



机械制造基础实习

(上册)

主 编 张巨香

 南京大学出版社

前 言

“机械制造基础实习”是高等工科院校多数学科的一门必修的技术基础课,近年来,由于时代的进步和课程改革的不断深入,其内涵和外延都有了一定的变化。本书是根据教育部课程指导委员会 2004 年普通高等学校“机械工程训练教学基本要求(讨论稿)”的有关内容编写而成的,主要有以下几方面特点:

1. 本书由从事金工实习教学的教师编写,注重对一线实践教学经验的总结,贴近实习实际。

2. 充实了一些在实习时便于进行且与实习结合紧密的实验,配合了课程改革,深化了实习内容,提高了实习趣味性,方便而实用。

3. 注重各工种的综合与对比,注意培养学生分析和解决实际问题的能力。

4. 注重对学生工程素质的培养,注意帮助学生建立质量、经济、安全、环保、市场等意识。比如在质量意识的培养方面做了许多探索,介绍了质量控制与管理,引入了质量溯源的概念。

5. 特别重视安全实习,本套书上册的第 1 章有专门关于安全生产的介绍,在每一工种前面都介绍本工种安全注意事项,主要操作内容都介绍安全操作要点。这是考虑到大部分学校实行选课制,金工实习分散进行,安全方面的隐患比较多。

本书上册共九章,第 1 章由张巨香、张林编写,第 2 章由黄韦编写,第 4 章由黄韦、于晓伟编写,第 3 章、第 5 章、第 6 章由张裕华编写,第 7 章由申小平、周晖编写,第 8 章、第 9 章由申小平编写。

本书承张恩生教授主审,而且张恩生教授、朱玉义副教授对本书的编写进行了悉心指导。

在本书编写的过程中,对于实际生产中的一些具体问题,许多具有丰富实践经验的教学指导人员给予了热心指教,在此一并对他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错误、疏漏之处难免,恳请读者批评指正。

编 者

2006 年 5 月

目 录

第1章 机械制造工程概述

§ 1.1 概述	1
§ 1.2 零件的一般加工过程	2
§ 1.3 安全生产、质量控制与绿色制造	3

第2章 金属材料的一般知识

§ 2.1 概述	7
§ 2.2 金属材料的性能和力学性能试验	7
§ 2.3 金属学基本知识	13
§ 2.4 钢铁的冶炼	17
§ 2.5 钢的分类、牌号与火花鉴别实验	21

第3章 金属热处理

§ 3.1 概述	28
§ 3.2 热处理设备	31
§ 3.3 热处理的工艺方法	36
§ 3.4 钢的热处理与试样硬度测定实验	44
§ 3.5 金相试样的制备及显微组织观察实验	46

第4章 铸造成形

§ 4.1 概述	53
§ 4.2 砂型铸造	54
§ 4.3 金属的熔炼与浇注	76
§ 4.4 铸件质量分析	81
§ 4.5 零件结构工艺性与铸造工艺制定	83
§ 4.6 特种铸造	95

第5章 锻造成形与冲压成形

§ 5.1 概述	102
----------------	-----

§ 5.2 锻压设备	103
§ 5.3 锻造成形	110
§ 5.4 冲压成形	124
§ 5.4 锻压生产质量控制与经济性比较	131
第 6 章 焊接与热切割	
§ 6.1 概述	134
§ 6.2 手工电弧焊	135
§ 6.3 气焊与气割	146
§ 6.4 焊接缺陷与检验	153
§ 6.5 其他焊接与切割方法简介	157
第 7 章 粉末冶金及陶瓷材料成形技术	
§ 7.1 定义及特点	165
§ 7.2 基本工艺流程	166
§ 7.3 典型制品加工工艺实例	175
§ 7.4 粉末冶金及陶瓷成形技术的新发展	182
第 8 章 高分子材料成形技术	
§ 8.1 概述	187
§ 8.2 塑料成形	189
§ 8.3 橡胶成形	199
§ 8.4 合成纤维成形	204
第 9 章 复合材料成形技术	
§ 9.1 概述	209
§ 9.2 复合材料的成形	210
§ 9.3 复合材料应用实例	213
参考文献	215

第 1 章 机械制造工程概述

主要教学要求

- (1) 了解机械制造工程的一般运作系统；
- (2) 了解零件和机器的一般制造过程；
- (3) 了解安全生产、质量控制和绿色制造的一般知识。

§ 1.1 概 述

现代机械制造以控制论和系统工程为先导,综合考虑物料流(毛坯、材料、结构和工艺等)、信息流和能量流三者的关系,将现代工业生产和产品的决策、质量评价、市场信息等有效地融为一体。

图 1-1 为机械制造企业的运作过程,大致可分为生产决策、经营决策和制造加工三个主要层次。企业在运作的过程中,主要需解决两个问题:一是根据市场及其他条件决定制造什么产品(生产决策)并取得销售订单(经营决策);二是从技术和管理两方面进行生产组织,制造出合格的产品。

