



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

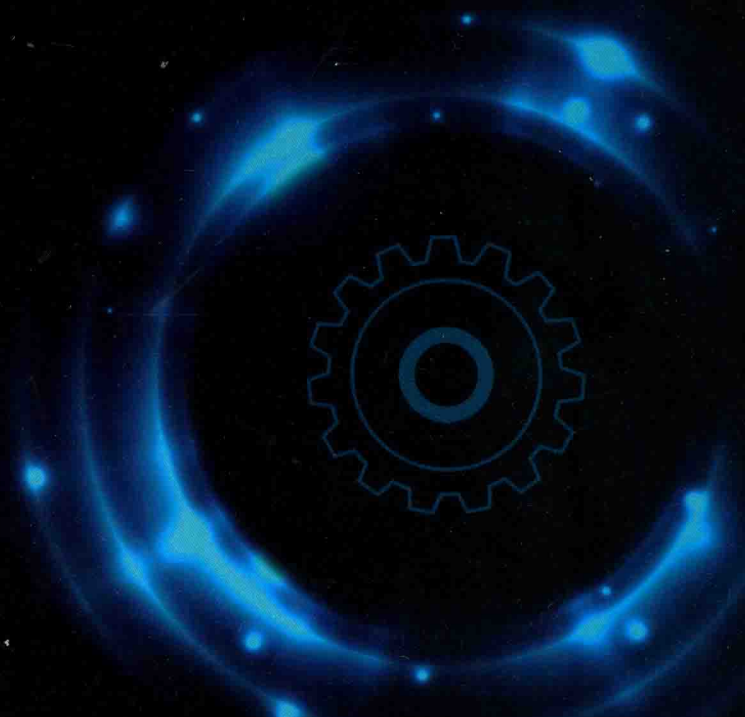


2011年北京高等教育精品教材

机械设计基础 (第4版)

Fundamentals of Mechanical Design(4th Edition)

主编◎荣辉 付铁



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



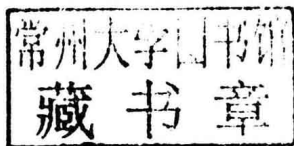
2011年北京高等教育精品教材

机械设计基础

(第4版)

Fundamentals of Mechanical Design(4th Edition)

主编 © 荣辉 付铁



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是根据审定的“高等学校工科本科机械设计基础课程教学基本要求”,结合多年教学实践经验编写的教材。本书主要介绍机械设计中所必需的基础知识、机器的组成、常见机构、常见机械零部件的设计及机械系统设计,同时也简要介绍了现代设计方法。书中引用的资料均为新标准。

本书可作为高等工科院校近机类、非机类专业学生的教材,也可供其他有关专业的师生和工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 / 荣辉, 付铁主编. —4版. —北京: 北京理工大学出版社, 2018. 2
ISBN 978-7-5682-5288-1

I. ①机… II. ①荣… ②付… III. ①机械设计-高等学校-教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 025700 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 22.5

字 数 / 528 千字

版 次 / 2018 年 2 月第 4 版 2018 年 2 月第 1 次印刷

定 价 / 49.00 元

责任编辑 / 多海鹏

文案编辑 / 多海鹏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

第4版前言

本书是在普通高等教育“十二五”国家级规划教材《机械设计基础(第3版)》的基础上修订的。

本次修订在保留第3版教材的特色和优点的基础上,本着以设计为主线,以简明实用为目标的原则,对部分内容进行了适当更新、增减及重新编排。此次修订的主要工作体现在以下几个方面:

- (1) 更正了原书中文字、插图中的疏漏。
- (2) 更新了国家标准。
- (3) 适当调整了部分插图的缩放比例,使其更加协调和清晰。
- (4) 替换了少量插图,对内容进行了适当删减及增加。

(5) 根据国家标准,对一些名词术语、图形符号、绘图线型等做了统一规范,力求基本概念阐述更准确、图形表达更规范、版面更美观。

参加本书修订工作的有殷耀华(第一章、附录)、王艳辉(第二章)、丁洪生和付铁(第三章、第十五章)、张春林(第四章、第十六章)、李轶(第五章、第十章)、荣辉(第六章)、万小利(第七章)、周勇(第八章、第九章)、杨梦辰(第十一章键连接、销和过盈连接部分,第十二章轴部分)、王晓力(第十二章联轴器、离合器和制动器部分,第十三章)、孔凌嘉(第十四章)、路敦勇(第十一章螺纹连接部分、第十七章)。

