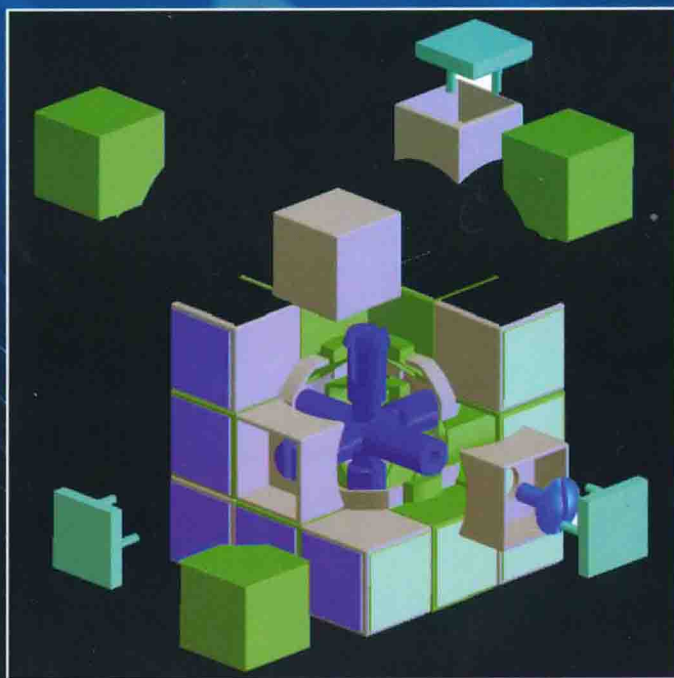


高等职业教育机械设计制造类专业规划教材

模具材料基础及选用

徐勇军 主 编
刘志凌 曾 锋 副主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高等职业教育机械设计制造类专业规划教材

模具材料基础及选用

徐勇军 主 编

刘志凌 曾 锋 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本教材从高职学生实际应用的角度出发,将模具材料知识、金属材料知识、热处理知识、模具失效分析及修复知识进行有机结合,使得学习者学习后能合理地进行模具钢的选择和模具失效后的修复。主要内容包括模具材料概述、模具钢的热处理、金属材料的介绍、冷作模具材料、热作模具材料、塑料模具材料、进口模具钢、模具的表面工程技术、模具失效分析及修复等。

本书可作为高职高专院校模具设计与制造专业学生的教材,也可供机械等相关专业,以及从事模具设计与制造和应用模具的技术人员阅读。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

模具材料基础及选用 / 徐勇军主编. —北京:电子工业出版社, 2012.7

高等职业教育机械设计制造类专业规划教材

ISBN 978-7-121-17428-5

I. ①模… II. ①徐… III. ①模具—材料—高等职业教育—教材 IV. ①TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 135781 号

策划编辑:王昭松

责任编辑:郝黎明 文字编辑:裴 杰

印 刷:

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 15 字数: 384 千字

印 次: 2012 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 28.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

绪 论

1. 模具材料现状与发展

近年来,伴随着制造业的迅速发展,我国的模具工业一直以每年 15%左右的增速快速发展,在世界模具产值中所占比例显著提高,其中,大型、精密、复杂、长寿命模具和模具标准件发展速度高于行业的总体发展速度,塑料模和压铸模比例增大。模具材料的选用、制造精度、制造质量、制造周期、生产成本、使用寿命等,将直接影响工业产品的质量、生产率、生产成本和产品更新换代的速度,并最终影响产品的市场竞争力。模具制造的首要问题是模具材料。制造模具及其零件的材料有很多,如钢,铸铁,非铁合金及其合金、高温合金、硬质合金、钢结硬质合金、有机高分子材料、无机非金属材料、天然或人造金刚石等。但其中钢是用得最多、应用范围最广的材料。

1) 模具材料的应用现状

目前,我国模具钢的产量已跃居世界前列。经过几次钢种整顿的标准修正,在 GB/T1299—2000《合金工具钢》标准中包含了 37 个钢种,基本上形成了我国特色的模具钢系列。据冶金工业联合会调研,我国模具钢按照使用状态主要分为:塑料模具钢,约占 60%;冲压模具钢,约占 20%;压铸模具钢,占 6%~8%。虽然近几年我国模具钢制造水平取得了长足的进步,但我国合金模具钢与美、日、法及瑞士等国际先进水平相比还存在一定的差距,在品种、质量、尺寸规格及性能等方面都难以满足市场需求。主要表现如下:

(1) 模具钢品种、规格不全,低档次较多,高档次较少。高质量、高性能模具钢的品种较少。从品种方面,尚未形成塑料、玻璃、建材、陶瓷等专用的模具钢系列。钢材中扁钢、模块、精料制品比例比较低,钢材的利用率较国外低 10%左右。为满足制造大型、精密、复杂、高寿命模具的需要,国外发展预硬化钢,而国产钢基本上停留在退火阶段或热轧状态供货,并且供货周期较长,这是我国家电行业大量进口模具钢的主要原因。

(2) 模具钢的专业化生产程度较低。钢材的质量、性能稳定性较差,外观质量较差。中国模具钢分散在几十个企业生产,大部分生产厂家的生产工艺装备不配套,特别是后部工序,深加工设备落后,从而制约国产模具钢质量和性能的提高。

