

机 械 制 造 工 程 概 论

# 机械制造工程

## 概 论

孟兴发 来守正 丁炳贤 主编

机 械 制 造 工 程 概 论

论 概 程 工 造 制 械 机

航 空 工 业 出 版 社

# 机械制工程概论

孟兴发

来守正

丁炳贤

主编

航空工业出版社

1992

(京) 新登字161号

### 内 容 提 要

全书共分四篇十六章, 包括工程材料、毛坯成形、零件去除成形、机械产品的装配等内容。

本书结合多年来教学实践和科研成果, 反复精选教材内容, 重点突出, 以系统论观点阐述问题, 工程技术与经济性相结合, 反映现代技术的新发展, 具有“精、广、新”的特点。

本书可作为高等院校管理类专业的教材, 也可作为非机械类专业及职工大学、电视大学、函授大学、业余大学管理类专业的教材, 并可供有关工程技术人员、企业管理干部学习参考。

### 机械制造工程概论

孟兴发

来守正 主编

丁炳贤

---

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号)

—邮政编码: 100029—

全国各地新华书店经售

航空工业出版社印刷厂印刷

---

1992年6月第1版

1992年6月第1次印刷

开本: 787×1092毫米 1/16

印张: 16.125

印数: 1—2 600

字数: 402.5 千字

ISBN 7-80046-422-9/C·059

定价: 4.20 元

## 前 言

《机械制造工程概论》是工业企业管理类专业的技术基础课教材，是为适应现代化管理人才的知识结构及培养目标的要求，结合教学工作的实践和科学研究新成果编写而成的。

本书力求通过以下几个方面来体现管理类金工教材的一些特点。

1. 用系统论观点归纳教材内容，使知识系统化，把机械制造企业的整个生产经营活动看作一个由输入系统（材料、能量、信息输入）、制造系统（加工、处理系统）与输出系统（产品销售与售后服务）组成的机械制造工程系统。

整个制造系统按照产品的整个制造过程划分为工程材料（第一篇）、毛坯成形（第二篇）、零件去除成形（第三篇）与机械产品的装配（第四篇），以此组成了全教材的篇结构，使读者对制造企业的整个生产活动有一个完整的系统概念，对各部分知识形成连贯的认识。

2. 用工艺形态学的方法描述各种工艺，具有原理型与工艺型相结合的特点。在毛坯成形篇中，按工艺形态及其特点把传统的铸、锻、焊接工艺分为液态成形、固态成形、连接成形与粉末成形（粉末冶金）等毛坯成形方法。零件的切削加工扩大为零件去除成形，这是适应机械制造发展的需要。在零件去除成形篇中，打破了传统的车、铣、刨、磨界限，按表面形状特征划分为外圆表面加工、内圆表面加工、平面加工与成形表面加工四种类型，又按其技术要求、被加工材料性质、生产批量等因素进行综合论述与横向分析比较，既显示了各种加工方法的原理与实质，形成原理型与工艺型相结合的特点，克服了分散零乱、系统性差的缺点，又突出了各种工艺的特点与应用，便于读者对各种加工方法的适用性与局限性作出快速的判断与抉择，也有利于开展计算机辅助工艺过程设计的研究。

3. 贯穿技术与经济相结合。全书自始至终围绕着如何在保证产品质量前提下，降低成本与提高生产率这个中心展开。在工程材料、毛坯成形和零件去除成形等篇中都专设有关技术经济分析章节，以利于培养学生在分析技术问题注重经济性，以适应当前国内企业由生产型向经营型转变对人才素质的要求。

4. 把现代有关科学技术（如成组技术、计算机技术）纳入教材，以利于扩大视野，开阔思路。

5. 每章后设有习题，以启发学生思维，培养灵活运用知识、分析解决实际问题的能力。

参加本教材编写的有孟兴发（总论、第十四章、第十五章）、丁炳贤（第一章、第二章、第五章）、张瑞英（第三章）、邓春福（第四章、第七章、第八章、第十章）、齐桂森（第六章、第九章）、来守正（第十一章）、王金凤（第十二章、第十六章）、任志新（第十三章）。