全书由荣辉负责统稿,荣辉、付铁担任主编。

由于编者水平所限,书中难免有漏误和不当之处,敬请读者批评指正。

本书的“CAI 课件”放在北京理工大学出版社网站(<http://www.bitpress.com.cn>),授课教师免费提供,请需要者在网站中注册后下载。

编者
2017年10月

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 绪论	(1)
第二节 机械零件材料学基础	(4)
第三节 机械设计中的摩擦学基础	(9)
习 题	(12)
第二章 平面机构的结构分析	(13)
第一节 基本概念	(13)
第二节 机构运动简图	(16)
第三节 平面机构自由度计算	(18)
第四节 机构具有确定运动的条件	(21)
第五节 平面机构的组成原理与结构分析	(22)
习 题	(26)
第三章 平面连杆机构	(29)
第一节 平面四杆机构的类型及其应用	(29)
第二节 平面四杆机构的一些基本特性	(35)
第三节 平面四杆机构的设计	(39)
第四节 平面连杆机构的结构	(43)
习 题	(48)
第四章 凸轮机构	(50)
第一节 凸轮机构构成、功用及分类	(50)
第二节 从动件的运动规律及其设计	(54)
第三节 凸轮轮廓曲线的设计	(61)
第四节 凸轮机构的压力角及基本尺寸的确定	(66)
习 题	(67)
第五章 间歇运动机构	(69)
第一节 棘轮机构	(69)
第二节 槽轮机构	(72)
第三节 不完全齿轮机构	(74)
习 题	(75)
第六章 齿轮传动	(76)
第一节 齿轮传动的特点、类型及其应用	(76)
第二节 齿廓啮合的基本定律	(78)

第三节	渐开线齿廓及其啮合特性	(79)
第四节	渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称、基本参数和几何尺寸的计算 ...	(81)
第五节	渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	(85)
第六节	渐开线齿廓的根切现象、变位齿轮的概念	(90)
第七节	平行轴斜齿圆柱齿轮机构	(95)
第八节	直齿圆锥齿轮机构	(100)
第九节	齿轮传动受力分析	(102)
第十节	齿轮传动的失效形式、设计准则和齿轮材料	(104)
第十一节	轮齿的强度计算	(107)
第十二节	设计实例	(112)
第十三节	齿轮的结构设计和润滑	(117)
	习 题	(119)
第七章	蜗杆传动	(121)
第一节	蜗杆传动特点、类型	(121)
第二节	蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	(122)
第三节	蜗杆传动的受力分析	(126)
第四节	蜗杆传动的相对滑动速度和效率	(127)
第五节	蜗杆传动的设计	(128)
	习 题	(136)
第八章	带传动	(137)
第一节	带传动类型及其工作原理	(137)
第二节	带传动工作情况分析	(138)
第三节	普通 V 带传动的设计计算	(141)
第四节	V 带传动结构设计	(153)
	习 题	(155)
第九章	常见其他传动简介	(157)
第一节	链传动	(157)
第二节	摩擦传动	(161)
第三节	无级变速传动	(164)
第四节	螺旋传动	(165)
	习 题	(168)
第十章	轮 系	(169)
第一节	轮系的类型	(169)
第二节	定轴轮系传动比的计算	(170)
第三节	周转轮系传动比的计算	(172)
第四节	复合轮系传动比的计算	(174)
第五节	轮系的功能	(175)

第六节 其他行星传动简介	(177)
习 题	(179)
第十一章 连 接	(181)
第一节 螺纹连接	(181)
第二节 键连接	(205)
第三节 销和过盈连接	(210)
习 题	(212)
第十二章 轴和联轴器	(213)
第一节 轴	(213)
第二节 联轴器、离合器和制动器	(228)
习 题	(232)
第十三章 滑动轴承	(234)
第一节 滑动轴承的典型结构	(234)
第二节 滑动轴承的失效形式、轴承材料与轴瓦结构	(235)
第三节 滑动轴承的润滑剂及润滑装置	(237)
第四节 非液体润滑滑动轴承的设计计算	(238)
第五节 液体动压轴承润滑的基本原理	(240)
习 题	(242)
第十四章 滚动轴承	(243)
第一节 滚动轴承的结构	(243)
第二节 滚动轴承的类型、代号及选择	(244)
第三节 滚动轴承的计算	(248)
第四节 滚动轴承的组合设计	(255)
习 题	(260)
第十五章 机械的调速和平衡	(262)
第一节 机械运转速度波动的调节	(262)
第二节 回转件的平衡	(265)
习 题	(270)
第十六章 机械系统的设计	(272)
第一节 机械系统的组成	(272)
第二节 机构系统设计的构思	(275)
第三节 机构系统设计的方法	(278)
第四节 机械系统的设计	(282)
第五节 机械运动系统设计实例	(286)
习 题	(293)
第十七章 现代设计方法简介	(295)
第一节 计算机辅助设计	(295)