(3) 模具钢供销渠道有待畅通。模具制造多为单件或小批量生产,并具有所需钢材的品种多、规格多、数量少、需求供货及时的行业特点,与冶金厂的批量生产有矛盾。国外通过钢材商店可随时解决零售问题。国内近几年来也出现了部分代理商、钢材商店等中间销售环节,但在模具钢销售的服务意识和水平与国外先进水平还有一定差距,影响了国产模具钢的推广和应用。

(4) 生产工艺和装备方面相对落后。特殊钢的质量控制、检测手段落后,缺乏热处理深度加工和在线质量检验设备。缺少生产高性能粉末冶金模具钢的设备。缺乏专业化生产的模具钢生产线和模具钢开发中心。

2) 模具材料的发展趋势

随着我国制造业的迅速发展,各种新技术、新材料的不断涌现,模具的工作条件日益苛刻,对模具材料的性能和品质等方面提出了更高的要求。近年来,我国开发了许多具有不同

特性的、适应不同要求的新型模具材料,在材料品种、冶金质量、生产工艺和生产装备等方面取得了较大的进步。为了满足制造业发展的需要,模具材料的主要发展方向综述如下:

(1) 制造和引进更加先进的各种类型的模具材料,并进一步完善系列化、标准化,以满足各类型模具的用材需求。

(2) 模具材料的品种规格向多样化、精料化、制品化发展。近年来,在模具的设计和制造过程中,广泛采用 CAD 和 CAM 技术,使得材料利用率和模具的生产效率大大提高,制造周期大为缩短。为了进一步提高模具的材料利用率和生产效率,降低模具的生产成本,满足我国制造业发展的需要,首先是对模具制造需要的各种各样的扁钢和厚钢板进行标准化和系列化,并制定出详细的技术规范。例如,锻造扁钢、热轧扁钢、热轧板材、冷拉扁钢和圆钢等均由专业模具钢厂供应,稍作裁切即可直接使用。其次是模具材料日趋精料化,即由模具钢厂直接供应经过机械加工的高精度、无热处理缺陷的各种规格和各种材质的精料。再次是向制品化方向发展。对于常用的模具零部件,如模板、模块、导套、导柱、推杆、顶杆等制品,由专业钢厂批量生产,可确保热处理质量和精度要求。

(3) 模具钢性能高级化。首先要进一步提高模具钢的冶炼质量,高纯度的模具钢,不但可以提高钢的性能,还可以提高钢材的内在质量,从而延长模具的使用寿命。研究表明,钢中硫、磷的质量分数从 0.03% 降到 0.01% 以下,冲击韧度可提高一倍以上。其次是生产等向性模具钢,使钢材的横向性能与纵向性能接近,当模具受到多向应力时不至于某个方向过早失效而影响使用寿命。

总之,今后我国模具钢技术的发展方向,主要是积极发展国际技术合作,发展高质量和高性能钢种,完善系列化和标准化,发展精料化、高级化和专业化生产,同时采用先进的工艺和装备,使我国模具材料的生产尽快赶超世界先进水平。

2. 本课程的性质和要求

本课程是模具制造专业的主要专业基础课程,也可供机械类各专业学习。学习本课程的目的是使学生了解现代模具制造业的发展状况和趋势,知道模具制造的一般性工艺问题,掌握各类模具钢的分类、特性和热处理方法及使用范围,重点掌握模具的质量、寿命、成本与模具钢的选择及热处理之间的关系,学会正确选用模具钢及其热处理方法。

本课程与热加工、冷加工工艺联系紧密,学习过程中要融会贯通。同时本课程还是一门实践性很强的课程,与生产实践联系十分紧密。学生在学习过程中,应当安排参观一些模具制造厂家和模具使用厂家,以增加感性知识。

通过本课程的学习应达到以下教学目标:

- (1) 了解模具材料的分类、性能、选用、生产现状和发展趋势等。
- (2) 了解钢的热处理原理和金属材料的组织结构,掌握各种热处理工艺的特点、工艺过程及其应用范围。
- (3) 掌握常用金属材料的分类、牌号和性能特点,能合理选用金属材料。
- (4) 掌握常用冷作模具钢、热作模具钢、塑料模具钢的特性和选用。
- (5) 了解模具的表面工程技术和常见模具失效的修复方法。

前 言

本书是根据原机械工业部教育司批准的“模具设计与制造专业”教学计划和“模具材料与表面处理”课程教学大纲编写的规划教材,主要供高等职业教育“模具设计与制造”专业的学生使用,也可供机械等相关专业,以及从事模具设计与制造和应用模具的技术人员阅读。

模具材料是模具设计和制造的基础,对模具的使用寿命、精度和表面质量起着重要的甚至决定性的作用。因此,研究和开发高性能的模具材料,并根据模具的工作条件合理选用模具材料,采用适当的热处理及表面处理工艺以充分发挥模具材料的潜力,是模具等相关专业技术人员所必须具备的专业技能之一。目前,高职相关教材多以介绍模具材料、表面处理、热处理等相关知识为主,对模具失效及其修复的相关内容提及甚少,而这部分内容恰恰是模具应用型技能人才最需要掌握的知识和技能之一。为此,本教材从高职学生实际应用的角度,全面精练地介绍模具材料基础知识,在此基础上使得学习者能合理地进行模具钢的选择和模具失效后的修复,并在相关单元末通过实操与案例的讲解,使学生学会如何运用所学知识解决实际问题,加深对知识和技能的掌握。另外,对于国内普遍采用的美国、日本及其他国家的模具钢,进行了较为详尽的介绍。

