

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

طراحی اجزاء ماشین

جلد اول: انتقال نیرو

تألیف:

دکتر مهدی اخلاقی

استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

با همکاری:

دکتر محسن خواجهزاده

تابستان ۱۳۹۸

سرشناسه	: اخلاقی، مهدی ۱۳۲۶
عنوان و نام پدیدآور	: طراحی اجزاء ماشین/دکتر مهدی اخلاقی با همکاری دکتر محسن خواجهزاده
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، سال ۱۳۹۱
مشخصات ظاهری	: ۴۲۶ص.
شابک	: 978-964-463-493-2 شابک دوره: 978-964-463-495-6
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
موضوع	: قطعات ماشین - - طراحی
موضوع	: ماشین آلات - - طراحی
شناسه افزوده	: خواجهزاده، محسن، ۱۳۶۲
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۱ ط۴۴/الف۳۰/تج
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۱/۸۱۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۹۷۶۱۱۲

عنوان کتاب	: طراحی اجزاء ماشین - جلد اول: انتقال نیرو
تألیف	: دکتر مهدی اخلاقی با همکاری دکتر محسن خواجهزاده
ناشر	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ اول	: زمستان ۱۳۹۱
تاریخ نشر الکترونیکی	: تابستان ۱۳۹۸
قیمت	: ۱۵،۰۰۰ تومان
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۴۹۳-۲ ISBN : 978-964-463-493-2
شابک دوره	: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۴۹۵-۶ ISBN: 978-964-463-495-6

آدرس مرکز پخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وبسایت: <http://publication.aut.ac.ir>

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.



.....
إِيَّاكَ نَعْبُدُ وَإِيَّاكَ نَسْتَعِينُ
.....

مقدمه

مجموعه‌ای که پیش رو دارید، دومین مجموعه از دور جدید طراحی اجزای ماشین است که تقدیم جامعه علمی و صنعتی کشور می‌شود.

تحلیل‌های دقیق و طراحی بهینه قطعات ماشین با در نظر گرفتن مواردی چون کیفیت بالا، ضریب اطمینان مناسب و شکل مطلوب، تنها با تسلط بر علم طراحی قطعات و اجزای مکانیکی میسر است و به همین منظور فراگیری دقیق آن بخصوص برای دانشجویان رشته‌های مهندسی مکانیک، هوا فضا، صنایع، عمران و کشتی‌سازی، مفید خواهد بود.

پیشرفت علوم رایانه‌ای و تدوین نرم‌افزارهای مختلف برای طراحی قطعات مکانیکی بر پایه اصول طراحی اجزای ماشین، اهمیت کاربردی این علم مهندسی را دوچندان نموده است.

محتویات این کتاب حاصل بیش از ۳۰ سال تجربه آموزشی، تحقیقات دانشگاهی و صنعتی، بهره‌گیری از مباحث منتخب کتب علمی و استفاده از آخرین دستاوردهای علمی و تحقیقاتی است. فصل اول به مروری گذرا بر مفاهیم تئرانس‌های هندسی و همچنین نحوه نمایش و تفسیر پارامترهای بافت سطح اختصاص یافته است. فصل دوم اختصاص به انتقال گشتاور (و یا به) شفت، از طریق اتصال اصطکاکی و اتصال محکم – مطمئن دارد. فصل سوم به مطالعه چرخ دنده‌ها می‌پردازد. چرخ‌دنده‌ها گردش یک شفت را به شفت دیگر و از طریق درگیری دندانه‌ها با هم (دندانه‌ها در شکل فرورفتگی و برآمدگی روی سطح سیلندر و یا مخروط تماس) منتقل می‌سازند. در فصل چهارم محور و یا شفت مورد بررسی قرار می‌گیرند. یاتاقان‌ها به عنوان تکیه‌گاه‌های شفت و محور، حرکت مابین اجزای ماشین، معمولاً شفت یا محور گردشی و بدنه ساکن را در کنار انتقال بار میسر می‌سازند و در دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند؛ یاتاقان‌های غلتشی در فصل پنجم و یاتاقان‌های لغزشی در فصل ششم معرفی خواهند شد.

به منظور تسهیل در جستجوی کلمات و واژه‌های فنی از منابع بین‌المللی، معادل انگلیسی (و بعضاً امریکائی) آن‌ها آورده شده است. همچنین به منظور آشنائی با نظرات و جمع‌بندی دیگر مولفین، جملات کوتاهی از منابع مربوط استخراج و در متن گنجانیده شده است.