本教材由孟兴发、来守正、丁炳贤主编。

本教材由西北工业大学杨振恒教授主审。

在教材编写过程中，得到各方面同志们的支持和帮助，在此谨致谢意。

由于编者学识水平有限，经验不足，书中不免会有错误和不妥之处，恳请读者和同行专家批评指正，以便改进提高。

**编 者**

1992年1月

# 目 录

|         |     |
|---------|-----|
| 总论..... | (1) |
|---------|-----|

## 第一篇 工程材料

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| <b>第一章 金属材料的性能</b> .....       | (5)  |
| 第一节 金属材料的机械性能.....             | (5)  |
| 第二节 金属的物理性能和化学性能.....          | (10) |
| 习 题 .....                      | (11) |
| <b>第二章 金属的组织结构</b> .....       | (12) |
| 第一节 金属的结晶.....                 | (12) |
| 第二节 纯金属的晶体结构.....              | (14) |
| 第三节 合金的组织.....                 | (16) |
| 第四节 铁碳合金及其平衡状态图.....           | (19) |
| 习 题 .....                      | (26) |
| <b>第三章 钢的热处理及金属的表面处理</b> ..... | (27) |
| 第一节 钢的热处理基本原理.....             | (27) |
| 第二节 钢的常规热处理.....               | (31) |
| 第三节 钢的表面热处理.....               | (37) |
| 第四节 钢的热处理工艺选用.....             | (40) |
| 第五节 金属的表面防护处理.....             | (41) |
| 习 题 .....                      | (44) |
| <b>第四章 常用工程材料</b> .....        | (45) |
| 第一节 碳素钢.....                   | (45) |
| 第二节 合金钢.....                   | (48) |
| 第三节 铸铁.....                    | (58) |
| 第四节 有色金属及其合金.....              | (61) |
| 第五节 其他工程材料.....                | (66) |
| 第六节 工程材料的选用.....               | (72) |
| 习 题 .....                      | (75) |

## 第二篇 毛坯成形

|                           |      |
|---------------------------|------|
| <b>第五章 液态成形——铸造</b> ..... | (78) |
| 第一节 铸造成形的基本原理.....        | (78) |
| 第二节 砂型铸造.....             | (83) |
| 第三节 特种铸造.....             | (87) |
| 第四节 各种铸造方法的综合比较.....      | (93) |

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 习 题 .....                     | (94)  |
| <b>第六章 固态成形——金属压力加工</b> ..... | (95)  |
| 第一节 金属压力加工基本原理 .....          | (95)  |
| 第二节 锻造成形 .....                | (99)  |
| 第三节 冲压成形 .....                | (108) |
| 习 题 .....                     | (116) |
| <b>第七章 粉末成形——粉末冶金</b> .....   | (118) |
| 第一节 概述 .....                  | (118) |
| 第二节 粉末成形工艺过程 .....            | (119) |
| 习 题 .....                     | (122) |
| <b>第八章 塑料成形</b> .....         | (123) |
| 习 题 .....                     | (125) |
| <b>第九章 连接成形——焊接与胶接</b> .....  | (126) |
| 第一节 焊接 .....                  | (127) |
| 第二节 胶接 .....                  | (135) |
| 习 题 .....                     | (137) |
| <b>第十章 毛坯成形方法选择</b> .....     | (138) |
| 第一节 概述 .....                  | (138) |
| 第二节 毛坯成形方法选择的依据 .....         | (138) |
| 习 题 .....                     | (142) |

### 第三篇 零件去除成形

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| <b>第十一章 去除成形的基础知识</b> .....     | (144) |
| 第一节 切削运动与切削要素 .....             | (144) |
| 第二节 切削刀具 .....                  | (146) |
| 第三节 金属切削成形中的物理现象 .....          | (150) |
| 第四节 金属切削机床简介 .....              | (156) |
| 第五节 去除成形工艺的发展 .....             | (167) |
| 习 题 .....                       | (173) |
| <b>第十二章 零件加工质量</b> .....        | (174) |
| 第一节 加工精度及其影响因素 .....            | (174) |
| 第二节 表面质量及其影响因素 .....            | (177) |
| 习 题 .....                       | (180) |
| <b>第十三章 零件典型表面的切削成形方法</b> ..... | (181) |
| 第一节 外圆表面加工 .....                | (181) |
| 第二节 内圆表面(孔)的加工 .....            | (185) |
| 第三节 平面加工 .....                  | (191) |
| 第四节 成形面的加工 .....                | (195) |
| 习 题 .....                       | (205) |

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| <b>第十四章 机械加工工艺过程</b> .....           | (207) |
| 第一节 机械加工工艺过程的基本概念.....               | (207) |
| 第二节 工件定位与夹具.....                     | (208) |
| 第三节 机械加工工艺过程的制订.....                 | (212) |
| 第四节 典型零件机械加工工艺流程实例.....              | (222) |
| 习 题 .....                            | (227) |
| <b>第十五章 提高机械加工生产率和经济性的有效措施</b> ..... | (229) |
| 第一节 提高机械加工生产率的措施.....                | (229) |
| 第二节 机械制造系统自动化.....                   | (236) |
| 习 题 .....                            | (243) |

## 第四篇 机械产品的装配

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| <b>第十六章 机械产品的装配</b> ..... | (245) |
| 第一节 装配的概念及组织形式.....       | (245) |
| 第二节 装配精度及其保证方法.....       | (247) |
| 习 题 .....                 | (250) |
| <b>参考文献</b> .....         | (251) |

# 总 论

用系统的观点认识机械制造企业生产过程的各个环节以及它们之间的相互联系,用系统工程学的原理和方法来组织生产、指挥生产,可使生产和管理科学化,可使企业按照计划与市场的情况,及时地改进、调节生产,不断进行产品更新,以满足社会的需求,可使产品质量更好、生产周期更短、成本更低,从而得到高的经济效益。