全书分为九个单元,主要内容包括模具材料概述、模具钢的热处理、金属材料的介绍、冷作模具材料、热作模具材料、塑料模具材料、进口模具钢、模具的表面工程技术、模具失效分析及修复。本书以培养技术应用能力为主线,力求精练简洁,系统地介绍在模具钢选择过程中要用到的相关知识,理论讲解以够用为度,突出了实用性、综合性和时效性。

参加本书编写的有广东工贸职业技术学院徐勇军(第1单元、第4单元、第5单元、第6单元、第7单元、第9单元)、江西科技师范学院刘志凌(第2单元、第3单元)、广东工贸职业技术学院曾锋(第8单元)。全书由徐勇军任主编,刘志凌、曾锋任副主编。

本书编写过程中参阅了有关院校、工厂、科研院所的一些教材、资料和文献,得到了有关专家、教授的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢!

限于编者的水平,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者
2012年4月

目 录

单元1 模具材料概述	(1)
1.1 目标与任务	(1)
1.2 知识准备	(1)
1.2.1 模具及模具材料分类	(1)
1.2.2 模具材料的性能要求	(2)
1.2.3 模具材料的选用原则	(9)
1.2.4 模具材料的生产现状和发展趋势	(10)
1.3 实操与案例：布氏硬度和洛氏硬度试验	(12)
1.4 评估练习	(13)
单元2 模具钢的热处理	(14)
2.1 目标与任务	(14)
2.2 知识准备	(14)
2.2.1 钢的热处理概述	(14)
2.2.2 铁碳合金的结构与相图	(15)
2.2.3 钢在加热时的转变	(19)
2.2.4 钢在冷却时的转变	(21)
2.2.5 钢的退火与正火	(30)
2.2.6 钢的淬火与回火	(32)
2.2.7 材料的表面热处理	(39)
2.3 实操与案例：碳钢的热处理操作及其组织观察	(44)
2.4 评估练习	(46)
单元3 金属材料简介	(47)
3.1 目标与任务	(47)
3.2 知识准备	(47)
3.2.1 钢材的分类及牌号	(47)
3.2.2 合金元素在钢中的作用	(51)
3.2.3 结构钢	(54)
3.2.4 工具钢	(59)
3.2.5 铸铁	(62)
3.2.6 有色金属及合金	(71)
3.2.7 金属材料的选用	(78)
3.3 实操与案例：金属材料选用实例	(79)
3.4 评估练习	(82)
单元4 冷作模具材料	(83)
4.1 目标与任务	(83)

4.2	知识准备	(83)
4.2.1	冷作模具材料及性能要求	(83)
4.2.2	碳素工具钢	(85)
4.2.3	油淬冷作模具钢	(90)
4.2.4	空淬冷作模具钢	(93)
4.2.5	高碳高铬冷作模具钢	(96)
4.2.6	基体钢和低碳高速钢	(99)
4.2.7	高耐磨高强模具钢	(102)
4.2.8	冷作模具钢材料的选用	(105)
4.3	实操与案例: 扣板级进冲裁模材料的选择与热处理	(110)
4.4	评估练习	(111)
单元 5	热作模具材料	(113)
5.1	目标与任务	(113)
5.2	知识准备	(113)
5.2.1	热作模具钢的性能、特点及分类	(113)
5.2.2	低耐热高韧性热作模具钢	(115)
5.2.3	中耐热韧性热作模具钢	(118)
5.2.4	高耐热性热作模具钢	(120)
5.2.5	特殊用途热作模具钢	(125)
5.2.6	热作模具材料的选用	(128)
5.3	实操与案例: 连杆锻模材料的选择与热处理	(132)
5.4	评估练习	(133)
单元 6	塑料模具材料	(134)
6.1	目标与任务	(134)
6.2	知识准备	(134)
6.2.1	塑料模具材料的性能要求	(134)
6.2.2	常用塑料模具材料的类型	(136)
6.2.3	碳素塑料模具钢	(137)
6.2.4	渗碳型塑料模具钢	(141)
6.2.5	预硬型塑料模具钢	(145)
6.2.6	时效硬化型塑料模具钢	(152)
6.2.7	耐蚀性塑料模具钢	(157)
6.2.8	塑料模具材料的选用	(162)
6.3	实操与案例: 复杂盒形塑件注塑模材料选择	(165)
6.4	评估练习	(167)
单元 7	进口模具钢	(168)
7.1	目标与任务	(168)
7.2	知识准备	(168)
7.2.1	美国模具钢介绍	(168)