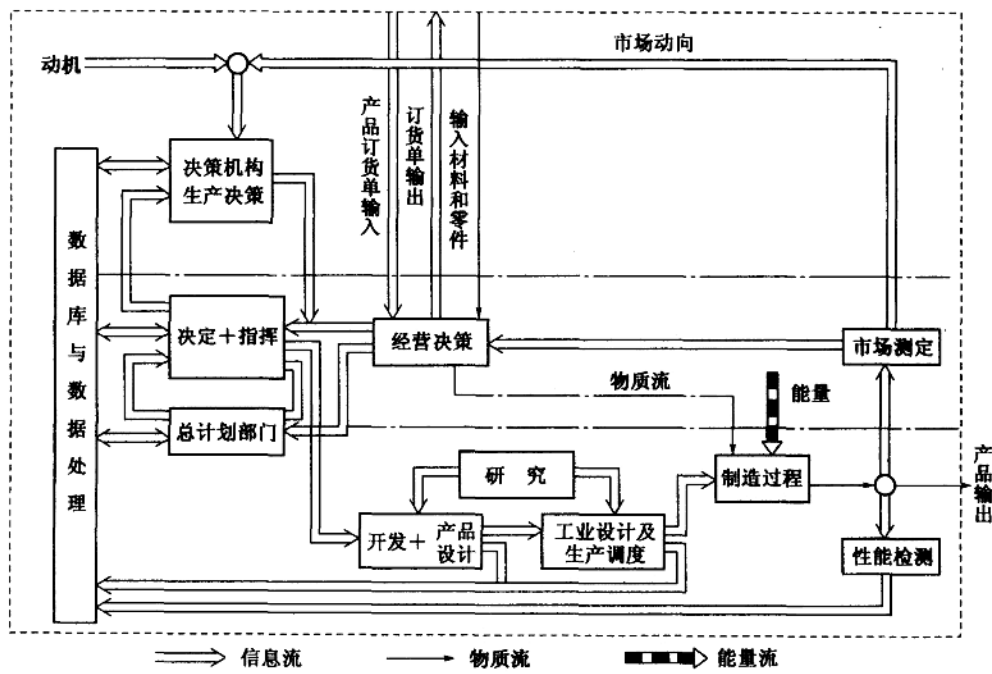


图 1-1 企业生产运作流程

机械产品一般都是由零件装配而成的,零件是机械产品的基本组成单位。从本质上讲机械制造过程就是零件的加工和装配过程。

§ 1.2 零件的一般加工过程

零件一般由原材料经过铸造、锻造、焊接等热加工方法制成毛坯,再经切削加工而成。某些尺寸不大的轴、销、套类零件也可以直接用型材经切削加工制成。热处理工艺根据需要可穿插期间。零件和机器的一般生产路径如图 1-2 所示。因此,一般的机械生产过程可简要归纳为:毛坯制造→切削加工→装配和调试。

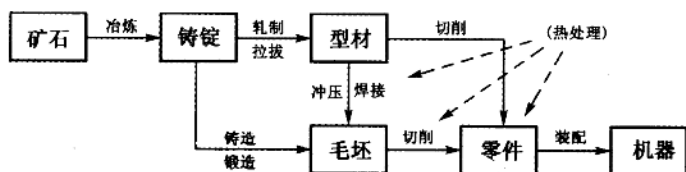


图 1-2 零件和机器的一般生产路径示意图

一、毛坯制造

常用的毛坯制造方法有:

1. 铸造

将金属融化后浇注到具有一定形状和尺寸的铸型中,冷却凝固后得到所需形状和性能铸件的成形方法。如柴油机机体、车床床身等。

2. 锻压

利用金属的塑性变形,改变坯料的尺寸、形状,并改善其内部组织和力学性能,获得所需毛坯或零件的成形方法。如航空发动机的曲轴、连杆、仪表罩壳等。

3. 焊接

通过加热或加压,或两者并用,使分离的两部分金属达到原子结合的一种加工方法。如轧钢机的机架、坦克的车身等。

制造毛坯时往往要对原材料进行加热,所以这些加工方法也称为热加工。

采用精密的铸造、锻造方法亦可直接生产零件。

二、切削加工

切削加工主要用来提高零件的加工精度、降低表面粗糙度值,以达到零件的设计要求。主要的切削加工方法有:车削、铣削、刨削、磨削、钻削等。

车削加工主要用于回转体零件的加工,如轴类零件、盘套类零件的外圆、端面、内孔的加工,是应用最广泛的切削加工之一。铣削加工也是一种应用广泛的切削加工形式,主要用于

加工零件上的平面、沟槽、成形面。刨削与铣削的加工范围类似,只是加工效率低,一般用于单件小批量生产。磨削既可以加工回转体零件,也可以加工平面、沟槽、成形面,经过磨削的零件加工精度高、表面粗糙度值低,故磨削加工通常作为精密加工工序,有时也作为重要零件上主要表面的终加工。钻削用于孔的一般加工。

一般情况下,毛坯要经过若干道切削加工工序才能成为成品零件。由于工艺的需要,这些工序又分为粗加工、半精加工和精加工。

在毛坯制造或切削加工过程中,为便于切削和保证零件的力学性能,还须在某些工序之前或之后对工件进行热处理。所谓热处理,是指将金属材料(工件)采用适当的方式进行加热、保温和冷却,以获得所需要的组织结构与性能的一种工艺方法。热处理之后工件可能有少量变形或表面氧化,所以精加工(如磨削)常安排在最终热处理之后进行。

