	۱۴- ۳ سنگ زنی چرخ دنده به روش مولد
۲۵۸	.....	۱۴- ۴ روش‌های سنگ زنی مولد
۲۶۳	.....	۱۴- ۵ سنگ زنی چرخ دنده‌های مخروطی
۲۶۶	.....	فصل ۱۵- پرداخت کاری چرخ دنده‌ها: هونینگ، لینگ و صیقل کاری
۲۶۶	.....	۱۵- ۱ هونینگ چرخ دنده
۲۶۸	.....	۱۵- ۲ تیزکاری ابزارهای سنگ زنی هونینگ
۲۷۳	.....	۱۵- ۳ لینگ چرخ دنده
۲۷۸	.....	۱۵- ۴ صیقل کاری چرخ دنده
۲۸۶	.....	مراجع
۲۹۶	.....	واژه نامه فارسی به انگلیسی
۳۰۴	.....	واژه نامه انگلیسی به فارسی
۳۱۲	.....	نمایه استاندارد ها
۳۱۴	.....	نمایه بنگاه‌ها و نام‌های تجاری
۳۱۶	.....	نمایه جاها
۳۱۸	.....	نمایه کسان
۳۲۰	.....	نمایه مواد
۳۲۲	.....	نمایه موضوعی

پیشگفتار

"هیچ نوع ماشین‌آزاری وجود ندارد که طراحی آن بیش از ماشین‌های چرخ‌دنده‌تراشی به اهمیت نیاز داشته باشد. روش‌های چرخ‌دنده‌تراشی آن‌قدر متعدد و شرایط آن‌قدر متنوع است، و زمینه ابتکار در کاربرد اصول هندسی سازوکارهای به‌کاررفته تقریباً آن‌قدر نامحدود است که تنوع شگفت‌آوری در طراحی و ساخت، ایجاد شده است؛ روزه‌های مطالعاتی فراهم شده که بهره‌آ آن از مکانیک و مهندسی، بی‌همتا است."

(Flanders, 1909 #271، ص ۱)

"با ارائه این کتاب کوچک به عموم مکانیک‌دانان، به خوبی آگاهم قدم در میدان کهنی می‌نهم و وقت و تلاش را صرف موضوعی نرده‌ام که تقریباً به قدمت این خاک‌دان است."

(Croswell, 1884)، ص iii)

دو فرازی که در بالا به نقل از فلندرز و کرامول آمده، به روشنی ضرورت نوشتن دربارهٔ

1. There is no form of machine tool which has called for more ingenuity in design than the gear-cutting machine. The methods by which gears may be cut are so numerous, the requirements are so varied, the possible application of ingenious geometrical principles through the mechanism used are so nearly limitless, that a wonderful variety in design and construction has been evolved, affording a field of study which is unparalleled in its interest to the mechanic and engineer. (Flanders, 1909 #297), p. 1)

2. In presenting to the mechanical public this little work, I am fully aware that I am treading upon well-known ground, and that I have devoted time and effort to a subject which is well-nigh "old as the hills," ...

سیر تکامل چرخ‌دنده و ماشین‌های چرخ‌دنده‌تراشی را نشان می‌دهد؛ نوشتنی نه در قد و قواره یک کتاب، بلکه در قالب کتاب‌ها و مقالات متعدد تا بتوان از عهده تشریح طراحی و ساخت قطعه‌ای به نام چرخ‌دنده برآمد که تقریباً هیچ ماشینی و هیچ زنجیره انتقال قدرتی در طول تاریخ از آن بی‌نیاز نبوده و نیست. به همین دلیل کتاب‌هایی در مقاطع گوناگون به نگارش درآمده که تاریخچه طراحی و ساخت چرخ‌دنده و ماشین‌های چرخ‌دنده‌تراشی را تا آخرین پیشرفت‌های زمان خود بررسی کرده است. این سنت همچنان ادامه دارد.