7.2.2	日本模具钢介绍	(173)
7.2.3	国内市场销售的其他国家模具钢	(178)
7.3	评估练习	(183)
单元 8	模具的表面工程技术	(184)
8.1	目标与任务	(184)
8.2	知识准备	(184)
8.2.1	表面工程技术的分类	(184)
8.2.2	模具的表面化学热处理技术	(188)
8.2.3	模具表面的涂镀技术	(195)
8.2.4	模具表面加工强化技术	(204)
8.3	实操与案例：表面处理实例	(211)
8.4	评估练习	(211)
单元 9	模具失效分析及修复	(213)
9.1	目标与任务	(213)
9.2	知识准备	(213)
9.2.1	模具的失效形式及影响因素	(213)
9.2.2	模具失效分析的步骤	(217)
9.2.3	Brooks 和 ASM 失效分析程序	(219)
9.2.4	模具的修复	(221)
9.3	实操与案例：模具修复实例	(225)
9.4	评估练习	(228)
参考文献		(229)

模具材料概述

1.1 目标与任务

1959 年,我国根据资源状况制定了冶金工业部标准 YB7—1959;到 1977 年,在整顿原有钢种系列的基础上,吸收我国历年来开发工作的成就,制定了我国第一个合金工具钢国家标准 GB1299—1977;1985 年及 2000 年,又对该标准进行了修订,颁发了 GB/T1299—1985 和 GB1299—2000。至此,初步建立起具有我国特色的、接近世界先进水平的,包括冷作模具钢、热作模具钢、塑料模具钢和无磁模具钢的模具钢种系列,基本上可以适应使用部门和生产部门的需要。另外,随着我国国际化程度的提高,在我国模具行业较发达的地区也大量地使用国外标准的各种模具钢。通过本单元的学习,应达到以下教学目标:

- (1) 掌握模具及模具材料的分类;
- (2) 了解模具材料的性能要求、模具主要失效形式及影响因素;
- (3) 掌握模具材料一般的选用原则。

1.2 知识准备

1.2.1 模具及模具材料分类

1. 模具的分类

为了便于模具材料的选用,通常根据工作条件将模具分为冷作模具、热作模具和型腔模具三大类。

(1) 冷作模具。根据工艺特点,可将冷作模具分为冷冲裁模具和冷变形模具两类。冷冲裁模具主要包括各种薄板冷冲裁模具和厚板冷冲裁模具。冷变形模具主要包括各种冷挤压模具、冷镦模具、冷拉深模具和冷弯曲模具等。

(2) 热作模具。热作模具可分为热冲切模具、热变形模具和压铸模具三类。热冲切模具包括各种热切边模具和热切料模具。热变形模具包括各种锤锻模具、压力机锻模具和热挤压模具。压铸模具包括各种铝合金压铸模具、铜合金压铸模具及黑色金属压铸模具等。

(3) 型腔模具。根据成形材料的不同,可将型腔模具分为塑料模具、橡胶模具、陶瓷模

具、玻璃模具、粉末冶金模具等。

2. 模具材料的分类

能用于制造模具的材料很多，通常可分为钢铁材料、非铁金属和非金属材料三大类，目前应用最多的还是钢铁材料。

(1) 钢铁材料。用于制造模具的钢铁材料主要是模具钢。通常将模具钢分为冷作模具钢、热作模具钢、塑料模具钢三类。

(2) 非铁金属材料。用于制造模具的非铁金属材料主要有铜基合金、低熔点合金、高熔点合金、难熔合金、硬质合金、钢结硬质合金等。

(3) 非金属材料。用于制造模具的非金属材料主要有陶瓷、橡胶、塑料等。

由于模具钢是制造模具的主要材料，一般将模具材料分类如图 1-1 所示。

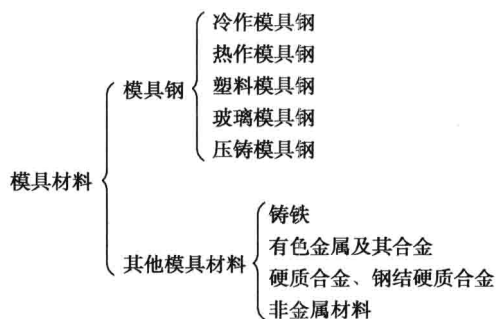


图 1-1 模具材料分类图

1.2.2 模具材料的性能要求

模具在现代工业中得到广泛应用。模具直接关系到产品的质量、性能、生产率及成本，而且模具的质量和使用寿命与制造模具的材料及工艺有着密切的关系。因此，需要了解模具材料的主要性能指标。

1. 硬度和热硬性

材料抵抗其他硬物压入表面的能力称为材料的硬度。从本质上说，硬度并不是材料的一个新的特殊性能，而是代表材料的弹性、塑性、韧性和形变硬化等的一个综合性能。它反映材料抵抗局部塑性变形的能力。由于大多数常用钢材的强度与硬度之间有一定的近似比例关系，根据硬度可以大致估计材料的抗拉强度。另外，材料的抗磨损性能与其硬度有密切的关系，所以，金属材料的硬度也是金属力学性能的重要指标之一。

目前，用于测定材料硬度的方法有三种：布氏硬度法、洛氏硬度法和维氏硬度法。三种方法都是采用一定形状的特制压头，在一定的载荷作用力下，压入被测材料的表面并保持一定时间，然后卸除载荷力，这样就在材料表面留下了一个一定尺寸的压痕。测量压痕尺寸的大小并根据载荷力的大小，就可以计算出该材料的硬度值。