با این که دقت و تلاش زیادی در تهیه این مجموعه صرف شده است، اما وجود پاره‌ای نواقص و نارسائی‌ها در آن را نمی‌توان انکار نمود، لذا از هر گونه نظرات و پیشنهادات اصلاحی و سازنده اساتید، صاحب‌نظران، محققین و دانشجویان عزیز استقبال می‌شود.

مهدی اخلاقی

استاد دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تابستان ۱۳۹۱

فهرست

فصل ۱: تفرانس و انطباق	۱
۱-۱- تفرانس های ابعادی	۲
۱-۲- ارتباط تفرانس و هزینه	۶
۱-۳- تفرانس عمومی	۶
۱-۴- تفرانس گذاری ابعادی	۷
۱-۵- حدود و انطباقات	۸
۱-۶- تفرانس های هندسی	۱۴
۱-۶-۱- تفرانس هندسی فرم	۱۵
۱-۶-۲- تفرانس های هندسی شکل	۱۶
۱-۶-۳- تفرانس های هندسی وضعیت	۱۶
۱-۶-۴- تفرانس های هندسی موقعیت	۱۶
۱-۶-۵- تفرانس های هندسی لنگی	۱۸
۱-۷- بافت سطح	۱۸
۱-۸- مثال های حل شده	۲۴
۱-۹- مسائل تکمیلی	۲۸
فصل ۲: انتقال گشتاور	۲۹
۲-۱- اتصال اصطکاکی	۲۹
۲-۱-۱- گشتاور و نیروی انتقالی	۳۰
۲-۱-۲- اتصال پرسی سیلندری	۳۴
۲-۱-۲-۱- مقدار تداخل قطری در اتصالات الاستیک	۳۶
۲-۱-۲-۲- بارهای وارده در اتصالات الاستیک	۴۳
۲-۱-۳- اتصال پرسی مخروطی	۵۴
۲-۱-۴- اتصال پرسی به کمک المان فنری پیش تنیده	۵۷
۲-۲- اتصال محکم مطمئن	۶۱

۳-۲- مسائل تکمیلی ۸۴

فصل ۳: چرخنده و سامانه چرخنده‌ای..... ۸۷

۳-۱- اصول اولیه و قانون دندانه ۸۹

۳-۲- دندانه سیکلوئید ۹۳

۳-۳- دندانه اولونت (اینولوت) ۹۵

۳-۴- دندانه خارجی صفر ۱۰۰

۳-۵- دندانه مسطح یا دندانه شانه‌ای..... ۱۰۳

۳-۶- دندانه داخلی صفر ۱۰۴

۳-۷- دندانه مایل ۱۰۴

۳-۸- تصحیح دندانه و یا انحراف پروفیل..... ۱۰۸

۳-۹- تداخل ۱۱۷

۳-۱۰- هم پوشانی یا پوشش ۱۲۰

۳-۱۱- کوتاه کردن سر دندانه ۱۲۲

۳-۱۲- تُلرانس دندانه ۱۲۴

۳-۱۲-۱- لقی بین گُرده‌ها ۱۲۸

۳-۱۲-۲- تُلرانس و انطباق در دستگاه‌های چرخ دنده‌ای ۱۳۰

۳-۱۲-۳- دقت و تُلرانس توپی (هاب یا فلنج) ۱۳۳

۳-۱۲-۴- تعیین ضخامت دندانه ۱۳۴

۳-۱۳- چرخ‌دنده‌های استوانه‌ای ۱۳۷

۳-۱۴- تعیین ابعاد اصلی ۱۴۴

۳-۱۵- نیرو بر دندانه چرخ سیلندری..... ۱۵۰

۳-۱۵-۱- چرخ دندانه صاف ۱۵۱

۳-۱۵-۲- چرخ‌دنده مایل ۱۵۳

۳-۱۶- چرخ‌های مخروطی ۱۵۶

۳-۱۷- نیرو بر دندانه چرخ مخروطی ۱۶۲

۱۶۲	..... ۳-۱۷-۱- چرخ دندانه صاف
۱۶۴	..... ۳-۱۷-۲- چرخ دندانه مایل
۱۶۵	..... ۳-۱۸- مجموعه‌های افزاینده و کاهنده سرعت
۱۶۷	..... ۳-۱۹- تنش در دندانه
۱۸۱	..... ۳-۲۰- مسایل تکمیلی

