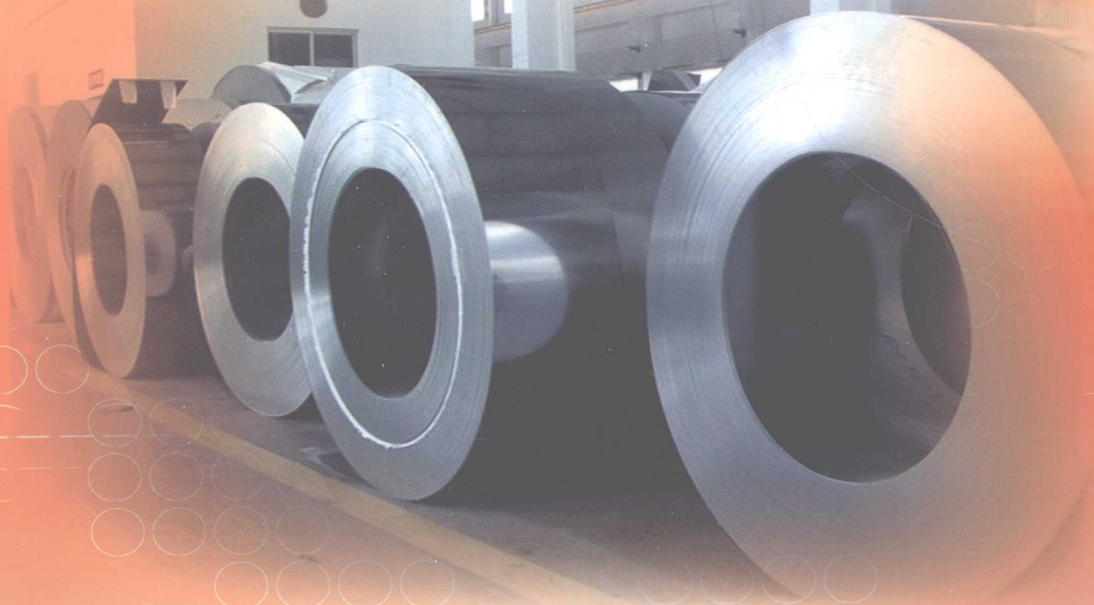


职业
教育
机电类系列教材

● 钱万祥 编著

金属材料与热处理

JINSHU CAILIAO YU RECHULI



ARTIME
时代出版

时代出版传媒股份有限公司
安徽科学技术出版社

职业教育机电类系列教材

金属材料与热处理

钱万祥 编 著



时代出版传媒股份有限公司
安徽科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

金属材料与热处理/钱万祥编著. —合肥:安徽科学技术出版社,2009.7

(职业教育机电类系列教材)

ISBN 978-7-5337-4466-3

I. 金… II. 钱… III. ①金属材料-职业教育-教材②热处理-职业教育-教材 IV. TG14 TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 112544 号

金属材料与热处理

钱万祥 编著

出 版 人: 黄和平

责任编辑: 王菁虹

封面设计: 王 艳

出版发行: 安徽科学技术出版社(合肥市政务文化新区圣泉路 1118 号
出版传媒广场, 邮编: 230071)

电 话: (0551)3533330

网 址: www.ahstp.net

E - mail: yougoubu@sina.com

经 销: 新华书店

排 版: 安徽事达科技贸易有限公司

印 刷: 合肥义兴印务有限责任公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 8.5

字 数: 218 千

版 次: 2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 15.80 元

(本书如有印装质量问题,影响阅读,请向本社市场营销部调换)

编 委 会

主 任(排名不分先后) 寿培聪 吴丁良 姚成秀

副主任(排名不分先后) 施正和 翟 敏 黄庭曙 包太平 姚志浩
郝登峰 任祖明 王礼义 李涤新 肖 山 王立升 陈爱娥
刘淑凤 刘树钢 开 俊 王亚平 石晓峰 丁士中 张 敏
王华君 唐久春 范铭祥 韩 云 王宏锦