1) 布氏硬度

布氏硬度试验用的压头是淬火钢球，钢球直径有 2.5 mm、5 mm 和 10 mm 三种。根据被测材料的种类、硬度范围和试件厚度的不同，测定时所选用的钢球直径、载荷作用力大小和载荷保持时间也就不一样。

布氏硬度的试验原理如图 1-2 所示。将直径为 D 的钢球或硬质合金球，在一定载荷 P 的作用下压入试样表面，保持一定时间后卸除载荷，所施加的载荷与压痕面积的比值即为布氏硬度。布氏硬度值可通过测量压痕平均直径 d 查表得到。

当压头为钢球时，布氏硬度用符号 HBS 表示，适用于布氏硬度值在 450 以下的材料。压头为硬质合金时用符号 HBW 表示，适用于布氏硬度在 650 以下的材料。符号 HBS 或 HBW 之前的数字表示硬度值，符号后面的数字按顺序分别表示球体直径、载荷大小及载荷保持时间。如 120HBS10/1000/30 表示直径为 10 mm 的钢球在 1000 kgf (9.807 kN) 载荷作用下保持 30 s 测得的布氏硬度值为 120。

布氏硬度的优点是测量误差小、数据稳定；缺点是压痕大，不能用于太薄件或成品件。最常用的钢球压头适于测定退火钢、正火钢、调质钢、铸铁及有色金属的硬度。

2) 洛氏硬度

洛氏硬度的试验原理如图 1-3 所示。在初载荷和总载荷（初载荷与主载荷之和）的先后作用下，将压头（金刚石圆锥体或钢球）压入试样表面，保持一定时间后卸除主载荷，用测量的残余压痕深度增量 $h_1 - h_0$ 计算硬度值（ h_0 为初载荷压入的深度， h_1 为卸除主载荷后残余压痕的深度）。洛氏硬度用符号 HR 表示，根据压头类型和主载荷不同，分为九个标尺，常用的标尺为 A、B、C，见表 1-1。符号 HR 前面的数字为硬度值，后面为使用的标尺，如 50HRC 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 50。

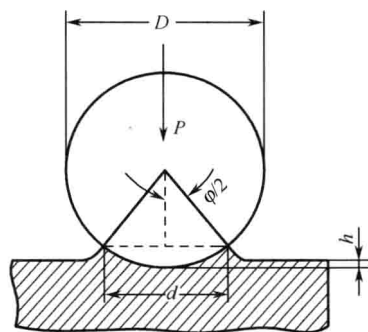


图 1-2 布氏硬度的实验原理

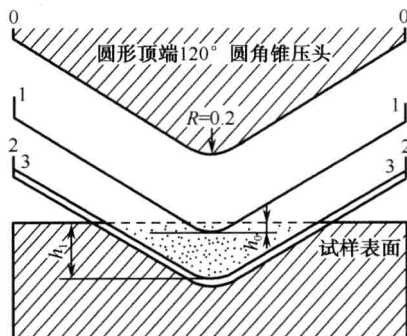
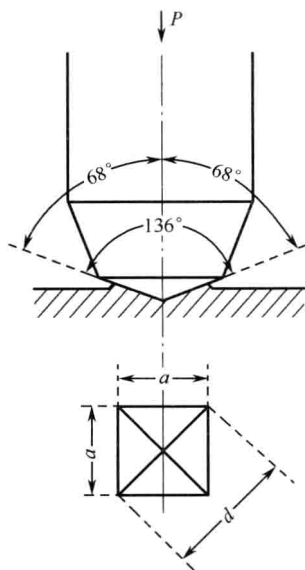


图 1-3 洛氏硬度的试验原理

实际测量时，硬度值可从洛氏硬度计的表盘上直接读出。洛氏硬度的优点是操作简便、压痕小、适用范围广。缺点是测量结果分散度大。

表 1-1 常用洛氏硬度的符号、试验条件及应用

硬度标尺	硬度符号	压头类型	初载荷 P_0/N	主载荷 P_1/N	K	表盘刻度颜色	硬度范围	应用举例
A	HRA	金刚石圆锥	98.07	490.3	100	黑色	20~88	碳化物、硬质合金、表面淬火钢等
B	HRB	1.588 mm 钢球	98.07	882.6	130	红色	20~100	软钢、退火钢、铜合金等
C	HRC	金刚石圆锥	98.07	1373	100	黑色	20~70	淬火钢、调质钢等



3) 维氏硬度

维氏硬度的试验原理如图 1-4 所示。将顶部两相对面具有规定角度 (136°) 的正四棱锥体金刚石压头在载荷 P 的作用下压入试样表面, 保持一定时间后卸除载荷, 所施加的载荷与压痕表面积的比值即为维氏硬度。维氏硬度可通过测量压痕对角线长度 d 查表得到。维氏硬度用符号 HV 表示, 符号前的数字为硬度值, 后面的数字按顺序分别表示载荷值及载荷保持时间。如 640HV30/20 表示在 30 kgf (294.2 N) 载荷作用下保持 20 s 测定的维氏硬度值为 640。根据施加的载荷范围不同, 规定了三种维氏硬度的测定方法, 见表 1-2。