## 一、生产系统和机械制造系统

### 1. 系统的概念

系统是由几个相互作用和相互依赖的部分所组成的具有特定功能的有机整体,它具有下列属性:

- 集合性 应有两个或两个以上的部分或要素组合而成;
- 相关性 这些部分或要素是相互联系和相互作用的;
- 目的性 有整体的目的性(特定功能);
- 环境适应性 能适应其所处环境变化的能力。

### 2. 生产系统

工厂是社会生产的基层单位。工厂根据国家的生产计划、市场需求情况以及自身的生产条件,决定自己生产的产品类型和产量,制订生产计划,进行产品设计、制造、装配等,最后输出产品。

如图 0-1 所示是一个生产系统的基本框图。虚线框内所表示的是一个生产系统,虚线框外表示生产系统的外界环境。整个生产系统的生产过程分为三个阶段。第一阶段是决策和控制阶段。在这阶段中,工厂最高决策机构根据生产动机、必要的设想、技术知识、经验以

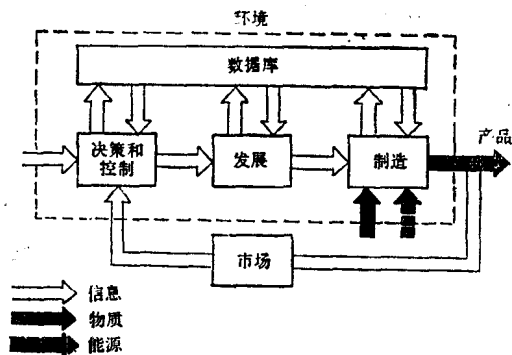


图 0-1 生产系统基本框图

及市场情况,对生产的产品类型、产量等作出决定,同时对生产过程进行指挥与控制。第二阶段是产品设计和发展阶段。第三阶段是产品制造阶段。每个阶段的工作过程中,都需要和数据库交换必要的信息。此外,在第三阶段中,还必须从外部输入能源和物质(如材料等)。经过上述三个阶段的生产活动,系统最后输出所生产的产品。产品输出后,应及时地将产品在市场上的竞争能力、质量评价、用户的改进要求等信息反馈到决策机构,以便使决策机构及时地对生产作出新的决定。

整个系统由信息流、物质流、能量流联系起来。信息流主要是指计划、调度、管理、设计、工艺等方面的信息;物质流主要是指从原材料经过加工、装配到成品的过程,并包括储存、运输、检验、油漆、包装等过程;能量流主要指动力能源系统。

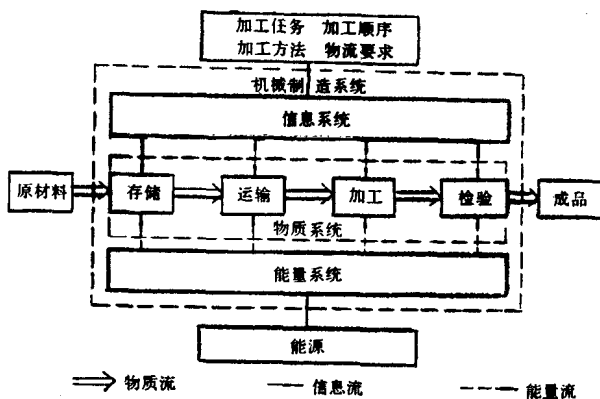
### 3. 机械制造系统

长期以来,人们往往都是孤立地看待机械制造领域所涉及的各种问题,对于机械制造中所用的机床、工具和制造过程,仅限于分别地、单个地加以研究。因此,在很长时期内,尽管机械制造领域中的许多研究和发展工作取得了卓越的成就,然而在大幅度地提高小批量生产的生产率方面,并未发生重大的突破。直到60年代后期,人们才逐渐认识到,只有把机械制造的各个组成部分看成一个有机的整体,用系统的观点进行分析和研究,才能对机械制造过程实行最有效的控制,并大幅度地提高加工质量和加工效率。

如图0-2所示是机械制造系统各组成部分之间的相互关系。

机械加工中,将毛坯、刀具、夹具、量具和其它辅助物料作为“原材料”输入机械制造系统,经过存储、运输、加工、检验等环节,最后作为机械加工后的成品输出,形成物质

流,至于加工任务、加工顺序、加工方法、物流要求等确定的计划、调度、管理等属于“信息”的范畴而形成信息流。此外,机械制造系统中的能量的消耗及其流程称为“能量流”。



## 二、制造技术与经济的关系

人类社会进行物质生产必要的两个方面是技术与经济。它们两者紧密联系,既相互促进又相互制约。经济的需要是技术进步的动机和方向,而技术进步又是促进经济发展的重要条件和手段。