委 员(排名不分先后) 王冬梅 徐 黎 江 涛 储立群 刘 瑞
刘尚华 吴桂荣 邢良言 葛冬云 汪建安 徐万赋 姚卫宁
胡晓红 吴成群 张艺国 彭 建 刘 彦 陆伟生 张 李
魏 敏 吴晓东 李方显 朱晓华 张 强 周 斌 丁淑荃
汤 峰 陈洪金 顾 宏 周致远 陆思忠 朱振宇 窦祥国
潘 新 李国辉 刘纯根 李惠兰

前 言

随着我国国民经济的发展,职业教育迎来了发展的春天。然而,长期以来,职业教育中的教材问题,却始终未能得到很好的解决。

目前教材普遍存在着贪大求全以及与生产实际联系不紧密等问题,主要表现为偏深、偏难的理论性内容占据了过多的篇幅;而与生产实际联系较为紧密的基础知识、应知应会知识,却显得不足或强调不够,课后习题亦有违实用性原则。

这一问题,导致了教师难教,学生难学甚至厌学,培养出来的学生,实用性知识显得不够扎实,动手能力尚有欠缺,不能很好地满足市场经济的需要。

上述情况的存在,笔者以为最主要的原因是教材编纂工作未能与时俱进,未能遵循新形势下职业教育的特点,以及没有针对学生的实际状况因材施教,未能突出以实用为本的原则。解决问题的关键在于,对各类职业院校现有课程的设置及教学安排等进行相应调整,尤其是对现教材中明显要求过高、脱离实际的部分进行有选择、有针对性的整理和重编。

职业教育不同于高等教育,职业教育的教材不需要过于深奥的理论,但必须务实、实用。一本好的教材,必会对渴望习得一技之长的学生们的学习,起到事半功倍的效果。因此,这是一项极其复杂的系统工程。

笔者深爱着职业教育,长期从事着机械类专业基础课的教学工作,对职业教育有着较为深刻的认识与理解。笔者根据长期以来实践经验的总结,本着与时俱进、突出实用、深入浅出的原则,整理、编著了这本《金属材料与热处理》教材,算做是抛砖引玉吧!

本教材共8章26节教学内容,具体使用时,可针对不同教学对象,在50~70课时内安排实施。书后附常用参考资料,可方便同学们走上工作岗位后查询。本教材可作为职业院校机制、机电类专业高级和中级技工的通用培训教材及热加工专业的入门教材。

本教材在编著过程中,得到了合肥工业大学薛克敏等多位专家与教授的帮助和指导,得到了蚌埠技师学院有关部门的大力协助,在此一并鸣谢!

由于笔者水平有限,书中难免会有不妥之处,敬请谅解!恳请广大师生在使用过程中多提宝贵意见(E-mail:qqwwxx@sina.com),以便进一步完善。另外,本书受著作权保护,未经授权,翻印必究!

钱万祥

目 录

绪论	1
习题	3
第一章 金属材料的性能	4
第一节 载荷、变形、内力与应力的概念	4
第二节 金属材料的力学性能	6
第三节 金属材料的工艺性能	13
习题	14
第二章 金属的结构与结晶	15
第一节 金属的结构	15
第二节 金属的结晶及同素异构转变	16
第三节 金属的塑性变形	18
习题	20
第三章 铁碳合金	21
第一节 铁碳合金中的相与组织	21
第二节 铁碳合金相图	23
习题	24
第四章 碳素钢	25
第一节 钢中的常存元素	25
第二节 碳素钢的牌号及用途	26
第三节 易切削结构钢	31
习题	31
第五章 钢的热处理	32
第一节 钢在加热与冷却时的转变	32
第二节 钢的退火与正火	35
第三节 钢的淬火	36
第四节 钢的回火与表面处理	39
习题	41
第六章 合金钢	42
第一节 合金元素对钢的主要作用	42
第二节 合金钢的牌号	43
第三节 合金结构钢	43
第四节 合金工具钢	50
第五节 特殊性能钢	53
习题	56