维氏硬度保留了布氏硬度和洛氏硬度的优点, 既可测量由极软到极硬的材料硬度, 又能互相比对。既可测量大块材料、表面硬化层的硬度, 又可测量金相组织中不同相的硬度。

硬度实际上是一种综合的力学性能, 模具材料的各种性能要求, 在图样上只通过标注硬度来表示。作为成形用的模具应具有足够高的硬度, 才能确保使用性能和使用寿命。如冷作模具一般硬度在 52~60HRC 范围内, 而热作模具硬度一般在 40~52HRC 范围内。

表 1-2 维氏硬度的测定方法 (GB/T4340.1—1999)

载荷范围/N	硬度符号	实验名称
$P \geq 49.03$	$\geq HV5$	维氏硬度试验
$1.961 \leq P < 49.03$	HV0.2~HV5	小负荷维氏硬度试验
$0.09807 \leq P < 1.961$	HV0.01~HV0.2	显微维氏硬度试验

热硬性是指模具在受热或高温条件下保持高硬度的能力。多数热作模具和某些冷作模具, 应具有一定的热硬性, 才能满足模具的工作要求。

钢的硬度和热硬性主要决定于钢的化学成分、热处理工艺, 以及钢的表面处理工艺。

2. 耐磨性

模具在工作中承受很大的摩擦, 从而导致模具工作面磨损。所以, 耐磨性能是衡量模具使用寿命的重要指标。



模具的磨损形式很复杂,主要有磨粒磨损、黏着磨损、氧化磨损和疲劳磨损等。如冷作模具的磨损形式通常是磨粒磨损和黏着磨损,而热作模具的磨损形式主要是氧化磨损。

磨损形式不同,影响耐磨性的因素也各不相同。一般情况下,主要的影响因素是硬度和组织。当冲击载荷较小时,耐磨性与硬度成正比关系;当冲击载荷较大时,表面硬度越高并非耐磨性越好,超过一定的硬度值之后耐磨性反而下降。在钢的组织中,铁素体的耐磨性最差、马氏体的耐磨性较好、下贝氏体的耐磨性最好。另外,碳化物的性质、数量和分布状态对耐磨性也有显著的影响。

3. 强度和塑性

评价材料强度和塑性最简单有效的办法就是测定材料的拉伸曲线。在标准试样(见图1-5)两端逐渐施加一轴向拉伸载荷,使之发生变形直至断裂,便可得到试样伸长率(试样原始标距的伸长与原始标距之比的百分率)随应力(试验期间任时刻的力除以试样原始横截面积之商)变化的关系曲线,称为应力-应变曲线,图1-6所示为低碳钢的应力-应变曲线。

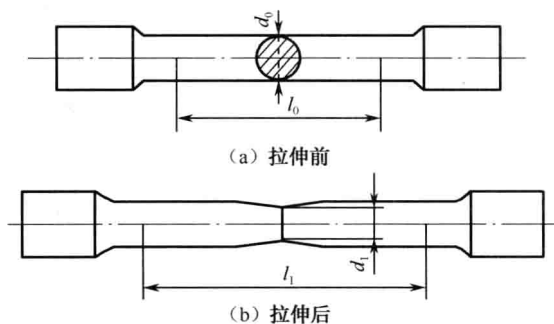


图 1-5 圆形标准拉伸试样

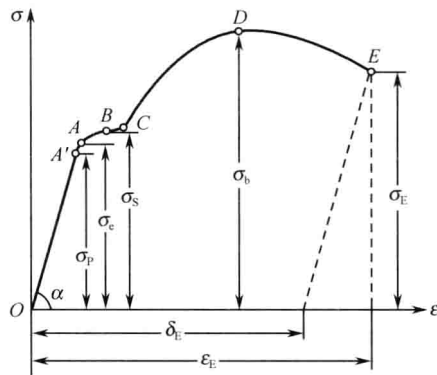


图 1-6 低碳钢的应力-应变曲线

在应力-应变曲线中, OA 段为弹性变形阶段,此时卸掉载荷,试样恢复到原来尺寸。 A 点所对应的应力为材料承受最大弹性变形时的应力,称为弹性极限。其中, OA' 部分为一斜直线,应力与应变呈比例关系, A' 点所对应的应力为保持这种比例关系的最大应力,称为比例极限。由于大多数材料的 A 点和 A' 点几乎重合在一起,一般不作区分。

在弹性变形范围内,应力与伸长率的比值称为弹性模量 E 。 E 实际上是 OA 线段的斜率, $E = \tan\alpha$ (MPa),其物理意义是,产生单位弹性变形时所需应力的大小。弹性模量是材料最稳定的性质之一,它的大小主要取决于材料的本性,除随温度升高而逐渐降低外,其他强化材料的手段(如热处理、冷热加工、合金化等)对弹性模量的影响很小。材料受力时抵抗弹性变形的能力称为刚度,其指标即为弹性模量。可以通过增加横截面积或改变截面形状来提高零件的刚度。