۱۸۵	..... فصل ۴: محور و شفت
۱۸۷	..... ۴-۱- ملاحظات در طراحی
۱۸۹	..... ۴-۱-۱- محاسبه تخمینی برای تعیین قطر و طراحی مقدماتی
۱۹۵	..... ۴-۱-۲- طراحی نهائی و محاسبات دقیق و کنترل استحکام نقاط بحرانی
۲۰۶	..... ۴-۱-۳- طراحی فرم
۲۱۰	..... ۴-۲- کنترل تغییرات الاستیک
۲۱۱	..... ۴-۲-۱- خیز و شیب
۲۱۶	..... ۴-۲-۲- پیچش
۲۱۶	..... ۴-۲-۳- رفتار نوسانی
۲۱۷	..... ۴-۳- دور بحرانی
۲۱۷	..... ۴-۳-۱- دور بحرانی خمشی
۲۱۸	..... ۴-۳-۲- دور بحرانی پیچشی
۲۲۱	..... ۴-۴- مسایل تکمیلی

۲۲۵	..... فصل ۵: یاتاقان غلتشی
۲۳۱	..... ۵-۱- نصب (مونتاژ) یاتاقان
۲۳۶	..... ۵-۲- انتخاب یاتاقان
۲۴۳	..... ۵-۲-۱- کُده گذاری و ابعاد ساختمانی یاتاقان غلتشی
۲۴۸	..... ۵-۲-۲- فرآیند انتخاب یاتاقان
۲۴۸	..... ۵-۲-۱- بار پایدار

۲۵۶	..... ۲-۲-۲-۵ حمل بار محوری توسط یاتاقان غلتان سیلندری شعاعی
۲۵۷	..... ۲-۲-۳-۵ بار ناپایدار
۲۵۹	..... ۳-۵ روانکاری
۲۶۰	..... ۴-۵ حفاظها (نشت بند)
۲۶۱	..... ۴-۵-۱ نشت بندهای تماسی
۲۶۴	..... ۴-۵-۲ نشت بندهای بدون تماس
۲۷۱	..... ۵-۵ مثال های حل شده
۲۷۹	..... ۶-۵ مسایل تکمیلی

۲۸۲	..... فصل ۶: یاتاقان لغزشی
۲۸۵	..... ۶-۱ بار، اصطکاک و عدد سامرفلد
۲۸۹	..... ۶-۲ متغیرهای تأثیرگذار بر عدد سامرفلد و ضریب اصطکاک
۲۹۴	..... ۶-۳ مقادیر هندسی یاتاقان
۲۹۶	..... ۶-۴ گرما و مقدار روانساز مورد نیاز
۳۰۴	..... ۶-۵ انواع یاتاقان های لغزشی هیدرودینامیکی رادیال
۳۰۷	..... ۶-۶ یاتاقان لغزشی هیدرودینامیکی رادیال (بار متغیر)
۳۰۸	..... ۶-۷ یاتاقان لغزشی هیدرودینامیکی آکسیال (کف گرد)
۳۱۰	..... ۶-۷-۱ قابلیت حمل و ضریب اصطکاک
۳۱۱	..... ۶-۷-۲ افت توان، تعداد و هندسه بالشتک
۳۱۲	..... ۶-۷-۳ بیلان گرما و جریان روانساز
۳۱۴	..... ۶-۸ یاتاقان لغزشی هیدرواستاتیکی
۳۱۶	..... ۶-۹ مواد
۳۱۸	..... ۶-۱۰ مسایل تکمیلی

۳۲۰	..... فصل ۷: جفتگر، کلاچ و ترمز
۳۲۱	..... ۷-۱ جفتگر

۳۲۱	..... ۱-۱-۷- جفتگر ساکن
۳۲۳	..... ۲-۱-۷- جفتگرهای تعادلی
۳۳۴	..... ۲-۷- کلاچ‌ها و ترمزها
۳۳۶	..... ۱-۲-۷- روابط کلی کلاچ‌های سایشی
۳۴۳	..... ۲-۲-۷- روابط کلی ترمزهای سایشی
۳۴۵	..... ۳-۲-۷- کلاچ و ترمز دیسکی
۳۴۹	..... ۴-۲-۷- کلاچ و ترمز از داخل بازشونده
۳۵۳	..... ۵-۲-۷- کلاچ و ترمز از بیرون جمع شونده
۳۵۸	..... ۶-۲-۷- افزایش دما
۳۵۹	..... ۷-۲-۷- ترمز (و کلاچ) نواری
۳۶۲	..... ۸-۲-۷- کلاچ و ترمز مخروطی
۳۶۷	..... ۹-۲-۷- مواد سایش
۳۷۲	..... ۱۰-۲-۷- ابعاد کلاچ و ترمز
۳۷۶	..... ۱۱-۲-۷- ملاحظات انرژی و افزایش دما
۳۸۱	..... ۳-۷- مسایل تکمیلی