第二节	机械可靠性设计	(297)
第三节	优化设计	(299)
第四节	机械动态设计	(302)
第五节	并行设计	(304)
第六节	虚拟设计	(307)
第七节	绿色设计	(309)
第八节	机械创新设计方法	(311)
第九节	现代设计方法总体发展趋势和特征	(314)
附录 1	机械零件几何精度规范学基础	(316)
附录 2	渐开线圆柱齿轮传动的精度及选择	(343)
参考文献	(349)

第一章 概 论

本章概括地论述机械设计基础课程所涉及的最基本的内容,其中包括课程绪论、机械零件材料学基础和机械设计中摩擦学基础。

第一节 绪 论

一、课程的内容、性质和任务

在人类的生产和生活中,创造和发展了各种各样的机械。机械是机器和机构的总称。

机器是由若干个机构组合而成的运动装置,可以实现能量的转化(如将电能、热能、光能、化学能等转化为机械能)或传递能量、物料或信息,实现预期的工作。机构是机器的组成部分,是由两个或两个以上的构件通过可动连接构成的运动确定的系统,用来传递运动和力。构件则是由若干零件刚性连接而成的。构件是机器运动的最小单元,而零件则是机器加工制造的最小单元。

图 1-1 所示的单缸内燃机由气缸体(机架)1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4、齿轮 5 和 6、凸轮 7、进气阀顶杆 8 等组成。内燃机中包含了连杆机构(1、2、3、4)、凸轮机构(1、7、8)和齿轮机构(1、5、6)等。

一部机械从无到有,是一个复杂的系统工程,但总的来说包括两大方面:设计和制造。本课程就是一门综合性、实用性很强的、培养工程类专业的学生设计能力的一门专业技术基础课。

本课程将主要介绍常用机构(连杆机构、凸轮机构和间歇运动机构等)的设计、通用机械零部件(齿轮、螺纹连接件、键、轴、轴承、联轴器等)的设计和选用及机械系统设计等问题。

本课程是以设计为核心的专业技术基础课。高等数学、机械制图、工程力学等是本课程的必须先修课程。本课程同时也为后续专业课的学习打下基础。

本课程的主要任务是:培养学生运用标准、规范、手册、图册和查阅有关技术资料的能力;使学生掌握常用机构和通用零部件设计;培养学生用所学的有关知识设计机械传动装置和简单机械的能力。

二、机械设计的一般过程简介

一个新的机械(机器)从准备设计到制造出来,大致要经过以下几个步骤:

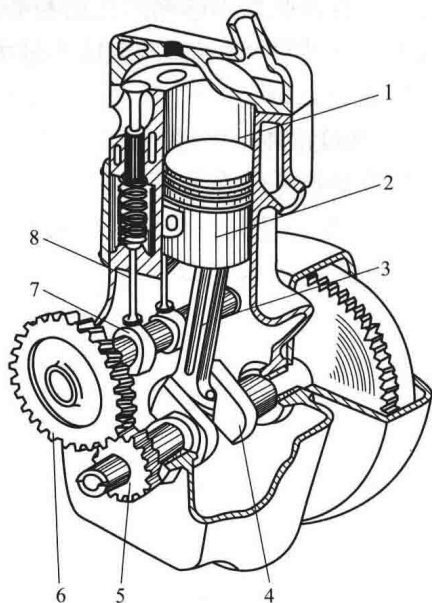


图 1-1 内燃机

1—气缸体(机架);2—活塞;3—连杆;4—曲轴;
5,6—齿轮;7—凸轮;8—进气阀顶杆

1. 产品规划

根据社会的需要和市场需求,确定所设计机械(机器)的功能范围和性能指标,根据现有的技术资料和技术手段研究其实现的可能性,拟订设计任务书。

2. 方案设计

按设计任务书的要求,尽量构思出多种可行的设计方案,通过对比、筛选,优选出一种功能满足要求、工作原理可靠、结构设计合理、制造成本低廉的最优方案。

3. 技术和施工图设计

对已选定的设计方案进行分析计算,确定机构和零件的工作参数以及机械(机器)的主要结构尺寸,考虑各个零件的工作能力和结构工艺性,完成每一个零件的结构设计,按照国家标准,绘制出整部机械(机器)的设计总图和全部零部件的施工图,编写有关技术文件。

4. 试制、调试、鉴定

经过加工、安装和调试,制造出样机。通过对样机的试验,验证所设计的机械(机器)能否实现预期的功能及满足所提出的要求,评价其可靠性、适用性、经济性并进行必要的改进。

实际上,整个机械设计的各个阶段是相互联系、相互融合的,在某个阶段发现问题后,必须返回到前面的有关阶段进行设计修改。整个设计过程是一个不断修改、不断完善的过程。

三、机械零件的设计准则

为了保证所设计的机械零件能安全可靠地工作,在设计零件之前,应确定相应的设计准则。不同的零件或相同的零件在差异较大的环境和条件下工作,会有不同的设计准则,设计准则的确定与该零件的主要失效形式密切相关。