三、装配与调试

加工完毕并检验合格的零件,按产品的技术要求,用钳工或钳工与机械相结合的方法按一定顺序组合、连接、固定起来,成为整机机器,这一过程称为装配。装配是机械制造的最后一道工序,也是保证机械产品达到各项技术要求的关键。

装配好的机器,还要经过测试,以观察其在工作条件下的效能和整机质量。只有在检验、试车合格后,才能装箱出厂。

§ 1.3 安全生产、质量控制与绿色制造

一、安全生产

安全为了生产,生产必须安全。生产最基本的条件就是保证人和设备在生产中的安全。人是生产中的决定因素,设备是生产的手段,没有人和设备的安全,生产就无法进行。人的安全尤为重要,不能保证人的安全,设备的作用就无法发挥,生产也就不能顺利地、安全地进行。

由于实习人员操作不熟练、缺乏一定的安全操作知识及不连续实习,很容易发生机械伤害、触电、烫伤等工伤事故。如果实习人员对安全生产认识不足或实习前休息不好,更会发生意想不到的安全事故。因此,为保证实习人员的健康和生命,必须进行安全生产知识教育。

我国对不断改善劳动条件、做好劳动保护工作、保证生产者的健康和生命历来十分重视,国家制订并颁布了《工厂安全卫生规程》等文件,为安全生产指明了方向。安全生产是我国在生产建设中一贯坚持的方针。

热加工的特点是生产过程中伴随着高温、有害气体、粉尘和噪声,严重恶化了劳动条件。热加工工伤事故中,烫伤、喷溅和碰砸伤害约占 70%,应引起高度重视。

冷加工的特点是被切削的工件和刀具之间不仅有相对运动,而且速度较快。如果设备防护不好,操作者不注意遵守操作规程,很容易造成人身伤害。

电力传动和电器控制在加热、高频热处理和电焊等方面的应用十分广泛,实习时必须严

格遵守电气安全守则,避免触电事故。两人或多人配合操作时尤其要注意。

各工种的安全注意事项见后续各部分,实习人员务必严格遵守。

二、质量控制与管理

质量是企业的生命,生产企业必须建立专门的质量管理机构 and 相应的管理制度、培训专门人员,对其产品质量实施控制与管理。

随着时代的发展与认识的进步,质量控制与管理的方法经历了单纯的质量检验、统计质量管理和全面质量管理三个阶段。

质量检验是指根据零件的技术要求,由检验员对生产出的成品进行全数检验,合格者方可出厂。质量检验属于事后检查,不能预防产品质量问题的发生。这种方法,在材料、工时和能源等方面,造成很大浪费。

统计质量管理是指对生产过程中产品质量进行定期抽样检查,通过统计方法判断生产过程是否出现了不正常情况,以便及时发现和消除出现的影响产品质量的问题,实现对产品质量问题的预防和控制。这种检验方法已从单纯产品检验发展到对生产过程的控制,已有可能从全数检验发展到抽样检验。

全面质量管理是把企业作为产品质量整体,对设计、研制、生产准备、原材料采购、生产制造、销售等各个环节进行协调,把专业技术、经营管理、数理统计方法和思想教育有机结合起来,对影响产品质量的组织机构、业务流程、员工工作态度、主动精神等各种因素进行综合治理,即它是企业全员参与、全过程控制和全部环节把关的质量管理。把影响质量的各源头因素:人(设计、生产、管理的所有参与者)、机(设备、工装、仪器和工具)、料(所有物流)、法(技术文件和规章制度)、环(对产品产生影响的外部因素)等都置于有效的控制系统中。在各项工作行为前,把对质量产生影响的各项因素的不确定性控制在允许的范围内。

检验是生产现场保证产品质量的最基本方法。检验分为进货检验、过程检验和成品最终检验。进货检验的步骤为报检、检验(抽样检验)和处置,检验合格方可入库。过程检验分首件检验、自检、首检、巡检、周检、批检、末件检验,首件三检指自检、互检、专检,过程检验由操作者和检验员依照工艺文件执行。成品最终检验由检验员进行。检验应按照相应的控制程序 and 标准进行,并建立相应的检验、试验记录。

目前国内企业正贯彻执行与国际接轨的 ISO9000 系列标准。ISO9000 系列标准是国际标准化组织制定的关于质量管理与质量保证的一系列国际标准的简称,这一体系有效地改变了企业面貌和经营模式,ISO9000 系列标准的认证已成为一个企业进入国际市场的必备条件。因此,任何企业都应该把实施 ISO9000 系列标准和贯彻全面质量管理结合起来,在实施 ISO9000 系列标准的过程中,深化全面质量管理,不断提高产品质量。

三、绿色制造

制造业为人类提供了必需的生产、生活用品,同时也消耗了大量的能源,产生了各种工业废弃物,破坏了人类的生存环境,制约了经济的可持续发展。绿色制造是人类可持续发展战略的重要组成部分,是每个生产者,特别是每个企业家必须考虑的企业行为,是一个具有重大社会效益和经济效益的企业行为。