۳۸۲	..... فصل ۸: طراحی اجزاء انعطاف‌پذیر (تسمه)
۳۸۶	..... ۱-۸- مکانیک تسمه‌های اصطکاکی
۳۹۸	..... ۲-۸- پیش بار (پیش تنیدگی) تسمه
۴۰۲	..... ۳-۸- تسمه تخت
۴۱۰	..... ۴-۸- تسمه جناغی و گرد
۴۱۸	..... ۵-۸- تسمه دندانه‌دار (تسمه تایمینگ)
۴۲۵	..... ۶-۸- مسایل تکمیلی

فصل ۱

تولرانس و انطباق^۱

مقدمه

توصیف ویژگی های هندسی و ابعادی هر قطعه به واسطه نقشه آن صورت می گیرد؛ به بیان دیگر نقشه قطعه کار وسیله ای است برای بیان آنچه طراح در ذهن می پروراند و این اطلاعات را بی هیچ ابهامی در اختیار مهندس فرایند و دیگر کسانی که به نحوی در تولید قطعه نقش دارند، قرار می دهد. در این میان طراح برای بیان ریزه کاری های طرح خود از ابزاری نیرومند با عنوان اندازه گذاری و تولرانس دهی بهره می جوید.

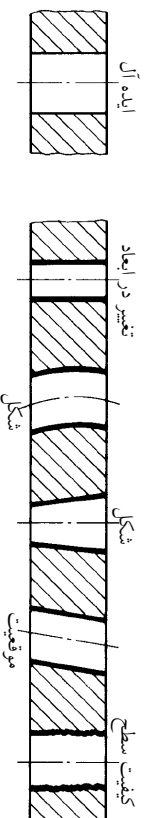
عملکرد بدون عیب و نقص قطعه ای از یک مجموعه مکانیکی و همچنین قرارگیری مطمئن آن در کنار اجزای دیگر، ابعاد مشخص و دقیق را می طلبد. اصولاً تولید یک قطعه با ابعادی دقیقاً منطبق با ابعاد نقشه غیر ممکن است و از این رو محدوده ای برای تغییرات مجاز^۲ هر بُعد، شکل، موقعیت و کیفیت سطح^۳ پذیرفته می شود، این تغییرات مجاز تولرانس (رواداری) نامیده می شود، شکل (۱-۱). بنابراین قطعات می توانند خطای ابعادی داشته باشند اما، این خطا تا زمانی قابل قبول است که بُعد مورد نظر همچنان در محدوده مجاز قرار داشته باشد. این محدوده مجاز باند تولرانسی نامیده می شود.

^۱ -Tolerances and Fits

^۲ -Allowable Variation

^۳ -Surface Texture and Condition

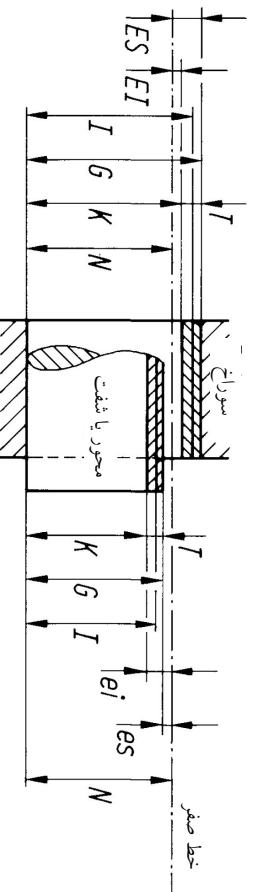
بنابر این با توجه به اهمیت و جایگاه تolerانس گذاری در زمینه تدوین صحیح نقشه‌های مهندسی، این فصل به مروری گذرا بر مفاهیم تolerانس‌های ابعادی، تolerانس‌های هندسی و همچنین نحوه نمایش و تفسیر پارامترهای بافت سطح اختصاص یافته است.



شکل (۱-۱) نمودای از تغییرات ابعاد، شکل، موقعیت و کیفیت سطح یک سوراخ^۱

۱-۱- تolerانس‌های ابعادی^۲

کشورهای مختلف برای تolerانس‌گذاری از سیستم‌های متفاوتی استفاده می‌کنند. در حالی که در اروپا دربرخی از کشورها بیشتر استاندارد DIN^3 به همراه توصیه‌های ISO^4 مورد استفاده قرار می‌گیرد، در برخی دیگر استاندارد اروپائی CEN^5 مورد توجه است. در امریکا نیز بر اساس استاندارد $ANSI^6$ در سیستم اینچی و بنا بر ISO در سیستم میلی‌متری عمل می‌کنند. شکل (۲-۱) ابعاد سوراخ و شفت یا محور را نشان می‌دهد.