1. 主要失效形式

机械零件在设计要求的寿命里,失去原设计要求的工作能力,称为失效。机械零件的主要失效形式有因强度不够而产生的断裂,因刚度不够而产生的变形过大,因转速过高而产生的振动过大甚至共振,因表面接触应力过大或者接触腐蚀介质而使零件表面失效等。

2. 设计准则

1) 强度准则

强度是指零件在载荷作用下,抵抗断裂及某些表面损伤的能力。为了保证零件具有足够强度,计算时应使其在受到最大载荷时的应力不得超过零件材料的许用应力,它是保证机械零件工作能力的最基本的准则,即

正应力、弯曲应力或者复合应力

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (1-1)$$

扭转、剪切应力

$$\tau \leq [\tau] \quad (1-2)$$

在强度条件中,材料的许用应力为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S_{\sigma}} \quad (1-3)$$

$$[\tau] = \frac{\tau_{\text{lim}}}{S_{\tau}} \quad (1-4)$$

式中, σ_{lim} 、 τ_{lim} 为材料的极限应力; S_{σ} 、 S_{τ} 为安全系数。

2) 刚度准则

刚度是指零件在载荷作用下,抵抗弹性变形的能力。为了保证零件具有足够的刚度,设计时应使零件在载荷作用下产生的弹性变形量不得超过其许用值。零件的刚度有时又是保证零件强度的重要条件,例如受压长杆,若刚度不足,将影响其受压时的稳定性。刚度也是影响振动稳定性的主要因素。因而要求

$$\left. \begin{array}{l} \text{挠度} \quad y \leq [y] \\ \text{偏转角} \quad \theta \leq [\theta] \\ \text{扭转角} \quad \phi \leq [\phi] \end{array} \right\} \quad (1-5)$$

弹性变形量的计算公式及其许用值可参考有关机械设计手册。

3) 振动稳定性准则

机器中存在着许多周期性变化的激振源,如齿轮的啮合、轴的偏心转动、滚动轴承中的振动、滑动轴承中的油膜振荡等,当上述激振源的振动频率 f_p 与零(部)件本身的固有频率 f 相等或接近时,零(部)件就会发生共振。共振时振幅急剧增大,以致零件被破坏或机器工作失常。

振动稳定性准则就是在设计机械时,使受激振作用的各个零件的固有频率 f 与激振源的频率 f_p 错开。通常应保证

$$f_p < 0.85f \quad \text{或} \quad f_p > 1.15f \quad (1-6)$$

4) 摩擦学准则

在摩擦状态下工作的机械零件主要有两类,一类要求工作时摩擦力小、功耗低,如滑动轴承、啮合传动等。另一类利用摩擦传递动力,要求摩擦力大,如带传动、摩擦轮传动、摩擦离合器等。前一类零件应选用减摩抗磨性好的材料制造,并采用适当的润滑方式,以保证工作时两摩擦表面阻力小、功耗少、效率高。设计时应保证机器有一定的效率,以较小的功率完成预期的工作。后一类零件应选用摩擦材料或耐磨材料制造。设计时应保证摩擦力或摩擦力矩的极限值大于工作阻力或工作阻力矩,否则工作时就会发生打滑,使传动失效。

机械零件在工作时其表面相互接触,相互摩擦而产生磨损,使零件的结构形状和几何尺寸发生变化,直接影响机器的运动精度和效率。因此,要求零件的摩擦表面有足够的接触强度和耐磨性,避免因磨损量超过规定的允许值而失效。

关于磨损,由于其影响因素较多,故目前还没有完善、有效的理论计算公式,通常采用以下两种方法。

(1) 滑动速度低、工作载荷大的零件,验算压强,使其不超过许用值,以防止过大的压强破坏零件工作表面的油膜而使磨损加剧,即

$$p \leq [p] \quad (1-7)$$

(2) 滑动速度较高的摩擦表面,还要防止过高的温度使润滑油黏度降低、油膜破裂,导致过快的磨损或表面胶合现象。因此,要保证单位接触面积在单位时间内产生的摩擦功不要过大。如果将摩擦系数 f 视为常数,则可验算 pv 值不超过许用值,即