در کتاب یس. رو به تاریخچه چرخ‌دنده‌ها و ماشین‌های چرخ‌دنده‌تراشی به مراتب بیش از آن‌چه برای کتاب‌های طراحی مرسوم است پرداخته شده است. طراحی چرخ‌دنده‌ها در دانشگاه‌ها در دوره آشنایی به یکی دو فصل در کتاب‌های طراحی ماشین و اجزای آن محدود می‌شود و ضمن آن طراحی چرخ‌دنده‌ها در چارچوب اصول مقاومت مصالح مطرح می‌شود. معمولاً پس از دوره کارشناسی، پرسش‌هایی ریشه‌ای در ذهن دانش‌پژوهان شکل می‌گیرد که به چرایی راه‌حل‌های مهندسی طرح شده در کتاب‌های درسی برمی‌گردد، این پرسش‌ها از این نظر که می‌تواند منشأ تحول علم و فناوری شود ارزنده است و انتظار می‌رود که دوره تحصیلات تکمیلی بتواند به این نیاز ردازد. دانش‌پژوه در این دوره به تفکر در راه‌حل‌های کلاسیک روی می‌آورد و چه به این فرایند به راه‌حل‌های جدیدتری بینجامد. مباحث دوره‌های تحصیلات تکمیلی باید به دانش‌پژوه در یافتن پرسش‌های ریشه‌ای در زمینه مهندسی کمک کند، اما برای دریافت فلسفه اصل‌های مهندسی باید تاریخچه راه‌حل‌های مهندسی را پی گرفت. در کتابی که پیش روست سعی شده تاریخچه‌ای نسبتاً مبسوط در زمینه فناوری چرخ‌دنده و ماشین‌های چرخ‌دنده‌تراشی ارائه شود.

از طرفی دانشجوی مهندسی تمایل ندارد در تاریخ بماند و پس از آشنایی با تاریخچه موضوع، دل‌بسته آن است که هرچه زودتر به راه‌حل‌های موجود بپردازد چه‌بسا در این مسیر از راه‌حل‌های موجود هم فراتر رود و به راه‌حل‌های جدیدی دست یابد. از این نظر در کتاب حاضر سعی شده تاریخچه فناوری چرخ‌دنده و چرخ‌دنده‌تراشی به فناوری امروزی پیوند بخورد و وزن فناوری معاصر بیشتر باشد.

در این کتاب از تکرار مباحث طراحی چرخ‌دنده بر اساس اصول مقاومت مصالح که در دوره کارشناسی مطرح می‌شود پرهیز شده و تطوّر طراحی چرخ‌دنده‌ها و ماشین‌های چرخ‌دنده‌تراشی و اصول سینماتیکی حاکم بر آنها که معمولاً برای فارغ‌التحصیلان دوره کارشناسی تازگی دارد مورد بحث قرار گرفته است.

این کتاب ویژگی‌هایی دارد که آن را از سایر کتاب‌هایی با موضوع مشابه متمایز می‌سازد. در کتاب‌هایی که به سیر دگرگونی چرخ‌دنده‌ها و ماشین‌های چرخ‌دنده‌تراشی پرداخته شده معمولاً میان فناوری‌های باستانی و نوین گسستگی وجود دارد. در کتاب حاضر سعی شده این گسستگی با پرداختن به فناوری سده‌های میانی در طراحی و ساخت چرخ‌دنده‌ها برطرف شود. هرچند زمینه پرداختن به فناوری چرخ‌دنده در سده‌های میانی، بسیار فراتر از آنچه در این کتاب آمده فراهم بوده است، اما اختصار رعایت شده تا وزن کاربردهای امروزی بیشتر از مباحث تاریخی باشد.

اصالت منابع مورد استفاده از ویژگی‌های دیگری این کتاب است. تا آن‌جا که به تاریخچه موضوع مربوط است سعی شده به منابع ریخی دست اول رجوع شود. در مورد فناوری‌ها و ماشین‌های چرخ‌دنده‌تراشی نیز تا آن‌جا که ممکن بوده از شرح اختراعاتی که مخترعان و سازندگان اصلی به ثبت رسانده‌اند استفاده شده است. در این راستا نیز تلاش بر این بوده است که تا حد امکان از توسل به منابع دست دوم پرهیز شود.