绿色制造就是综合考虑资源和环境的关系,从产品设计阶段就开始致力于防止污染,依

靠先进的工艺、设备和严格的科学管理等手段,以有效的物流循环为核心,使废弃物最少,并尽可能使废弃物无害化,达到在产品的整个寿命周期内对环境的危害最小,资源利用率最高,从而实现人类生产的可持续发展。

绿色制造的体系结构中包括两个层次的全过程控制、三项具体内容和两个目标。

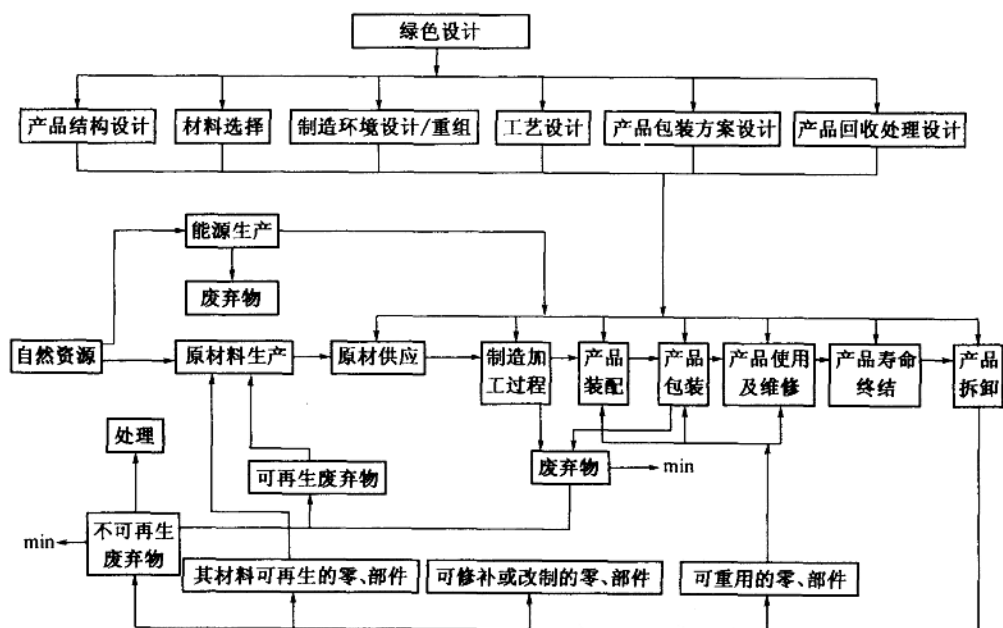
两个层次的全过程控制:一是指具体的制造过程即物料转化过程,即充分利用资源,减少环境污染,实现具体绿色制造的过程;二是指在构思、设计、制造、装配、包装、运输、销售、售后服务及产品报废后回收整个产品周期中每个环节均充分考虑资源和环境问题,以实现最大限度地优化利用资源和减少环境污染的广义绿色制造过程。

三项内容是指绿色生产过程、绿色产品和绿色资源。绿色生产过程包括绿色设计、绿色工艺、绿色设备、绿色包装、绿色标志等;绿色产品是指采用再生性好,易于回收或处理的绿色材料,制造能持续利用的产品;绿色资源是指采用来源丰富、便于利用、便于回收的绿色原材料和耗能省、环保性好、储量丰富、可再生的绿色能源,如风能、潮汐能、太阳能等。

两个目标是指资源优化利用和环境保护。

实现绿色制造可以通过以下三种途径:一是法律途径,加强立法,强化宣传和教育,提高全社会的环保意识和观念;二是管理途径,从产品的设计、生产和使用等方面加强环保管理,例如,积极推行 ISO14000 系列环境管理国际标准等;三是技术途径,不断吸取机械、电子、信息、材料、能源等各领域的最新技术成果,从产品的设计、生产的规划、包装和营销等方面优化资源利用,防止环境污染。

综合考虑绿色制造的内涵和制造系统中资源消耗状态的影响因素,可以提出一种绿色制造的实施模式(如图 1-3)。



主线,包括产品设计、材料选择、制造环境设计或重组、工艺设计、包装设计、回收处理方案设计等环节;二是物流主线,包括原材料生产、供应、制造加工过程、产品装配、包装、使用维修以及产品寿命终结后的系统分解及其利用和处理。物流主线具有两个重要特征:一是废弃物的最小化;二是整个物流主线基本为闭环。

复习思考题

1. 机械制造工程体系的主体环节有哪些?
2. 绘制简要的机器生产流程框图。
3. 如何在实习过程中确保安全,请简要阐述自己的设想和观点。
4. 全面质量管理与前两个管理阶段的本质区别在哪里?能否用两个词概括全面质量管理的实质?
5. 绿色制造的概念就是指环保吗?请简述理由。

第 2 章 金属材料的一般知识

主要教学要求

- (1) 了解工程材料的分类;
- (2) 了解金属材料的性能与力学性能(强度、塑性、韧性)的一般概念与试验过程,并进行简单的试验操作;
- (3) 了解金属的一般知识和铁碳合金的基本知识;
- (4) 了解钢、铁的冶炼过程,初步掌握钢的分类与牌号,进行简单的火花鉴别试验。