1) 强度

材料的强度是指材料在外力作用下抵抗破坏的能力,它是衡量材料变形抗力和断裂抗力的性能指标。从本质上来说,材料的强度应是其内部质点间结合力的表现。材料受外力作用时,在其内部便产生应力,此应力随外力的增大而增大,当应力增大到材料内部质点间结合

力所能承受的极限时, 应力再增加便会导致内部质点的断开, 此极限应力值就是材料的极限强度, 通常简称为强度。根据加载方式不同, 强度指标有许多种, 如抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度、抗扭强度等。其中, 以拉伸试验测得的屈服强度和抗拉强度两个指标应用最多。

(1) 屈服强度。在图 1-6 中, 应力超过 B 点后, 材料将发生塑性变形。在 BC 段, 塑性变形发生而力不增加, 这种现象称为屈服。 B 点所对应的应力称为屈服强度 (σ_s)。屈服强度反映材料抵抗永久变形的能力, 是最重要的零件设计指标之一。实际上多数材料的屈服强度不是很明显, 因此, 规定拉伸时产生 0.2% 残余延伸率所对应的应力为规定残余延伸强度, 记为 $\sigma_{0.2}$, 如图 1-7 所示。

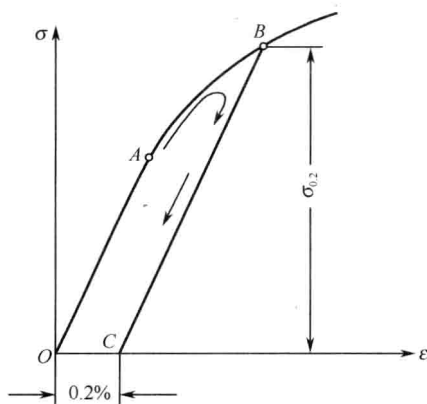


图 1-7 条件屈服强度的确定

(2) 抗拉强度。图 1-6 中的 CD 段为均匀塑性变形阶段。在这一阶段, 应力随应变增加而增加, 产生应变强化。变形超过 D 点后, 试样开始发生局部塑性变形, 即出现颈缩, 随应变增加, 应力明显下降, 并迅速在 E 点断裂。 D 点所对应的应力为材料断裂前所承受的最大应力, 称为抗拉强度 σ_b 。抗拉强度反映材料抵抗断裂破坏的能力, 也是零件设计和评价材料的重要指标。

2) 塑性

塑性是指金属材料在外力的作用下, 产生永久变形 (塑性变形) 而不被破坏的能力。金属材料在受到拉伸时, 长度和横截面积都要发生变化, 因此, 金属的塑性可以用长度的伸长 (延伸率) 和断面的收缩 (断面收缩率) 两个指标来衡量。

金属材料的延伸率和断面收缩率越大, 表示该材料的塑性越好, 即材料能承受较大的塑性变形而不破坏。一般把延伸率大于 5% 的金属材料称为塑性材料 (如低碳钢等), 而把延伸率小于 5% 的金属材料称为脆性材料 (如灰口铸铁等)。塑性好的材料能在较大的宏观范围内产生塑性变形, 并在塑性变形的同时使金属材料因塑性变形而强化, 从而提高材料的强度, 保证零件的安全使用。此外, 塑性好的材料可以顺利地进行某些成型工艺加工, 如冲压、冷弯、冷拔、校直等。因此, 选择金属材料做机械零件时, 必须满足一定的塑性指标。

(1) 伸长率 δ :

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-1)$$



式中 l_1 ——拉伸后的长度 (mm);

l_0 ——原长度 (mm)。

(2) 断面收缩率 ψ :

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 F_1 ——断口处横截面积 (mm^2);

F_0 ——原横截面积 (mm^2)。

由于 δ 值与试样尺寸有关, 一般规定 $l_0=5d_0$ (短试样) 或 $l_0=10d_0$ (长试样), 分别以 δ_5 或 δ_{10} 表示伸长率, δ_{10} 通常写成 δ 。

一般 δ 达 5%, ψ 达 10% 能满足大多数零件要求。

评价冷作模具材料塑性变形抗力的性能指标主要是常温下的屈服点 σ_s ; 评价热作模具材料塑性变形抗力的指标为高温屈服点或高温屈服强度。当模具的工作应力超过模具材料的相应屈服点时, 模具就会产生过量塑性变形而失效。

反映冷作模具材料的断裂抗力的性能指标是室温下的抗拉强度 σ_b 、抗压强度和抗弯强度等。反映热作模具材料的断裂抗力的性能指标除了抗拉强度等之外, 还包括断裂韧度 (即反映裂纹扩展的抗力指标), 因为大多数热作模具的断裂属于表面热疲劳裂纹扩展所造成的断裂。

4. 韧性

韧性是材料在冲击载荷作用下抵抗产生裂纹的一种特性, 反映了模具的脆断抗力, 常用冲击韧度 α_k 来评定。 α_k 越大, 材料的韧性越好, 在受到冲击时越不易断裂。冲击韧度反应了材料抵抗冲击载荷的能力。

$$\alpha_k = A_k / S \quad (\text{J/cm}^2) \quad (1-3)$$

式中 A_k ——冲击功, 摆锤冲断试样所失去的能量, 即对试样断裂所做的功 (J);