یکی از نیازهایی که معمولاً بی‌پاسخ می‌ماند و در کتاب‌های کامپیسیک به آن پرداخته نمی‌شود، فناوری ماشین‌های چرخ‌دنده‌تراشی است. در این کتاب مدتی شده به این نیاز تا حد زیادی پاسخ داده شود. سازوکارهای بسیاری از ماشین‌های چرخ‌دنده‌تراشی، به‌ویژه دستگاه‌های پیچیده‌تری مثل ماشین‌های تولید چرخ‌دنده‌های مخروطی بر کاربران پوشیده می‌ماند. در راهنماهای سازندگان نیز اطلاعاتی کافی در این باره وجود ندارد در حالی‌که دانستن سازوکار و فناوری این ماشین‌ها برای کاربری درست و تعمیر و نگهداری آنها بسیار حایز اهمیت است. در این کتاب سعی شده با رجوع به شرحی که سازندگان در برگه‌های ثبت اختراع ارائه داده‌اند، فناوری این ماشین‌ها به اندازه کافی واکاوی شود.

جامعیت کتاب حاضر از ویژگی‌های دیگر آن است، در این کتاب سعی شده به همهٔ مباحثی که ممکن است از دیدگاه فناوری و صنعتی مورد نیاز باشد پرداخته شود. مطالب کتاب در دو بخش مجزا تنظیم شده است؛ بخش اول مربوط به چرخ‌دنده‌ها است و ماشین‌های چرخ‌دنده‌تراشی در بخش دوم طرح شده است.

مخاطبان این کتاب دانشجویان دوره‌های تحصیلات تکمیلی در رشته‌های مهندسی ساخت‌وتولید، طراحی کاربردی، مهندسی صنایع و پژوهشگران تاریخ علم و فناوری و همچنین مهندسان و تکنیسین‌های کارخانجاتی است که با ماشین‌کاری چرخ‌دنده سروکار دارند.

تلاش‌های زیادی به‌عمل آمده تا این کتاب، پس از نگارش به سرانجام برسد و در اختیار مخاطبان قرار گیرد. بدین‌جهت، همهٔ مراحل که پس از نگارش کتاب طی شد تا کتاب به چاپ برسد بر عهدهٔ سرکار خانم فاطمهٔ طالبی بوده است؛ این مراحل شامل اخذ مصوبهٔ شورای انتشارات دانشگاه در چند نوبت، ارسال برای داوران و ابلاغ نظر آنان، ویرایش ادبی و فنی و حروفچینی بوده است؛ اگر توانسته باشم همهٔ مراحل را یادآوری کرده باشم. از دقت نظر و شکیبایی ایشان کمال تشکر را دارم. ویرایش ادبی و فنی کتاب را جناب آقای دکتر رضا بیات بر عهده داشتند که با گوشزد کردن نکات نگارشی، مرا مرهون زحمات خود ساخته‌اند؛ از ایشان تشکر می‌کنم. سرکار خانم فرشتهٔ نه‌ساز سنگینی را در حروفچینی کتاب انجام دادند، از حوصله و دقت ایشان قدردانی می‌نمایم.

انتشار ماهانهٔ ده‌ها جلد کتاب و نشریه در تمام علوم بشری، کار بزرگی است که انتشارات دانشگاه تربیت مدرس با رعایت بالاترین شاخص‌های کیفی از عهدهٔ آن برآمده است و این روند را به‌شایستگی ادامه می‌دهد. مفتخرم در اینجا از حسن تدبیر جناب آقای دکتر سیدنجم‌الدین امیرشاه کرمی، رئیس محترم انتشارات دانشگاه، معاون محترم ایشان، سرکار خانم آتوما فروهی، و جناب آقای دکتر یعقوب فتح‌اللهی، معاون محترم پژوهشی دانشگاه، به‌سهم خود تقدیر نمایم.

در پایان و بیش از همه لازم می‌دانم از پشتیبانی‌های همسرم سرکار خانم دکتر سلیمان‌جاهی در نگارش این کتاب تشکر کنم. دلبستگی ایشان به مسایل علمی، فضای خانوادگی را برای صرف اوقاتم به نگارش و تولید مطالب پژوهشی فراهم آورده که کتاب حاضر یکی از آثار آن است.