§ 2.1 概 述

在漫长的人类进化和文明发展过程中,人们对材料的认识和应用,起着至关重要的作用,材料是人类一切活动的物质基础。现在,能源、信息、材料是当代科技发展的三大支柱,而材料又是能源、信息技术发展的先决条件。

工程材料是工程实践中使用材料的总称,主要包含结构材料和功能材料两类。前者构成工程产物的力学架构,是产物的主体;后者具有光、电、声、磁、热等功能和效应,是产物的核心。通常按成分和属性将工程材料分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类(见图 2-1)。

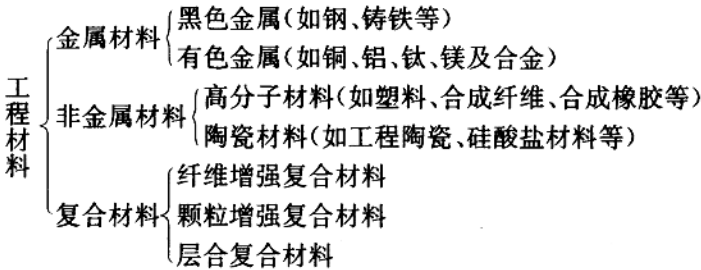


图 2-1 工程材料的种类

在机械制造中应用最广泛的是金属材料,本章先对金属材料的一般知识进行介绍,为以后的学习和实践作必要的准备。

§ 2.2 金属材料的性能和力学性能试验

任何材料可以被广泛使用,必须具备两方面条件:① 材料能满足人们的使用要求;② 材料能适应当代制造和加工的技术能力。所以,我们通常也从这两方面考察材料的性

能,即使用性能和工艺性能。

一、使用性能和工艺性能

1. 使用性能

在使用条件下材料所表现出的性能称为使用性能,如物理化学性征、力学性能等。

(1) 物理化学性征

它是指材料固有的物理、化学特性和对使用环境的适应性。如材料的密度、熔点、电磁性能、热性能、膨胀与收缩性能,以及材料的耐蚀性、耐热性等。

根据机械零件的用途和使用环境不同,对材料的物理化学性征的要求亦有不同。例如:航空、航天飞行器上的零件,在满足力学性能要求的前提下,应选择密度小的材料,如铝、钛等合金。在腐蚀性介质中工作的零件,要选用耐蚀性好的材料,如不锈钢等。电器零件应根据要求考虑材料的导电性、磁性和绝缘性。内燃机活塞、气缸体等零件,对材料的热膨胀系数要求严格,同时还应考虑耐热性。工程中使用的各种功能材料,也是利用材料的某些物理、化学特性,来实现其功效,如压电陶瓷、光敏元件等。

材料的物理化学特性对材料的加工制造也有很大影响。例如:材料的热膨胀系数,在切削加工时会影响加工精度。导热性差的材料,进行切削时刀具升温快,影响刀具耐用度;而且在进行锻造和热处理时,容易因加热或冷却时温度不均造成开裂或变形。熔点低、导热性好的金属材料,有利于铸造,但焊接时不易掌握。

(2) 力学性能

材料在机械载荷作用下表现出的特性叫力学性能。所谓机械载荷,对应于物理力学概念的机械力。工程中机械载荷的概念,更注重作用形式和作用效果,如:同样的机械力作用在不同面积和形状的物体上其分布是不同的。机械载荷的作用形式有拉、压、弯、扭、剪等五种。如果载荷的作用变化有一个比较缓慢的过程就可以看作是静载荷,这也与静力的概念有所区别。静载荷与迅疾作用的冲击载荷以及循环变化的交变载荷的作用效果是完全不同的。

材料的力学性能就是材料对不同机械载荷作用的抵抗能力。主要有强度、硬度、塑性、韧性等。有关力学性能方面的知识,将在力学性能试验中进一步介绍。

2. 工艺性能

工艺性能是指材料在加工过程中所表现的适应性,即材料加工的难易程度。各种加工方法对材料都有相应的适应性要求,就机械制造而言,主要有铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削性能、热处理性能等。

不同材料对各种加工方法所表现的适应程度是不同的。如钢加热到 800°C 以上,得到塑性良好的奥氏体组织,其锻造性能良好;铸铁在任何温度下都表现出脆性,故不能锻造,但铸铁的熔点较低,其铸造性能优于铸钢。含碳量低的低碳钢、中碳钢,焊接性能较好;高碳钢、铸铁的焊接性能较差。如果选择材料时不重视材料的工艺性能,就会直接导致产品的质量、生产效率、加工成本情况恶化,甚至造成产品失败。

材料的工艺性能是随着科技水平的发展和提高而不断改善的。有些材料随着科技进步、工艺创新的不断深入,其加工制造从不可行到可行,从劣质到优质,从低效到高效,从高成本到低成本,最终实现这种材料的应用普及。