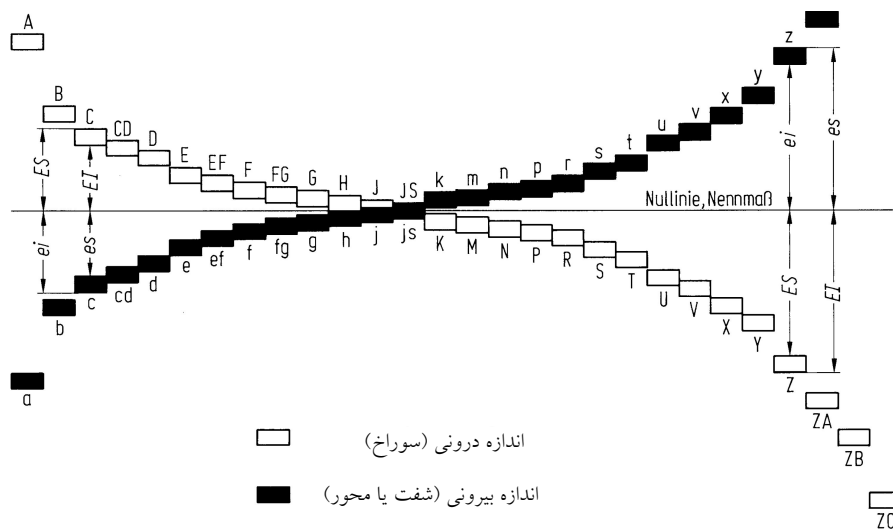


T	تولرانس	I	انحراف
N	اندازه اسمی	E/e	انحراف بالایی سوراخ / میله
K	کمینه بیشینه	ES/es	انحراف بالایی سوراخ / میله
G	بیشینه	El/ei	انحراف پایینی سوراخ / میله

شکل (۲-۱) ابعاد کمینه، بیشینه و انحراف سوراخ و شفت یا محور^۷

- ¹-Macro geometry failure of a hole as an example for tolerances
- ²-Dimensional Tolerances
- ³-Deutsches Institut fuer Normung
- ⁴-International Organization for Standardisation
- ⁵-Comite European de Normalisation
- ⁶-American National Standards Institute
- ⁷-Sketch showing maximum and minimum dimensions and deviation of hole and shaft.

تِلرانس می‌تواند مستقیماً بر اندازه اسمی و یا با کُدگذاری مشخص شود. در علامت‌گذاری بر اساس استاندارد ایزو تِلرانس نسبت به خط صفر (اندازه اسمی) به کمک یک حرف از حروف الفبای لاتین مشخص می‌شود. حروف بزرگ A-Z برای سوراخ و همچنین سطوح درونی و حروف کوچک a-z برای شفت یا محور و سطوح بیرونی معرفی شده‌اند. شکل (۳-۱) محدوده (باند) تِلرانس سوراخ و شفت نسبت به خط صفر (اندازه اسمی) را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۱) محدوده (باند) تِلرانس سوراخ و شفت در سیستم ISO

در نمونه‌های زیر محدوده تِلرانسی به دو صورت آمده است:

$25^{+0.15}_{-0.10}$ محدوده تِلرانس ۰/۲۵ میلیمتر

$25^{+0.00}_{-0.10}$ محدوده تِلرانس ۰/۱ میلیمتر

$25f7$ محدوده تِلرانس ۰.۰۲۱ میلیمتر طبق جدول ۳-۱

$25H8$ محدوده تِلرانس ۰.۰۳۳ میلیمتر طبق جدول ۳-۱

جدول (۱-۱) ردیف تِلرانس و بزرگی محدوده (عرض باند) تِلرانس.

اندازه اسمی (میلی‌متر)		ردیف تلرانس																	
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
تای بیش از		تلرانس پایه (نتایج بر حسب میکرون)																	
-	500	-	-	-	-	7 i	10 i	16 i	25 i	40 i	64 i	100 i	160 i	250 i	400 i	640 i	1000 i	1600 i	2500 i
500	3150	2 i	2,7 i	3,7 i	5 i	7 i	10 i	16 i	25 i	40 i	64 i	100 i	160 i	250 i	400 i	640 i	1000 i	1600 i	2500 i