第七章 铸铁	57
第一节 铸铁的种类及用途	57
第二节 铸铁的牌号	58
习题	59
第八章 有色金属与硬质合金	60
第一节 铜及其合金	60
第二节 铝及其合金	63
第三节 轴承合金	65
第四节 硬质合金	69
习题	71
附录	72
附录 I 金属材料的分类	72
附录 II 钢铁产品的用途、特性和工艺方法表示符号	74
附录 III 热处理工艺分类及代号	75
附录 IV 压痕直径与布氏硬度对照	76
附录 V 黑色金属硬度及强度换算	78
附录 VI 常用机械制造用结构钢中外牌号对照	79
附录 VII 常用建筑及工程用结构钢中外牌号对照	91
附录 VIII 常用工具钢与模具钢中外牌号对照	92
附录 IX 常用不锈钢与耐热钢中外牌号对照	96
附录 X 常用铸铁中外牌号对照	101
附录 XI 常用铸钢中外牌号对照	103
附录 XII 常用结构钢热处理规范	104
附录 XIII 常用工具钢热处理规范	124

绪 论

一、概述

本课程是一门揭示金属材料成分、组织、热处理与金属材料性能间关系和变化规律的学科,是各类职业院校机械、机电类专业及热加工专业重要的专业基础课。它包括金属材料与热处理两个部分。

1. 金属材料

金属材料在地球上来源丰富,种类繁多,性能千变万化,是目前使用最广泛的材料,而我国在金属材料的使用上更是有着悠久的历史。

一般认为,我国早在公元前 16—公元前 11 世纪,即已大量使用由青铜器制作的工具、武器、生活用品等,并且当时在青铜器的冶炼、铸造及其艺术性等方面已颇具造诣。公元前 5—公元前 4 世纪,我国即开始了人工冶炼铸铁,比欧洲至少早 1 000 年,是世界上最早生产铸铁的国家。

习惯上,我们通常将金属材料分为黑色金属与有色金属两大类。

黑色金属又称铁金属,是指铁元素或以铁元素为主而冶炼成的合金。如我们通常所说的钢、铁材料及纯铁、铁合金等。

有色金属又称非铁金属,是指黑色金属以外的其他金属与合金。如金、银、铜、锡、铝等以及铜合金、铝合金等。

黑色金属、有色金属以及有色金属合金是国民经济不可缺少的重要材料。目前,新材料的发展日新月异,在现代的许多领域中,科学与技术的发展在相当程度上要依赖于金属材料等现代材料科学的发展。

2. 热处理

在热处理方面,我国早在西汉时期就有“水与火合为粹(同义于现在的“淬”)-之说,东汉时期有“清水淬其锋”等热处理技术的记载。那么,到底什么是热处理呢?热处理有何作用?

以现代的技术水平来看,所谓热处理就是采取一定方式,对固态金属材料进行加热、保温与冷却,从而得到所需要的组织结构及性能的工艺。很显然,热处理少不了加热、保温与冷却三个阶段。

我国古代劳动人民经过长期实践,逐渐摸索出了热处理三个阶段的操作要领,知道淬火后的刀、剑等更锋利、更耐用,使用起来更得心应手。经对出土文物如西汉的刀、剑等的金相检验,发现其内部组织已接近现代热处理技术所获得的内部组织(即淬火马氏体及渗碳组织)。这说明我国在西汉时期的热处理技术,已有相当高的水准。

目前,热处理技术已经发展到不仅能提高零件的使用性能,充分发挥金属材料的潜能,延长其使用寿命;而且还能改善工件在机械制造过程中的加工性能,提高加工质量,减小刀具磨损等。

总之,在金属材料与热处理的发展过程中,我国古代劳动人民发挥出了极大的创造力,为人类社会的发展做出了巨大的贡献。目前,人类社会的发展,已与金属材料及其热处理的应用和发展有了密不可分的联系,其重要性已渗透到国民经济的各个领域。

作为机械制造业的技术工人,无论将来具体从事何种工作,都必须对金属材料及热处理的有关基础理论和基本知识较为熟悉。能够认识常见金属材料的牌号,知晓其主要性能特点,能够理

解合理选材及合理安排工艺路线的道理等。

本课程将着重介绍在机械工业企业中常用的金属材料牌号、主要性能特点、用途及常见的热处理方法等相互联系的基本概念、基础知识、应知应会知识,为专业技能打下坚实基础。为了能够胜任将来的技术工作,我们必须学会、掌握这些必备知识;其次,我们还要会联系、运用这些知识,去思考、解决一些在生产实践中遇到的具体问题。

二、钢与铁的预备知识

1. 钢与铁

钢与铁是现代工业生产中使用最广泛的金属材料。两者同属黑色金属,都是铁碳合金(两者都是以铁元素为主要元素,同时含有碳元素的合金),两者主要的不同之处在于碳含量不同。