二、金属材料力学性能试验

材料的力学性能是通过力学性能试验进行检定的,这里我们对拉伸试验和冲击实验进行简要介绍,材料的硬度试验将在下一章金属热处理中进行介绍。

1. 金属材料的拉伸试验

(1) 拉伸试验过程

将事先做好的标准拉伸试样,在拉伸试验机上用静拉伸载荷彻底拉断,考察拉伸过程中应力与变形的关系,绘制出拉伸应变曲线图,计算各强度指标和塑性指标。

① 标准拉伸试样 在需要检定的零件或金属材料上截取一段,按国家标准 GB397-82 的规定,加工成标准拉伸试样(见图 2-2)。

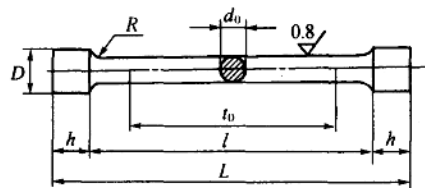


图 2-2 标准拉伸试样

② 试样标定与测量 在进行拉伸试验前,在标准试样的试验段上,用划针划线或用样冲打样冲眼的方法,按试验标准标定出试验长度。通常试验长度为试验段直径的 10 倍或 5 倍。用量具测量出标定长度 l_0 和试验段直径 d_0 的准确尺寸并记录在试验报告上。

③ 拉伸 将试样夹持部位分别装夹在试验机的上、下夹头上,设定试验原点后开机拉伸。在拉伸过程中,注意观察试样试验段外形变化和试验机加载情况,记录屈服载荷 F_s 和抗拉载荷的 F_b 值。拉伸应变曲线图可由试验机自动绘出。

④ 拉伸应变曲线图 图 2-3 为低碳钢试样的拉伸应变曲线与对应的试样变形情况示意图。拉伸应变曲线图的横坐标为变形量,纵坐标为拉伸载荷(内力)大小。这是一典型的塑性材料的拉伸应变过程。

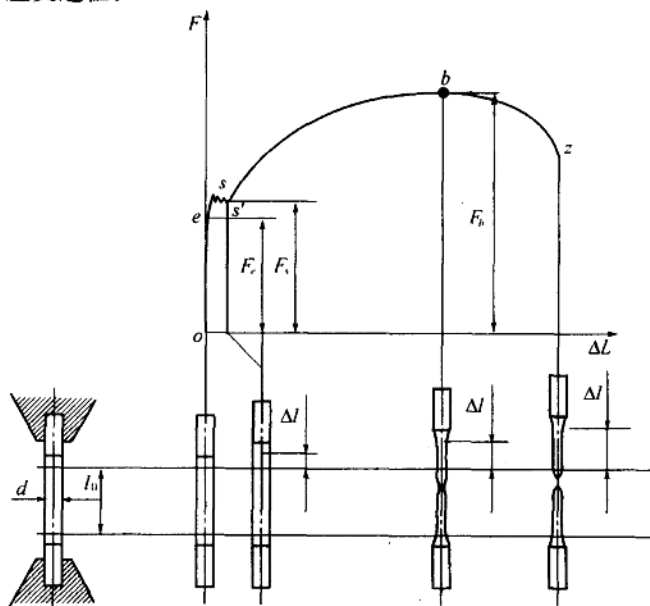


图 2-3 低碳钢的拉伸曲线图

oe ——弹性变形阶段。试样此时发生的是弹性变形,曲线为一定斜率的直线,斜率为该材料的弹性系数。在此阶段中如果卸除载荷,试样即恢复原状。弹性变形阶段曲线的最高点 e 的载荷 F_e 为弹性极点,是发生弹性变形的最大载荷。

es ——少量塑性变形阶段。载荷超过弹性极点后,曲线发生少量弯曲,表明载荷与变形已发生非线性变化。此时卸除载荷,试样不能恢复原状,发生了塑性变形,但塑性变形量很小,一般可以忽略不计。

ss' ——屈服阶段。当曲线达到 s 点时,出现了一段平台或锯齿状曲线,表明载荷没有增加,试样却产生一段明显的塑性变形,这种现象叫屈服现象。此时试样表面会产生一些细微的斜纹,这是金属原子间发生了一定的斜向滑移造成的。所以,我们把 s 点的载荷 F_s 计为屈服点(屈服载荷),它是材料发生明显塑性变形的起始点。屈服现象直到 s' 点结束, s' 点后曲线又继续上升,表明试样又能承受更大的载荷了,材料在屈服点后得到了强化,此现象叫屈服强化或形变强化,又叫冷作硬化或加工硬化。

sb ——大量塑性变形阶段。 s 点后曲线横坐标值变化很大,曲线弯曲低伸,而载荷上升有限,表明材料发生大量的塑性变形(塑性变形量为整个拉伸过程变形总量的 80%~90%)。直到 b 点,载荷上升停止, F_b 为材料可以承受的最大载荷,称为材料的抗拉极点或抗拉载荷。

bz ——断裂阶段(又叫缩颈阶段)。当曲线达到 b 点以后,开始向下弯曲,表明材料的承载能力下降。此时试样的一个部位直径突然减小,产生缩颈现象。实质上是金属内部原子的作用在产生缩颈的部位开始断裂。试样整个试验段缩颈处直径最小,承载能力最弱(应力集中),最终试样在缩颈处彻底断开。