$$pv \leq [pv] \quad (1-8)$$

除了上述的一些基本准则外,在机械零件设计中,还可以提出一些在特定条件下应考虑的设计准则,例如可靠性、精度、噪声等级、外廓尺寸、外观以及节能、环保等方面的要求。

第二节 机械零件材料学基础

机械零件通常都是由金属材料制成的,有时也用非金属材料 and 复合材料制造。本节将对机械零件的常用材料作一简略介绍。

一、金属材料

金属材料分为黑色金属(如钢、铸铁等)和有色金属(如铜、铝、钛及其合金等)。

1. 钢

钢和铸铁都是铁碳合金,它们的区别主要在于含碳量的不同。含碳量小于2.1%的铁碳合金称为钢。含碳量大于2.1%的铁碳合金称为铸铁。但通常使用的钢,含碳量在0.05%~0.7%。与铸铁相比,钢具有较高的强度、韧性和塑性,并可用热处理的方法来改善其力学和加工性能。钢制零件可用锻造、碾压、冲压、焊接、铸造等方法获得,因此应用极其广泛。

按照用途的不同,钢可分为结构钢(用于制造各种机械零件和工程结构的构件)、工具钢(用于制造刀具、量具和模具等)和特殊钢(如不锈钢、耐热钢、耐酸钢、滚动轴承钢等)。根据化学成分的不同,又可将钢分为碳素钢和合金钢。碳素钢的性质主要取决于含碳量,含碳量的增高,虽然强度有所增加,但钢的脆断性增大,焊接性和冷加工性能有所降低。为了改善钢的性能,特意加入一些合金元素,就是合金钢。

1) 碳素钢

按用途不同碳素钢可分为碳素结构钢和碳素工具钢。碳素结构钢又可以分为普通碳素结构钢和优质碳素结构钢。

普通碳素结构钢(GB/T 700—2006)的牌号见表1-1,Q为“屈”字汉语拼音的首字母,指屈服强度,后面的数字代表屈服强度数值。为了表示钢的质量等级,在数字后面加注A、B、C、D字母,D的质量等级最高。字母后如果还有字母,则表示脱氧方法:F为沸腾钢,Z为镇静钢,TZ为特殊镇静钢,“Z”与“TZ”可以省略。普通碳素结构钢的规定牌号有Q195、Q215、Q235和Q275四种。

普通碳素结构钢在冶炼时主要控制其力学性能,而对钢的化学成分控制较松,一般不需热处理,可在供货状态下直接使用。

优质碳素结构钢(GB/T 699—2015)的牌号(表1-1)用两位数字表示,代表平均含碳量的万分之几。对于锰含量较高的优质碳素结构钢,其牌号还要在碳含量数字后加注符号“Mn”,如40Mn。含碳量低于0.25%的钢为低碳钢,其强度和硬度低,但塑性和焊接性能好,适用于冲压、焊接等方法成型;含碳量在0.25%~0.6%的钢为中碳钢,有良好的综合机械性能,应用最广;含碳量高于0.6%的钢为高碳钢,常用作弹性元件和易磨损元件。

表1-1 碳素钢

分 类	主 要 钢 号
普通碳素结构钢	Q195、Q195F、Q215A、Q215AF、Q215B、Q215BF、Q235A、Q235AF、Q235B、Q235BF、Q235C、Q235D、Q275A、Q275AF、Q275B、Q275C、Q275D
优质碳素结构钢	08、10、15、15Mn、20、20Mn、25、25Mn、30、30Mn、35、35Mn、40、40Mn、45、45Mn、50、50Mn、55、60、60Mn、65、65Mn、70、70Mn、75、80、85

优质碳素结构钢一般经过热处理,可获得较高的弹性极限和较高的屈服强度。

2) 合金钢

在碳素钢中添加合金元素后,就成为合金钢。添加合金元素的目的主要是改善钢的力学性能、工艺性能及物理性能。

各合金元素在合金钢中的作用如下:

镍(Ni) 提高强度,但不降低韧性。

铬(Cr) 提高高温强度,耐腐蚀、耐磨损,在不锈钢中必须和镍(Ni)同时使用。

锰(Mn) 提高强度和耐磨性,提高韧性。

钼(Mo) 作用同锰(Mn),但其耐热性更强。

钒(V) 提高韧性和强度。

硅(Si) 提高强度和耐磨性,但对韧性不利。

合金钢按用途不同分为合金结构钢、合金工具钢和特殊合金钢。机械零件常用合金结构钢。合金结构钢(GB/T 3077—2015)牌号用两位数字及合金元素符号表示。两位数代表平均含碳量的万分之几。后面的字母则表示主加元素;主加元素如果小于1.5%,仅标明元素;大于1.5%,则标出数字,代表平均含量的百分之几。如42SiMn,其成分为:C的平均含量为0.42%,Si小于1.5%,Mn小于1.5%。