(1)铁:纯铁软,实际使用价值不高,故应用较少。我们平时所说的铁,即铸铁,俗称生铁,是指碳含量大于等于 2.11% 的铁碳合金。因其塑性变形能力差,从而被归为脆性材料。

铸铁来源于对自然界中富含铁元素的矿石与焦炭在一起的冶炼。常用的铁矿石有磁铁矿(Fe_3O_4)、赤铁矿(Fe_2O_3)、褐铁矿($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)和菱铁矿(FeCO_3)等。铁矿石中除含有铁的氧化物外,还含有脉石(SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO)等。

(2)钢:俗称熟铁,是指碳含量小于 2.11% 的铁碳合金。因其塑性变形能力好,从而被归为塑性材料。

钢来源于对铁所进行的、以降低碳含量为主要目的的再次冶炼。而降碳的主要措施则是向炉内吹入大量的纯氧,通过一系列的氧化反应,把碳含量降至所要求的水平。

作为塑性材料的钢,其硬度及塑性变形能力主要受碳含量的影响。一般而言,钢的硬度随碳含量的增加而增加,塑性变形能力随碳含量的增加而减弱;反之,钢的硬度下降,塑性变形能力增强。为使钢具有必要的塑性和韧性,工业上使用的钢,其碳含量一般不超过 1.4%。

2. 钢的常用分类

钢的分类繁多,我们先熟悉以下几种分类。

(1)按有无合金元素分

①碳素钢(简称碳钢):是指未人为加入合金元素的钢。

碳素钢主要由 Fe、C 两种元素组成,除此之外,因原材料及冶炼等原因,其中也会存在少量的除 Fe、C 两种元素以外的其他元素(合金元素)。

②合金钢:是指人为地加入了合金元素的钢。

合金钢中除了 Fe、C 两种元素外,还有人为加入的合金元素,合金元素的主要作用是改善钢的性能。

对于合金钢,常把合金元素总量小于 5% 的称为低合金钢;把合金元素总量大于 10% 的称为高合金钢;合金元素总量在 5%~10% 的称为中合金钢。

简而言之,碳素钢冶炼容易,价格便宜,但综合性能较差;而合金钢的冶炼、生产较复杂,价格较贵,但综合性能较好。不仅如此,合金钢还能满足一些特殊性能的需要。

(2)按碳含量分

①低碳钢: $\text{C}\% \leq 0.25\%$ 的钢。

低碳钢因碳含量低而具有良好的塑性(变形能力),故低碳钢也称作软钢或铁。例如俗称的白铁皮(镀锌薄钢板)、马口铁皮(镀锡薄钢板)、黑铁皮(普通薄钢板)、彩钢瓦(镀锌白铁皮表面喷漆)等,都是低碳钢,都便于通过变形,加工成各种制品。如马口铁皮常用做形状各异的食物罐、饮料罐、茶叶罐及文具盒等。

②中碳钢: $0.25\% < C\% < 0.60\%$ 的钢。

例如我们在学习制图时,图纸材料栏中经常出现的 45 钢,即是常用的中碳钢,其平均碳含量为 0.45% 。

③高碳钢: $C\% \geq 0.60\%$ 的钢。

高碳钢因碳含量较高而具有较高的硬度与良好的耐磨性。

(3)按用途分

①结构钢:结构钢一般为中、低碳钢,主要用于制造各种机械零件及各类工程结构件。

结构钢又可分为碳素结构钢与合金结构钢两类。

②工具钢:工具钢均为高碳钢,主要用于制造各类工具,如各种刀具、量具、模具等。

工具钢又可分为碳素工具钢与合金工具钢两类。

(4)按成形方法分

①锻钢:以锻造成形的钢。

②铸钢:以铸造成形的钢。

③热轧钢:在热态下轧制成型的钢。

④冷拉钢:在冷态下冷拉成型的钢。

很多未能介绍的其他分类,我们将在以后的阐述中,结合所学内容予以介绍。

习 题

1. 何谓黑色金属? 何谓有色金属?
2. 钢与铁有什么共同点,有什么不同点?
3. 按有无合金元素分,钢可以分为哪两类? 何谓高合金钢?
4. 高碳钢、中碳钢与低碳钢的碳含量是怎样规定的?
5. 常见的白铁皮与马口铁皮的表面镀层各是什么? 马口铁皮的常见用途有哪些?
6. 热处理有哪三个阶段?