⑤ 拉断后的测量 当试样拉断后,所受载荷消失,试样发生的弹性变形恢复。此时将断开的试样拼接在一起,测量标定记号间的长度 l_1 ,此为拉伸变形后的长度。将变形后长度 l_1 减去原标定长度 l_0 就是试样的塑性变形量 Δl ,在曲线图横坐标标出的 Δl 值,用虚线连接 Δl 与 z 点,其斜率应等于材料的弹性系数。另外还要测量试样缩颈处的最小直径 d_1 ,以备试验计算。

(2) 强度计算

所谓强度是指材料在静载荷作用下抵抗变形和破坏的能力。拉伸试验可以测定材料的拉伸强度。

① 应力的概念 当材料承受机械载荷作用时,材料内部会产生一个相应的内力与外界载荷相抗衡。当然材料截面尺寸大,其产生的内力也大。为了消除截面尺寸的影响,直接反映材料自身属性,我们采用应力来表示材料的强度。即应力为材料单位面积上内力的大小,用 σ 表示。

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

式中: σ 为应力(MPa); F 为内力,等于外部载荷大小(N); S 为横截面积(mm²)。

② 强度指标 由拉伸曲线可以看出,金属在拉伸过程中,主要有三处变形规律产生重大改变,即弹性极点 e 、屈服点 s 、抗拉极点 b 。故我们通常用三个指标来考察材料的强度:

a. 弹性强度 σ_e 又称弹性极限,即材料只发生弹性变形的最大抵抗应力。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0}$$

式中: σ_e 为弹性极限(MPa); F_e 为弹性极点的载荷量(N); S_0 为试样原始横截面积, 等于 $\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 \pi$ (mm²)。

b. 屈服强度 σ_s 又称屈服极限, 即材料不发生大量塑性变形的最大抵抗应力。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中: σ_s 为屈服极限(MPa); F_s 为屈服点的载荷量(N); S_0 为试样原始横截面积(mm²)。

工程设计中, 通常用屈服强度作为强度计算的主要依据, 它能够保证零件材料不发生明显塑性变形, 同时又能最大限度地发挥材料抗破坏潜力。

有些材料试验时无明显屈服现象, 多以测定的残余伸长应力 σ_r 来代替 σ_s 。如 $\sigma_{r0.2}$ 表示残余伸长率达到 0.2% 时的应力(见图 2-4):

$$\sigma_{r0.2} = \frac{F_{r0.2}}{S_0}$$

式中: $\sigma_{r0.2}$ 为残余伸长 0.2% 的应力(MPa); $F_{r0.2}$ 为残余伸长 0.2% 时的载荷(N); S_0 为试样原始横截面积(mm²)。

c. 抗拉强度 σ_b 又称抗拉极限、断裂极限, 即材料断裂前的最大抵抗应力。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中: σ_b 为抗拉极限(MPa); F_b 为抗拉极点的载荷(N); S_0 为试样原始横截面积(mm²)。

工程材料中有些材料在受载过程中有明显的塑性变形过程, 这些属于塑性材料; 有些材料在受载过程中无明显塑性变形过程, 属脆性材料。脆性材料的拉伸应变曲线如图 2-5 所示。由图中可以看出, 曲线几乎是一条一定斜率的直线, 达到极限迅即断裂。脆性材料的试样断口整齐, 不产生缩颈。

(3) 塑性指标

材料在静载荷作用下发生塑性变形而不被破坏的能力称为塑性。通常用材料被破坏前的最大塑性变形率来衡量材料的塑性。常用的塑性指标有: 伸长率和断面收缩率。伸长率和断面收缩率愈大, 材料的塑性愈好。

① 伸长率 δ

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中: δ 为伸长率(%); l_1 为试样拉断后的标距(mm); l_0 为试样的原始标距(mm)。

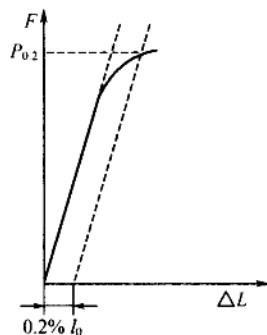


图 2-4 规定残余伸长应力示意图

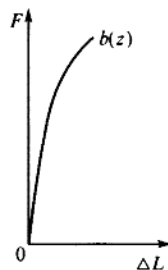


图 2-5 铸铁的拉伸曲线

② 断面收缩率 ψ

$$\psi = \frac{S_1 - S_0}{S_0} \times 100\%$$

式中: ψ 为断面收缩率(%); S_0 为试样原始横截面积(mm^2); S_1 为试样拉断后的最小横截面积, 等于 $\left(\frac{d_1}{2}\right)^2 \pi (\text{mm}^2)$ 。