合金结构钢按冶金质量分为三类:优质钢、高级优质钢(牌号后加A)、特级优质钢(牌号后加E)。

2. 铸铁

含碳量大于2.1%的铁碳合金称为铸铁。铸铁的使用量很大,仅次于钢。铸铁被大量使用,首先是因为生产成本低廉,其次是它具有优良的铸造性能,铸铁的熔点较低,具有良好的易熔性和液态流动性,因而可以铸成形状复杂的大小零件。它的硬度与抗拉强度和钢差不多,并且有优异的消振性能和良好的耐磨性能,这是钢所不能及的,但铸铁的疲劳强度和塑性比钢差,较脆,不能承受较大的冲击载荷,不适于锻压和焊接。

铸铁的分类如下:

1) 灰铸铁

灰铸铁具有良好的铸造性能和切削加工性能,耐磨性好,消振能力最为突出,但抗拉强度低。灰铸铁(GB/T 9439—2010)的牌号由字母HT和数字表示,HT为“灰铁”汉语拼音的首字母,后面的数字代表其最低抗拉强度,如HT100、HT150、HT300等。

2) 球墨铸铁

球墨铸铁的强度和塑性比灰铸铁有很大的提高,具有良好的耐磨性,但铸造性较差。球墨铸铁(GB/T 1348—2009)的牌号由字母QT和数字表示,QT为“球铁”汉语拼音的首字母,后面的第一组数字代表最低抗拉强度,第二组数字代表最低伸长率,如QT400-18、QT500-7、QT800-2等。

3) 可锻铸铁

可锻铸铁的强度、塑性、韧性、耐磨性均较高,能承受冲击振动,但生产周期长,成本较高,铸造大尺寸零件较困难。因化学成分、热处理工艺而导致性能和金相组织不同分为两大类,第一类为黑心可锻铸铁和珠光体可锻铸铁,第二类为白口可锻铸铁。可锻铸铁(GB/T 9440—2010)的牌号由字母KT和数字表示,KT为“可铁”汉语拼音的首字母,H表示黑心,Z表示

珠光体, B 表示白心;后面的第一组数字代表最低抗拉强度,第二组数字代表最低伸长率,如 KTH300-06、KTZ550-04、KTB360-12 等。

3. 有色金属

有色金属及其合金种类繁多,由于各具某些特殊的性能,所以在一些特殊的场合得到应用。机械零件中常用的有铜合金、铝合金等。

1) 铜及铜合金

纯铜由于其力学性能很低,故在机械工业中应用并不多,主要应用在导电材料中。机械工业中应用的主要是铜合金。铜合金有一定的强度和硬度,导电、导热性能优异,减摩、耐磨、抗腐蚀性能良好。

铜合金按主加金属元素的不同,又分为黄铜和青铜:

(1) 黄铜以锌(Zn)为主加元素,同时含有少量的锰(Mn)、铝(Al)和铅(Pb)。黄铜塑性和铸造流动性好,有一定的耐腐蚀能力,但强度和耐磨性不高。

(2) 青铜以主加元素的不同又可分为锡青铜和铝青铜等。青铜比黄铜有更高的强度、硬度、耐磨性和耐腐蚀性。在机械设计中,常用青铜与钢组成配对材料。

在 GB/T 1176—2013 中规定铸造铜合金牌号的表示方法是在符号“ZCu”后加注各主要合金元素的符号及其含量,如铸造铝铁青铜 ZCuAl10Fe3 及铸造锡青铜 ZCuSnPb5Zn5。

2) 铝及铝合金

铝及铝合金的使用量仅次于钢铁,主要是因为铝合金的密度只有钢材的 1/3,但它的比强度和比刚度与钢接近甚至超过钢,在承受同样大的载荷时,铝合金零件的质量要比钢零件轻得多。其次,铝合金具有良好的导热、导电性能,其导电性能大约为铜的 60%,由于质量轻,在远距离输送的电缆中常代替铜线。铝合金无毒而且还有良好的抗腐蚀能力,广泛应用在建筑结构工业、容器及包装工业、电器工业和航空航天工业中。例如,波音 747 飞机上 81% 的用材是铝合金。

二、非金属材料

1. 工程塑料

塑料与我们日常生活有着密切的关系,随处可见,绝大部分都是通用塑料,真正能用在工程上,作为结构零件的塑料并不多。一般把工作应力大于 50 MPa、连续工作温度超过 100℃ 的塑料称为工程塑料。它具有强度高、质量轻、减摩、耐磨、耐腐蚀、耐热和绝缘等特点。其成型工艺性好,生产效率高,故发展很快,应用范围日益扩大,越来越受到工程界的重视。常用的五大工程塑料有:

1) 尼龙

品种、数量及应用上居工程塑料之首,其强度高,耐磨性好,耐化学腐蚀。但易吸收水分而影响尺寸的稳定性。

2) 聚碳酸酯

在工程塑料中韧性最好,透光率达 90%,连续使用温度达 135℃~145℃,它正在取代玻璃和有机玻璃,作为飞机上的挡风夹层和天窗盖。

3) 聚甲苯

在工程塑料中弹性模量最高,并有高硬度、低摩擦系数和较好的耐疲劳性能,适用于制造

小齿轮及轴套等。

4) 聚苯醚

在工程塑料中硬度最高,热膨胀系数最小,最耐热。

5) ABS

ABS 为丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物,具有良好的综合性能,广泛应用在管材、家用电器和纺织机械中。用 ABS 制成的泡沫夹层板,可作小轿车的车身。

2. 橡胶

橡胶常用来制造轮胎、垫板、隔热板、传动带和减振零件等。

3. 夹布胶木

夹布胶木常用来制造板材、电工元件及轻载无噪声齿轮和耐腐蚀元件等。

4. 其他

工业上,经常使用的非金属材料还有陶瓷、皮革、木材和纸板等。

三、复合材料

在工程上复合材料的应用更广,它把两种材料结合在一起,发挥各自的长处,在一定程度上克服了各自固有的缺点,如玻璃具有较高的弹性模量和强度,但太脆,而塑料具有良好的塑性、易于加工,但弹性模量和强度较低,把两者结合起来,就产生了玻璃钢。

陶瓷材料硬度高、耐磨性好,但不易于加工成型,将它们与金属粉末烧结在一起,就形成了硬质合金。也有金属和金属的复合材料,如碳钢和不锈钢、碳钢和铜合金的复合板,在这种情况下,不锈钢和铜合金与介质接触,起到耐腐蚀、耐磨损的作用,而碳钢作为基体,起到支撑强度的作用。

近几年,又开发出一种硼铝的复合材料,它的常温和高温强度比高强度的铝合金大得多。美国现在使用的航天飞机的整个桁架支柱,均用硼铝复合材料的管材制造,比原先采用铝合金时减轻重量 44%。

复合材料可以最大限度地发挥材料的使用价值、降低成本、提高效益。

四、钢的热处理简介

钢的热处理是指将钢在固态状态下进行不同温度的加热、保温和冷却的工艺方法(见图 1-2),促使其内部组织结构发生变化,从而达到提高零件力学性能和改善其工艺性能的目的。正因为钢的热处理是在不改变金属材料牌号的前提下,使之得以强化,充分发挥材料的内部潜力,故是提高机械产品质量、降低成本的一种重要手段。

常用的热处理方法有:退火、正火、淬火、回火、调质、时效及化学处理等。

1. 退火

把钢加热到临界温度(在钢的固态范围内,引起钢内部组织结构发生变化的温度)以上 $30^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$, 经过适当的保温后,随炉温一起缓慢冷却下来的热处理工艺称为

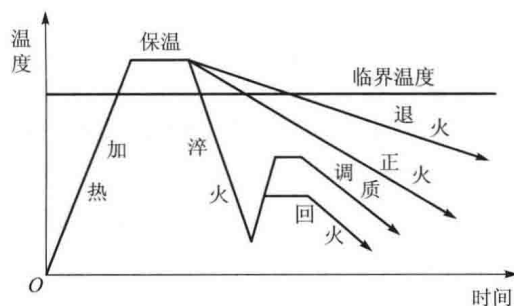


图 1-2 钢的热处理

退火。

退火的目的是降低材料的硬度,提高塑性,细化结晶组织结构,改善力学性能和切削加工性能,消除或减小铸件、锻件及焊接件的内应力。

2. 正火

将零件加热到临界温度以上,保温一段时间后再空冷、风冷或喷雾冷却。它的冷却速度比退火快,作用与退火相似,但比退火经济,成本低,可作为零件的最终热处理。

3. 淬火

将零件加热到临界温度以上,保温一段时间后再在水中或油中迅速冷却。由于材料内部组织结构的变化,使其硬度提高、耐磨性加强,但材料的脆性也增加、塑性下降。由于淬火温度变化过快,材料内部形成较大的淬火应力,会导致零件的变形或开裂。淬火不能作为零件的最终热处理,通常要经过适当的回火处理,以消除淬火应力。

钢经过淬火后可以细化组织、提高强度,以便于切削加工。

4. 回火

将淬火后的零件重新加热到临界温度以下的某一温度,保温一段时间后再在空气中冷却。根据对零件要求的不同,可采用不同的回火温度。回火温度越高,材料的硬度和强度下降越多,而塑性和韧性则显著提高。