S ——试样缺口处截面积 (cm^2)。

在如图 1-8 所示的摆锤式冲击试验机上用规定高度的摆锤对处于简支梁状态的缺口试样进行一次冲断, 可测得冲击吸收功 A_k 。试验所用冲击试样根据其缺口形状分为 U 形缺口冲击试样和 V 形缺口冲击试样两种, 如图 1-9 所示, 测得的冲击韧度分别用 α_{ku} 、 α_{kv} 表示。

冷作模具材料因多在高硬度状态下使用, 在此状态下 α_k 值很小, 很难相互比较, 因而常根据静弯曲挠度的大小来比较其韧性的高低。工作时承受巨大冲击载荷的模具, 须把冲击韧度作为一项重要的性能指标。

影响强度和韧性的主要因素有材料的化学成分、冶金质量、晶粒大小、组织类型, 碳化物的形状、数量、大小及分布。所以, 根据模具的工作条件和性能要求, 合理地选择模具钢的化学成分、组织状态及热处理工艺, 就能够得到最佳的强韧性配合。

5. 疲劳抗力

疲劳抗力是反映材料在交变载荷作用下抵抗疲劳破坏的性能指标。根据不同的应用场合, 有疲劳强度和小能量多冲抗力等。对于热作模具, 大多数在急冷急热条件下工作, 必然发生不同程度的冷热疲劳, 因此, 还要把冷热疲劳抗力作为热作模具材料的一项重要性能指标。

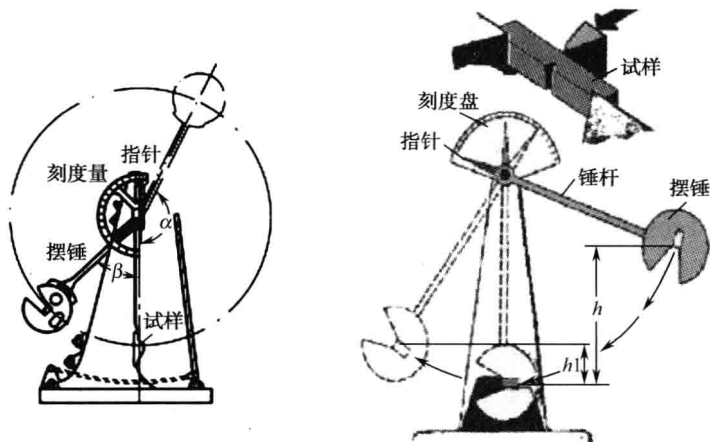


图 1-8 摆锤式冲击试验机示意图

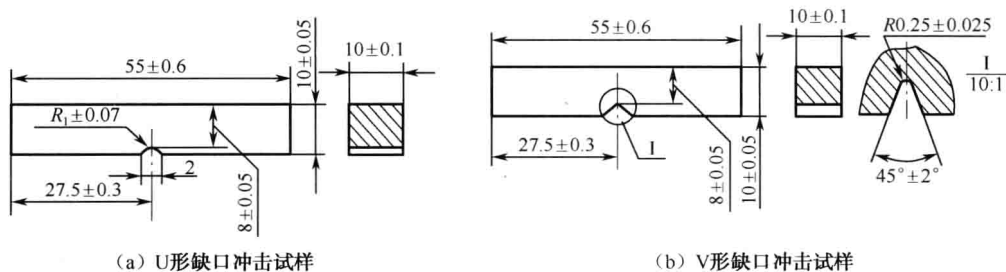


图 1-9 标准缺口冲击试样

疲劳失效与静载荷下的失效不同，断裂前没有明显的塑性变形，发生断裂比较突然。实际服役的金属材料有 90% 是因为疲劳而破坏。疲劳破坏是脆性破坏，它的一个重要特点是具有突发性，因而更具灾难性。

疲劳产生的原因是，机构上的每一点都承受交变载荷的作用，如果某一点有一小裂纹，在拉应力的作用下，裂纹扩展，在压应力的作用下，裂纹闭合，在交变载荷的作用下，裂纹不断被拉开和闭合，当裂纹扩展到一定程度时，机构的有效承载面积无法承受外加载荷的作用，发生突然断裂。由此可见，疲劳断裂是由疲劳裂纹产生—扩展—瞬时断裂三个阶段组成的。因此，疲劳断口一般以疲劳裂纹源为中心，逐渐向内扩展形成海滩条纹的裂纹扩展区和呈纤维状的瞬时断裂区。

材料承受的交变应力 σ 与断裂时应力循环次数 N 之间的关系可用疲劳曲线来描述（见图 1-10）。随着 σ 的下降， N 值增加，材料经无数次应力循环后仍不发生断裂时的最大应力称为疲劳极限。对称循环交变应力的疲劳极限用 σ_1 表示。在实际当中，做无限次应力循环的疲劳试验是不可能的，对于钢铁材料，一般规定疲劳极限对应的应力循环次数为 10^7 ，有色金属为 10^8 。

提高疲劳极限的途径：

(1) 在零件结构设计中尽量避免尖角、缺口和截面突变，以免产生应力集中，从而产生疲劳裂纹。