技术进步特别是机械制造技术的发展,为人类更好地利用自然、征服自然、创造物质财富和提高劳动效率提供更为有利的手段和条件。它是推动经济发展的最重要的物质基础,对促进国民经济的发展和改善人民的物质生活都有着十分重要的意义。因此,在研究机械制造技术课题时,要从经济方面对它提出要求和指出方向,使技术更有效地为发展社会主义经济服务,尽可能达到最大的经济效益。在考虑发展经济时,应为促进制造技术的进步开辟新的领域,尽量采用先进的技术手段和加工方法,以发挥最大的技术效果,更好地促进经济的发展。

因此在发展机械制造业与技术开发中要讲究经济效益,正确处理好技术先进和经济合理两者之间的关系,使制造业的发展做到既在技术上先进,又在经济上合理,而且是在技术先进条件下的经济合理,在经济合理基础上的技术先进。这就要求制造企业的管理人员和工程技术人员必须既懂技术,又懂经济。在制造企业的整个生产经营活动中,例如从新产品的开发、设计、试制、工艺过程设计、生产计划的制订、车间平面布置、产品的制造与管理等存在着许多互相联系、互相制约的多因素和多方案的问题。譬如材料的选择、毛坯的选择、机床和工艺装备(刀具、夹具、量具等)的选择、切削参数的确定、工艺路线方案的选择等都有一个最佳选择和确定的问题。因此,在一定的条件和规定的目标下,通过技术经济

分析和优化设计进行最优决策,达到经济生产之目的。

### 三、生产类型与经济效益

各制造企业,由于产品品种、结构、产量的不同,决定了各企业所用的机床、工艺装备、工艺方法和生产组织形式各不相同,最后导致产品的生产成本及经济效益大不相同。

1. 单件生产 如重型机械产品制造和新产品试制等。它的基本特点是:生产的产品品种繁多,产品产量很小,因此零件的制造通常采用万能机床和通用工、夹、量具,它们固然能适应加工对象的频繁变化,但生产效率低,加工周期长,成本高,经济效益差。

2. 成批生产 如机床制造等。它的基本特点是:生产的产品品种较多,每种产品均有一定的数量,各种产品分期分批轮番地进行生产,根据产品的特征和批量的大小,成批生产又可分为小批生产、中批生产和大批生产。小批生产的特点和单件生产相似;大批生产的特点和大量生产相似;中批生产介于两者之间,因此,成批生产通常采用通用机床和专用工艺装备,其生产效率较高,产品成本相应降低。

3. 大量生产 如汽车、拖拉机、轴承、缝纫机、自行车生产等。它的基本特点是:产量大、品种少、产品稳定、专业化程度高,它有条件采用先进的高效专用设备和专用工艺装备,生产组织形式采用自动生产线或生产流水线,大大缩短产品的生产周期。大量生产具有很高的生产效率和很低的生产成本,收到了最好的经济效果。

科学技术的迅猛发展和社会需求的多样化,大大缩短了产品更新换代的周期,使得多品种、中小批生产在机械制造业中的地位显得日益重要,这样就十分突出和激化了传统的多品种、中小批生产企业的固有矛盾——十分重要的经济地位和十分低劣的经济效益。因此如何尽快改变传统的多品种、中小批生产企业的落后面貌,成为各国发展制造业的重要研究方向,同时也是当前我国机械工业技术改造的重要课题。成组技术的推广和发展,柔性制造系统的开发和应用,使多品种、中小批生产有可能采用接近大量生产中行之有效的先进生产方式、制造技术和管理方法,为多品种、中小批生产企业提高生产率、降低产品成本、增加技术经济效益开辟了广阔的前景。

在建设我国四个现代化的过程中,应十分重视机械制造工程的研究。本课程就是以工程材料和机械制造中的工艺技术问题为研究对象的一门技术科学。本课程的任务是:通过对制造系统中工程材料、毛坯成形、零件去除成形、机械产品的装配等内容的学习,了解和掌握工程材料的主要性能、应用特点,及其在各生产阶段中的成形方法与工艺过程的基本知识,为学习工业管理专业课程和今后从事企事业的生产开发、经营管理与企业生产活动的经济分析准备必要的机械制造工程的知识。

## 习 题

1. 举例说明技术与经济的关系。
2. 机械制造业可分为哪几种生产类型?它们各有什么特点?
3. 经济生产的优化目标有哪些?
4. 在生产过程中贯穿着哪三种流程?分析它们之间的关系。

# 第一篇 工程材料

材料是人类生产和生活的物质基础。人类社会发展的历史证明，生产中所用材料的性质直接反映了人类社会的发展水平。我们的祖先曾为人类社会的发展，特别是在材料学科方面的研究和实践作出过卓越的贡献。

20世纪以来，随着现代科学技术和生产的发展，材料、能源和信息已经成为现代经济发展的三大支柱。

工程材料的发展异常迅速。金属材料、非金属材料、特别是高分子材料、以及各种各样的复合材料都得到飞速发展，形成了一个完整的现代工程材料体系。我们相信随着人类对宇宙空间的研究和开发，必将为人类提供许多性能更加优异的新型工程材料。