第一章 金属材料的性能

金属材料之所以得到广泛应用,是因为其有许多良好的性能。金属材料的性能包括使用性能和工艺性能两个方面。

使用性能是指金属材料在使用条件下所表现出来的性能,包括物理性能、化学性能、力学性能等。物理性能是指金属的密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性和磁性等固有属性;化学性能是指金属的耐腐蚀性、抗氧化性及化学稳定性等;力学性能又称机械性能,是指金属材料在外力作用下所表现出来的性能。力学性能包括强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度五大指标。

不同金属材料具有不同的力学性能,即使是同一种金属材料,在不同条件下的力学性能也不一样。

工艺性能则是指金属材料在机械制造过程中适应各种加工方法的能力。机械制造业对金属材料所进行的各种加工方法,主要有铸造、锻造、焊接、热处理以及车、铣、刨、磨、钳等。

金属材料不能仅有良好的力学性能,还必须有良好的工艺性能。良好的工艺性能便于低成本地生产出高质量的产品。

对于金属材料的性能,我们着重介绍其力学性能与工艺性能。

第一节 载荷、变形、内力与应力的概念

为了学好金属材料的力学性能,我们必须先了解载荷、变形、内力与应力的概念。

一、载荷

金属材料在加工或使用过程中所受外力称为载荷(又称负荷或负载)。载荷有以下两种分类。

1. 按载荷作用性质分类

(1)静载荷:指大小不变或变化缓慢的载荷。

(2)动载荷:指大小呈较快变化的载荷。

其中动载荷又包括:冲击载荷与交变载荷。冲击载荷是指突然增加的载荷;交变载荷(又称疲劳载荷或循环载荷)是指大小、方向呈周期性或非周期性变化的载荷。

2. 按载荷作用方式分类

(1)拉伸载荷:使材料受拉的载荷。

(2)压缩载荷:使材料受压的载荷。

(3)弯曲载荷:使材料弯曲的载荷。

(4)剪切载荷:使材料受剪切作用的载荷。

(5)扭转载荷:使材料受扭转作用的载荷。

二、变形

金属材料在载荷作用下而发生的几何形状或尺寸的变化称为变形。变形有弹性变形与塑性变形之分。

载荷撤除后能恢复原状的变形称为弹性变形;载荷撤除后不能恢复原状的变形称为塑性

变形。

三、内力

金属材料受外力或载荷作用后,为保持其自身的不变形,其内部会产生一个与外力或载荷相抗衡的力,这个力就称为内力。

内力的大小等同于外力,方向则与外力相反。

四、应力(σ)

我们把金属材料单位横截面积上的内力称为应力。

由于内力的大小等同于外力,因此又可将应力理解为金属材料单位横截面积上所承受的外力。

利用应力,我们可以真实地知晓金属材料的实际承载情况。金属材料在拉伸载荷或压缩载荷作用下,其应力可按下式计算

$$\text{应力} = \frac{\text{外加载荷}}{\text{横截面积}} \quad \text{或} \quad \sigma = \frac{F}{S}$$

式中 σ 单位——帕(Pa)或牛顿/平方米(N/m²);

F 单位——牛顿(N);

S 单位——平方米(m²)。

工程上习惯于横截面积以 mm² 为单位,则应力单位为 N/mm² 或 MPa。各单位之间的换算关系:1 MPa=1 N/mm², 1 MPa=10⁶ Pa, 1 Pa=1 N/m²。

下面我们举例说明应力概念的运用。

【例 1-1】 有四组杆件均受拉伸载荷作用。第一组的两根杆件横截面积分别为 20 mm² 与 25 mm², 两杆均受 3 000 N 的拉伸载荷作用;第二组的两根杆件横截面积均为 20 mm², 其中一杆受 2 900 N 的拉伸载荷作用,另一杆受 3 100 N 的拉伸载荷作用;第三组的两根杆件横截面积同第一组,但较细杆受 2 900 N 的拉伸载荷作用,较粗杆受 3 800 N 的拉伸载荷作用;第四组的两根杆件横截面积也同第一组,但较细杆受 3 100 N 的拉伸载荷作用,较粗杆受 3 600 N 的拉伸载荷作用。问:各组杆件中,哪一根杆件更容易遭受破坏?