1) 低温回火

回火温度在 $150^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$, 主要用来降低材料的脆性和淬火应力,并能保持较高的硬度和耐磨性,常用于刀具和模具等。

2) 中温回火

回火温度在 $350^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$, 其特点是既能保持材料一定的韧性,又能保持一定的弹性和屈服点,常用于弹簧和承受冲击的零件。

3) 高温回火

回火温度在 $500^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$, 使零件获得强度、硬度、塑性和韧性都良好的综合力学性能。

5. 调质

淬火加高温回火称为调质。一些重要的零件,特别是一些在变应力下工作的零件,如连杆、齿轮和轴等常采用调质处理。

6. 时效

时效可以减小或消除零件的内应力,使零件在工作之前得以充分的变形,零件尺寸可以稳定下来。时效分低温时效和高温时效。

1) 低温时效

将零件加热到 $100^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$, 保温 $5 \sim 20\text{h}$ 后,再空冷。

2) 高温时效

将零件加热到略低于高温回火的温度,保温后,缓冷到 300°C 以下,出炉空冷。

7. 表面处理

对于一些要求表面有较高的硬度以增加其耐磨性,而芯部要求有较高的韧性以提高其抗冲击能力的零件,可以采用表面处理工艺。表面处理包括表面淬火和化学处理。

1) 表面淬火

采用快速加热的方法,只将零件表面加热并淬火。它只改变表层组织,芯部并不发生变

化,保持了一定的韧性和强度,而表层得到强化和硬化。

表面淬火有高频感应加热表面淬火和火焰加热表面淬火。

2) 化学处理

化学处理是把零件放入化学介质(碳或氮等)中加热、保温,使介质元素渗入零件表层中,使零件表层的化学组成和组织结构发生变化,来获得对其芯部和表层不同性能要求的热处理方法。常用的方法有渗碳、渗氮和碳氮共渗(氰化)等。

第三节 机械设计中的摩擦学基础

所有机械的运转都是依赖其零部件的相对运动来实现的,有相对运动就必然产生摩擦和磨损,其结果是造成机器的能耗增大、效率降低、配合间隙增大、运动精度降低、零件的寿命缩短。润滑是改善表面摩擦状态、减缓磨损的最有效的方法。摩擦学(Tribology)是有关摩擦、磨损和润滑科学的总称。

摩擦是造成能量损失的主要原因,磨损是摩擦的必然结果。在失效的机械零件中,大约有80%是由于各种形式的磨损造成的。在机械设计中,正确解决摩擦、磨损和润滑问题是非常重要的。

一、摩擦

在外力作用下,相互接触的两个物体做相对运动或有相对运动的趋势时,其接触表面上就会产生抵抗滑动的阻力,这一现象叫作摩擦,这时所产生的阻力叫作摩擦力。摩擦可分为两大类:一类是发生在物质内部,阻碍分子间相对运动的内摩擦;另一类是在物体接触表面上产生的阻碍其相对运动的外摩擦。对于外摩擦,根据摩擦副的运动状态,可将其分为静摩擦和动摩擦;根据摩擦副的运动形式,可将其分为滑动摩擦和滚动摩擦;根据摩擦副的表面摩擦状态(或称润滑状态),又可将其分为干摩擦、边界摩擦(边界润滑)、流体摩擦(流体润滑)和混合摩擦(混合润滑)。

1. 干摩擦

干摩擦是指表面间无任何润滑剂或保护膜 of 纯金属接触时的摩擦。在工程实际中,真正的干摩擦是不存在的,因为任何零件的表面不仅会因为氧化而形成氧化膜,而且多少也会被含有润滑剂分子的气体所湿润或受到“油污”。在机械设计中,通常将两接触表面没有人为引入润滑剂的摩擦当作干摩擦。干摩擦时,摩擦阻力最大,金属间的摩擦系数 $f=0.3\sim 1.5$ 。

2. 边界摩擦(边界润滑)

边界摩擦是指两摩擦表面被吸附在表面的边界膜隔开,其摩擦性质与流体的黏度无关,只与边界膜和表面的吸附性质有关。边界膜极薄,不能避免金属间的直接接触,这时仍有摩擦力产生,其摩擦系数 $f=0.1\sim 0.5$ 。

3. 流体摩擦(流体润滑)

当摩擦表面间的润滑膜厚度大到足以将两个表面完全隔开时,即形成了完全的流体摩擦。这时,润滑剂中的分子已大多不受金属表面吸附作用的支配而自由移动,摩擦只发生在流体内部的分子之间,所以摩擦系数极小($f=0.001\sim 0.008$),而且不会有磨损产生,是理想的摩擦状态。