工程材料是制造系统的加工对象，也是材料流程的主体。正确认识各种工程材料的性能及其在加工过程中的变化，是合理选用材料、确定毛坯成形工艺方法、合理编制工艺过程、保证产品质量和提高企业技术经济效益的重要前提。

机械制造系统中所用工程材料分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类（如图 I-1），金属材料仍然是当前甚至在相当长一个时期内应用最广和用量最大的工程材料。因此本篇将着重讨论金属材料中的钢、

铸铁和常用有色金属及其合金，对非金属材料及复合材料只作简要介绍。

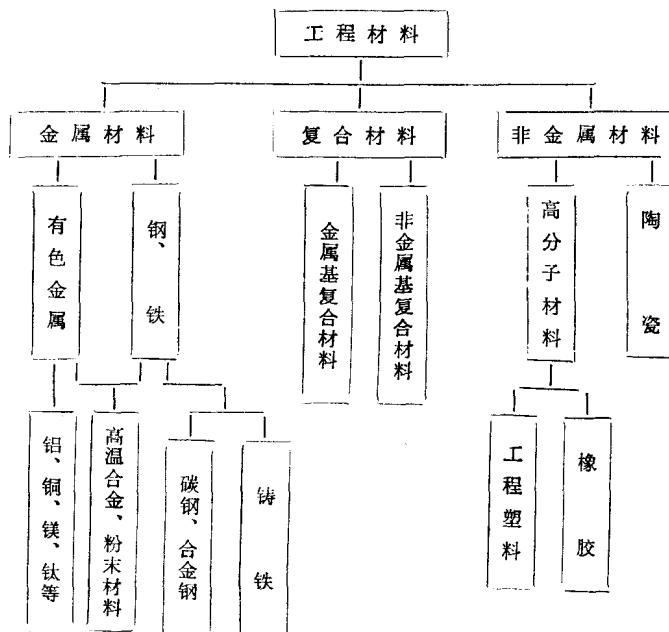


图 I-1 工程材料分类

# 第一章 金属材料的性能

根据机械零件的工作条件（受力条件、工作温度条件和工作环境）和失效形式（过量变形失效、断裂失效、磨损失效和腐蚀失效等），应对制造机械零件的材料提出相应的性能要求，也就是说，用于制造机械零件的材料应满足工作条件所提出的各种性能要求，以保证机械零件在一定的工作条件下能够正常工作而不失效，而且能保证一定的使用寿命。

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能两类。所谓使用性能是指材料在工作中为发挥正常功效和能够达到预定的使用寿命所具有的性能，它包括机械性能、物理性能和化学性能。材料的工艺性能是指材料对某种加工工艺的适应能力，它包括铸造性能、锻压性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性能等。

本章仅对金属材料的使用性能进行简单阐述，而工艺性能将在以后各章分别讨论。

## 第一节 金属材料的机械性能

金属材料的机械性能又称力学性能，它表示材料承受外力作用的能力。为满足机械零件的受力条件要求，应对制造零件的材料做各种相应的机械性能试验来测定材料的各种机械性能指标。所测得的实际机械性能指标应满足设计中对零件材料提出的机械性能指标要求。

金属材料的机械性能试验有：拉伸、压缩、弯曲、扭转、剪切、硬度、疲劳和冲击等，其中最常用的是拉伸试验、硬度试验和冲击试验。通过这些试验可以测出相应的机械性能指标。

### 一、强度

金属在外力作用下抵抗变形和破坏的能力称为强度。由于零件材料大多是在受拉时产生变形或破坏的，所以通常用受拉时的强度来代表材料的强度指标。

#### （一）拉伸试验

在做材料的拉伸试验前，须从欲测材料中取出部分材料，并按标准规定制成标准试样。拉伸试样又分为圆试样与扁试样两种。图 1-1 为标准圆截面拉伸试样示意图。图中  $d_0$  和  $L_0$  分别为试样在拉伸前的计算直径和计算长度， $d$  和  $L$  分别为试样拉断后的断口直径和计算长度。

测试时将试样夹持在拉伸试验机的上下夹头间。随着加于试样的拉力  $P$  不断增大，试样不断被拉长直至被拉断。加于试样的拉力  $P$  与变形量（即

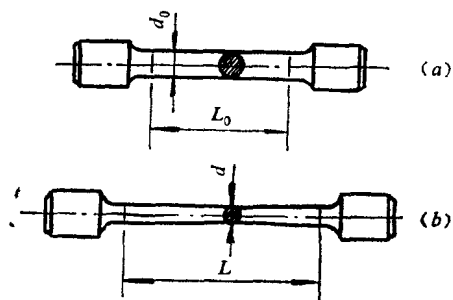


图 1-1 标准拉伸试样示意图  
(a) 试验前 (b) 试验后

伸长量)  $\Delta L$  之间的关系可用图1-2所示的  $P-\Delta L$  拉伸曲线表示。

若将图 1-2 中的纵坐标拉力  $P$  变成 试样单位横断面积上的力, 即应力  $\sigma = P/F$  ( $F = \frac{1}{4}\pi d_0^2$ )。横坐标  $\Delta L$  变成试样单位长度上的变形量, 即应变  $\epsilon = \Delta L/L_0$ , 则  $P-\Delta L$  拉伸曲线就变成与之相似的  $\sigma-\epsilon$  应力应变曲线 (如图1-3所示)。这样就能消除 试样尺寸的影响, 能较真实地反映材料的力学性能。