解 第一组:

根据常理可以很容易判断出,受力相同的两根杆件,较细杆更容易遭受破坏;

第二组:

根据常理也可以很容易地判断出,横截面积相同的两根杆件,受力大者更容易遭受破坏;

第三组:

$$\text{运用应力的概念: } \sigma_{\text{细}} = \frac{2900}{20} = 145(\text{MPa}) \quad \sigma_{\text{粗}} = \frac{3800}{25} = 152(\text{MPa})$$

由于 $\sigma_{\text{细}} < \sigma_{\text{粗}}$ 即:较粗杆更容易遭受破坏;

第四组:

$$\text{运用应力的概念: } \sigma_{\text{细}} = \frac{3100}{20} = 155(\text{MPa}) \quad \sigma_{\text{粗}} = \frac{3600}{25} = 144(\text{MPa})$$

由于 $\sigma_{\text{细}} > \sigma_{\text{粗}}$ 即:较细杆更容易遭受破坏。

以上分析不难看出,如果不引入应力的概念,则例题中的第三组及第四组将难以给出令人信服的回答。同学们可以自行运用应力的概念,检验一下第一组和第二组,看看结果是否和常理判断一致。

根据上例,我们可以得出结论:评价某材料的实际承载状况,既不能仅看其横截面的尺寸大小,也不能仅看其所承受载荷值的大小,而是要看其所承受的应力值大小。只有应力值能够真实地反映出材料的实际承载状况。

五、许用应力

任何金属材料都有其所能承受的极限应力,金属材料在实际使用过程中所承受的应力值,一旦超过其所能承受的极限应力值,就会遭受破坏。

为保证金属材料的使用,一般要给金属材料设定许用应力。即在具体的设计与制造过程中,不允许金属材料在实际加工或使用过程中所承受的应力值,超过其许用应力。

所谓许用应力是指金属材料在保证安全工作的条件下允许承受的最大应力,其值等于极限应力除以保险系数。

$$\text{即} \quad \text{许用应力} = \frac{\text{极限应力}}{\text{保险系数}}$$

常用的许用拉应力以 $[\sigma]$ 表示,而保险系数则根据工件的重要程度来确定。

下面我们通过例题来熟悉上述概念。

【例 1-2】 某钢所能承受的极限拉应力 σ_b 为 1 000 MPa,拟用该钢制成主要承受拉应力的钢索,设计时取保险系数 2.5。问:该钢的许用拉应力值应为多少?

$$\text{解} \quad \text{许用拉应力值} [\sigma] = \frac{\sigma_b}{2.5} = \frac{1000}{2.5} = 400 (\text{MPa})$$

即该钢索在实际使用中允许承受的最大拉应力为 400 MPa。

第二节 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能(又称机械性能)包括强度、硬度、塑性、韧性和疲劳极限五大基本指标。事实上,金属材料的力学性能是机械制造业选用金属材料的主要依据。

一、强度指标

金属材料抵抗破坏的能力称为强度。所谓破坏是指金属材料产生了过量塑性变形或断裂。

强度的高低以应力来表示,即金属材料单位横截面积上所承受的外力(或内力)的大小。

根据载荷作用方式的不同,强度有:抗拉强度(σ_b)、抗压强度(σ_{bc})、抗弯强度(σ_{bb})、抗剪强度(τ_b)和抗扭强度(τ_t)五个方面。所有这些强度都是通过相应试验测得的,其中通过拉伸试验测得的抗拉强度(σ_b)最为常用。我们一般情况下所说的强度,只要不特别声明,均指抗拉强度。本教材只介绍抗拉强度。

1. 拉伸试样

抗拉强度连同后面将要介绍的塑性指标都是通过拉伸试验测得的。拉伸试验所采用的圆形(一般为圆形,矩形较少用)标准试样有长、短两种。

(1)长试样:长试样的标距长度(l_0)为其直径(d_0)的 10 倍。

(2)短试样:短试样的标距长度(l_0)为其直径(d_0)的 5 倍。

通常试样直径(d_0)为 10 mm,长试样的标距长度(l_0)为 100 mm;而短试样的标距长度(l_0)为 50 mm。图 1-1 所示为常用的圆形标准拉伸试样。