2. 金属材料的冲击试验

所谓冲击韧性是指材料抵抗冲击载荷作用的能力。通常以材料被冲断所消耗的冲击能量来衡量冲击韧性的大小。

(1) 冲击试样

将需要检测的零件或材料截取一段, 制成标准冲击试样。标准冲击试样如图 2-6 所示。实验前要测量试样缺口处最小横截面尺寸。

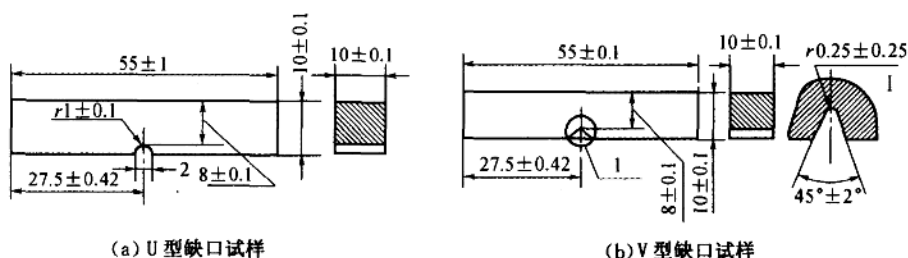


图 2-6 标准冲击试样

(2) 冲击试验过程

冲击试验通常是在摆锤式冲击试验机上进行, 摆锤式冲击试验机的工作示意图如图 2-7 所示。

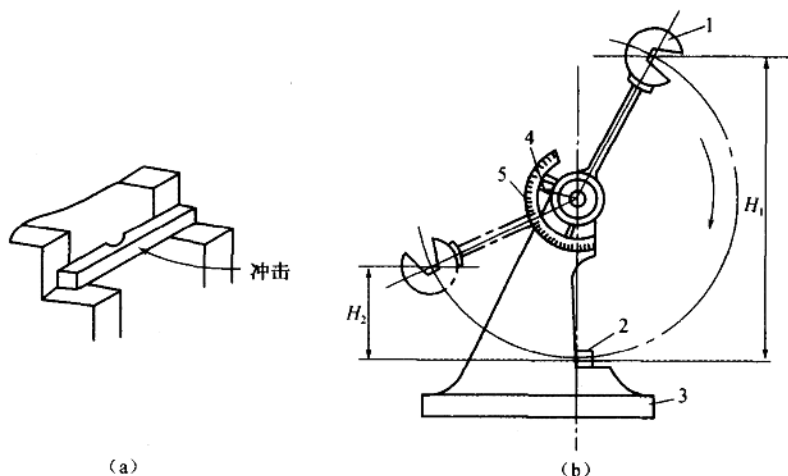


图 2-7 冲击试验示意图

1—摆锤 2—试样 3—机架 4—指针 5—刻度盘

试验时,先将摆锤提升到标准高度 H_1 ,按图 2-7(a)所示摆放好冲击试样,将中心被动指针拨到最大刻度值,然后释放摆锤,让摆锤自由下摆,摆锤下摆到最低点时冲断试样,并在剩余能量作用下摆动至另一边某一高度,中心被动指针通过摆锤在另一边的最大摆动角度测定出剩余摆动高度 H_2 ,利用能量守恒原理,中心刻度按以下公式换算出冲击消耗能量 A_k :

$$A_k = GH_1 - GH_2 = G(H_1 - H_2)$$

式中: A_k 为冲击消耗能量(J); G 为摆锤重力(N); H_1 为摆锤原始高度(m); H_2 为冲击后剩余摆动高度(m)。

(3) 冲击韧性指标

通常用材料单位横截面积的冲击消耗能量,即 a_k (J/cm²) 作为冲击韧性指标。

$$a_k = \frac{A_k}{S_0}$$

式中: a_k 为冲击韧性指标(J/cm²); A_k 为冲击消耗能量(J); S_0 为试样缺口处最小横截面积(cm²)。

§ 2.3 金属学基本知识

通常金属是由失去电子的金属离子与共用的自由电子云相互作用组成的物质。与非金属相比,金属具有良好的导电性、导热性、延展性和金属光泽。金属的这些特性与其内部所具有的金属键密切相关。

一、金属的晶体结构

金属在固态下都是晶体。对于晶体,其内部原子是按一定规律进行排布的。金属原子排布规律(晶体格式)常见的有:体心立方、面心立方、密排六方等(见图 2-8)。

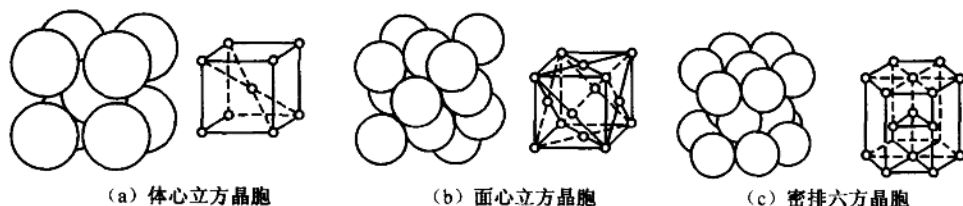


图 2-8 常见晶体类型

金属的晶体格式不同,其性能也不同。如体心立方晶格的金属具有磁性,面心立方、密排六方晶格的金属无磁性;面心立方晶格的金属比体心立方晶格的金属塑性高,耐蚀性好等。

金属并不是由单一晶体构成的,它是由许多不同排布方向的晶体颗粒组成的多晶体结构(见图 2-9)。在每一个晶粒内部,原子排布是有序的,但两个晶粒的接合部、原子排布却是无序的,这就是晶界。晶界处原子排布紊乱,各原子受多方向作用牵制,结合力得到加强,