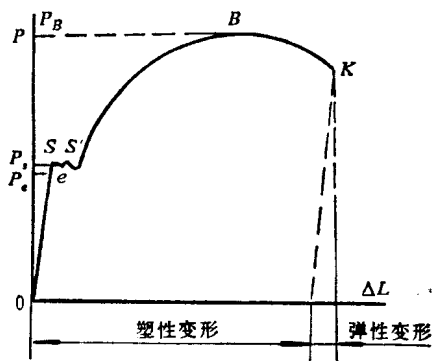


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

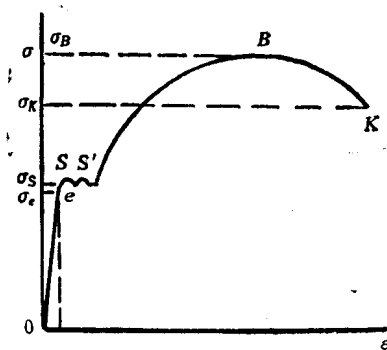


图 1-3 低碳钢拉伸时的应力应变曲线

根据试样在拉伸过程中应力  $\sigma$  与应变  $\epsilon$  间的关系, 可将变形过程分为 弹性变形、屈服、均匀变形和颈缩断裂四个阶段。

## (二) 金属拉伸时的强度指标

### 1. 常温强度

在常温 (即室温  $20^\circ\text{C}$  左右) 下做以上试验所测得的强度指标称为常温强度。

#### (1) 弹性极限

如图1-3所示, 试验最初阶段  $oe$  段的应变  $\epsilon$  与应力  $\sigma$  成正比, 此阶段的变形随外力的施加而产生, 又随外力的取消而消失, 这种变形称为弹性变形。产生最大弹性应变时的应力值  $\sigma_e$  称为该材料的弹性极限。

$$\sigma_e = P_e / F_0$$

在弹性范围内, 应力与应变的比值称为材料的弹性模数  $E$ , 它相当于产生单位弹性应变所需要的应力值。

$$E = \sigma_e / \epsilon_e$$

弹性模数  $E$  用来衡量材料的刚性, 材料的刚性是指材料抵抗产生弹性变形的能力,  $E$  值愈大, 材料的刚性愈大, 说明材料越不容易产生弹性变形。

#### (2) 屈服强度

当拉伸进行到  $oe$  段结束后, 再继续拉伸时会发生这样一种现象, 即外力  $P$  未明显增大而开始产生较明显的塑性变形 (永久变形), 即材料开始丧失抵抗塑性变形的能力, 并在拉伸曲线上出现  $S-S'$  平台, 这一现象称为屈服现象。低碳钢在拉伸时就有明显的屈服现象。产生屈服现象时的应力值  $\sigma_s$  称为材料的屈服强度或屈服极限。

$$\sigma_s = P_s / F_0$$

有些材料如铸铁、铝合金等在拉伸时没有明显的屈服现象。标准规定把这类材料产生

0.2% 应变时的应力值作为屈服强度, 因而又称为条件屈服强度, 用  $\sigma_{0.2}$  来表示 (如图1-4)。

材料的屈服强度  $\sigma_s$  ( $\sigma_{0.2}$ ) 是材料在外力作用下开始产生塑性变形的最低应力值。当材料的实际工作应力大于其屈服强度时, 就有可能产生过量塑性变形而失效, 因此  $\sigma_s$  是对材料进行强度计算的主要参数之一。

### (3) 强度极限

屈服阶段结束后, 试件的变形又随外力的增大而增大, 直至外力达到最大值。这个阶段的变形在试样的计算长度上是均匀的, 因此称为均匀变形阶段。这个阶段的变形既有弹性变形又有塑性变形, 所以又称为弹塑性变形阶段。把试样在拉伸过程中所能承受的最大应力值  $\sigma_b$  称为材料的强度极限, 又称抗拉强度。

$$\sigma_b = P_b / F_0$$

在机械制造工程中常用  $\sigma_b$  作为评价材料强度的主要指标。当材料所承受的实际应力大于其强度极限时, 就会产生破坏。

### (4) 断裂强度

当外力或应力达到最大值以后, 试样的变形在整个计算长度上就不再是均匀的, 而是集中在试样的某一段, 致使此段直径急剧减小, 长度急剧增大, 产生颈缩直至断裂 (如图1-1(b))。试样在断裂时的应力值  $\sigma_k$  称为材料的断裂强度, 但其实际意义不大, 很少应用。

## 2. 高温强度

一般说来, 随着工作温度升高, 材料的强度值减小, 因此不能用常温强度来代表其高温强度。当零件在较高温度下工作时, 应做工作温度下的拉伸试验, 测定其高温强度。高温强度指标包括高温瞬时强度、高温持久强度和高温蠕变强度。

工件在高温下短时间工作时, 用高温瞬时强度作为其强度指标。高温瞬时强度是在规定的试验温度下, 按照一般加载速度作拉伸试验, 试样所能承受的最大应力值。

工件长时期在高温下工作时, 将会产生两种现象, 即蠕变和断裂。所谓蠕变是当工件所受应力值虽然很小 (即使小于其屈服强度), 也会随着时间的延长, 持续而缓慢地产生塑性变形的现象。一般认为, 如果材料的工作温度不超过其熔化温度的25%~35%, 则可以不考虑它的蠕变问题。对碳素钢和低合金钢通常以 350~400°C 为考虑蠕变问题的界限。材料的高温蠕变强度是指材料在规定的试验温度 (略高于最高工作温度) 下, 在规定的时间内产生预定应变时的应力值。

高温持久强度用来衡量材料在高温下, 长时期承受外力作用时抵抗变形和破坏的能力。它是指材料在规定的试验温度下, 在规定的时间内所能承受的最大应力值。

## 3. 疲劳强度

机械产品中的许多零件如曲轴、连杆、齿轮、弹簧等是在交变载荷下工作的。这些零件长期经受即便小于其屈服极限的交变载荷作用也会突然断裂而破坏, 这种破坏称为疲劳破坏。破坏前没有明显的塑性变形预兆, 属于低应力脆断。这种破坏危害性很大, 据统计有相当多零件的破坏属于疲劳破坏, 必须引起高度重视。

如图1-5所示, 随着应力循环次数  $N$  不断增大, 材料所能承受的最大交变应力  $\sigma_{max}$  不断

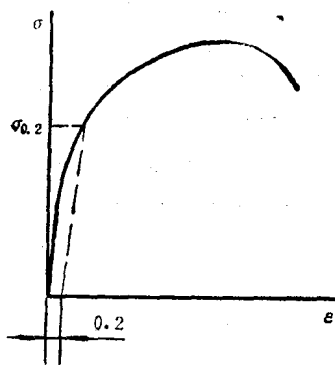


图 1-4 某些材料的条件屈服强度

减小。当交变应力循环次数  $N$  达到无限次（碳素钢  $N=10^7$  次，高强度钢  $N=10^6$  次）时，材料仍不发生破坏所能承受的最大交变应力值作为该材料的疲劳强度。

金属材料的疲劳强度用  $\sigma_r$  来表示，下标  $r$  表示交变应力的循环系数（最小应力与最大应力的比值），若为对称应力循环，它的疲劳强度用  $\sigma_{-1}$  表示。

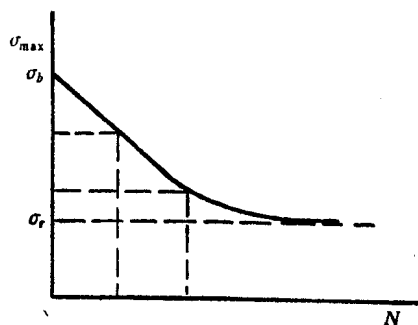


图 1-5 金属的疲劳曲线

材料的内部缺陷（如裂纹、气孔、缩松、夹渣等）、表面伤痕以及结构不合理等，都是促使材料提前产生疲劳破坏的主要原因。通常采取改善材料的冶金质量、降低表面粗糙度、对零件进行表面强化处理（如表面喷丸、表面淬火、化学热处理等）、改进零件结构设计（避免应力集中）等措施来提高材料的疲劳强度。

## 二、塑性

所谓塑性是金属在外力作用下能够产生永久变形而不破坏的能力，也就是说在不破坏的前提下，能够产生塑性变形的程度越大其塑性越好。许多零件或毛坯是通过塑性变形而成形的，要求材料有较高的塑性，同时为防止零件在工作时发生脆性破坏，也要求有一定程度的塑性。因此塑性也是金属材料的主要机械性能指标之一。

通过如前所述的拉伸试验，不仅可以测得金属的强度指标，而且可以测得其塑性指标。其塑性指标用延伸率  $\delta$  和断面收缩率  $\psi$  来表示。

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \quad \psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100\%$$

式中： $L_0$  和  $L$  分别为试样的原计算长度和拉断后的计算长度； $F_0$  和  $F$  分别为试样原横断面积和拉断后断口处的横断面积。

当试样的长径比不同时所测得的  $\delta$  值不同，当  $L_0/d_0=5$  时的延伸率用  $\delta_5$  表示， $L_0/d_0=10$  时用  $\delta_{10}$  表示。

很显然， $\delta$  和  $\psi$  值愈大，金属的塑性愈好。一般把  $\delta \geq 5\%$  的材料称为塑性材料，而把  $\delta < 5\%$  的材料称为脆性材料，如铸铁是典型的脆性材料。

## 三、硬度

硬度是指材料表面抵抗压入塑变（或刻划）的能力，即表示金属对一定几何形状的压头在一定载荷下压入表面的抗力。由于压痕下不同深度处金属所承受的应力和所发生的变形程度不同，因而硬度值仅能反映压痕附近局部体积内金属的弹性、微量塑性变形抗力以及大量塑变抗力。

通常用布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度和显微硬度等来表示材料的硬度。这里仅将应用最广的布氏硬度和洛氏硬度简单介绍如下。

### （一）布氏硬度

图1-6为布氏硬度测试原理图。它是用一定直径的淬火钢球或硬质合金球，在一定载荷

作用下垂直压入金属表面，并保持一定时间，然后卸去载荷，在被测材料表面留下一个压痕。通过读数放大镜测出压痕直径 $d$ ，这样就可以根据球体直径 $D$ 、载荷 $P$ 以及压痕直径 $d$ 计算出每单位压痕面积上的载荷值，这个值就是材料的布氏硬度值HB。

$$HB = P/F$$

式中： $P$ 和 $F$ 分别为载荷和压痕面积。

在测定布氏硬度时，实际上并不需要进行上述计算。根据已知的球体直径 $D$ 、载荷 $P$ 以及测得的压痕直径 $d$ 可以直接从有关表格中查出相应的布氏硬度值。

布氏硬度的符号规定为：压头为淬火钢球时用HBS表示，适用于硬度较低的材料（HB<450）。压头为硬质合金球时用HBW表示，适用于硬度较高的材料（HB=450~650）。

硬度值在图纸资料中的标注方法如下：

|       |      |         |   |         |   |          |
|-------|------|---------|---|---------|---|----------|
| 硬 度 值 | 硬度代号 | 球 径 $D$ | / | 载 荷 $P$ | / | 保荷时间 $T$ |
|-------|------|---------|---|---------|---|----------|

如：150HBS10/1000/30表示用直径10mm的淬火钢球压头，在1000kgf载荷作用下，保荷时间为30秒所测得的布氏硬度值为150。若保荷时间为10~15秒，允许不标注保荷时间。

布氏硬度适于测定经退火、正火和调质的钢件，以及铸铁和有色金属毛坯或半成品的硬度。其优点是所测得的数据准确、稳定。其缺点是压痕深且面积大，易损坏零件表面，不适于测定厚度太小和成品零件的硬度，而且操作也较洛氏硬度复杂。

## （二）洛氏硬度

图1-7为洛氏硬度测试原理图，它是在一定载荷（初载荷 $P_0$ 和主载荷 $P_1$ ）作用下，将压头压入材料表面，测出卸去主载荷 $P_1$ 后，在初载荷 $P_0$ 作用下压痕深度的残余增量 $e$ （ $e=h_3-h_1$ ）。显然 $e$ 值越大材料的硬度越低，为照顾习惯上数值愈大硬度愈高的概念，将测试结果作如下处理：

$$HR = K - \frac{e}{0.002}$$

式中：HR为洛氏硬度代号； $K$ 为常数，当采用金刚锥压头时 $K=100$ ，用 $\phi 1.588\text{mm}$ 淬火钢球压头时 $K=130$ 。

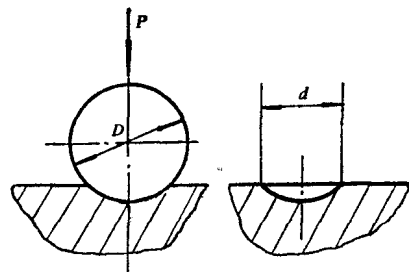


图 1-6 布氏硬度试验原理图

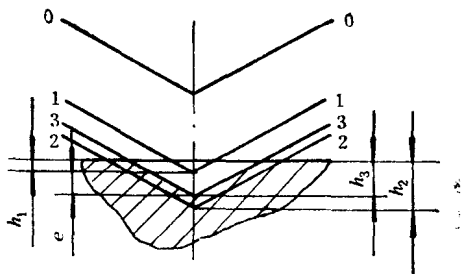


图 1-7 洛氏硬度测试原理图

表 1-1 洛氏硬度试验载荷与应用范围

| 符 号 | 测 量 范 围   | 压 头 类 型     | 总载荷 $P^*$<br>kgf (N) | 应 用 范 围          |
|-----|-----------|-------------|----------------------|------------------|
| HRA | 60~85HRA  | 120°金刚石圆锥   | 60 (588.4)           | 测量硬质合金、表面淬硬层或渗碳层 |
| HRC | 20~67HRC  | 120°金刚石圆锥   | 150 (1471.1)         | 测量调质钢、淬火钢等       |
| HRB | 25~100HRB | 1.588mm直径钢球 | 100 (980.1)          | 测量有色金属或退火、正火钢等   |

注：\* 初载荷 $P_0$ 为10kgf (98.01N)， $P = P_0 + P_1$ 。