2. 拉伸试验

在材料试验机上,以缓慢增加的静拉力(静载荷)对标准试样进行轴向拉伸,同时连续测量试

样的伸长量随载荷增加的变化情况,直至断开。图 1-2 是 20 钢的载荷(F)-伸长量(Δl)曲线。

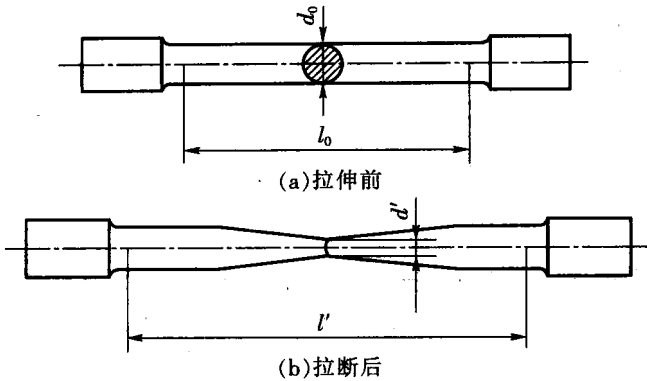


图 1-1 圆形标准拉伸试样

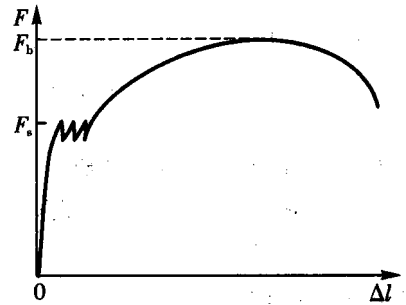


图 1-2 20 钢载荷(F)-伸长量(Δl)曲线

利用拉伸试验,我们可以很方便地测量出各种金属材料的强度及塑性。通常,试样被拉断前会经历一系列的变化,其中包括从弹性变形到塑性变形的变化,以及屈服和缩颈两个典型现象。

(1)屈服:所谓屈服是指拉伸试样在外加拉伸载荷不再增加或略有减少的情况下,仍能继续发生伸长的现象。材料屈服后将会残留较大的塑性变形量,我们也可把屈服理解为金属材料在外加载荷作用下出现明显塑性变形的现象。材料屈服时所承受的载荷以 F_s 示之。

(2)缩颈:所谓缩颈是指拉伸试样被拉断前发生的局部直径突然收缩的现象。材料开始发生缩颈时所承受的载荷,为其被拉断前所能承受的最大载荷,以 F_b 示之。

3. 强度指标

(1)抗拉强度(σ_b):所谓抗拉强度是指金属材料被拉断前所能承受的最大拉应力。

即
$$\text{抗拉强度} = \frac{\text{试样被拉断前所承受的最大载荷}}{\text{试样原始横截面积}} \quad \text{或} \quad \sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

金属材料在使用或制造中所承受的拉应力一旦超过抗拉强度 σ_b ,就会被拉断;而抗拉强度 σ_b 高的金属材料在使用中不容易被拉断。

(2)屈服强度(σ_s):通常材料被拉断前会先发生屈服现象。所谓屈服强度又称屈服点或屈服极限,是指金属材料发生明显塑性变形时的应力。

即
$$\text{屈服强度} = \frac{\text{试样屈服时所承受的载荷}}{\text{试样原始横截面积}} \quad \text{或} \quad \sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

对于屈服现象不明显的金属材料,如脆性材料铸铁,规定以其残余伸长量达原始标距长度的 0.2% 时的应力(以 $\sigma_{0.2}$ 示之)表示其屈服强度,又称条件屈服强度(简称屈服强度)。也就是说,以 σ_s 表示塑性材料的屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示脆性材料的屈服强度。

金属材料在使用或制造中所承受的应力一旦超过 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$,就会产生过量的塑性变形;而屈服强度 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 高的金属材料,在使用中就不容易出现过量的塑性变形(过量的塑性变形会使金属材料失效)。

由于金属材料在受拉过程中一般要先经历屈服,然后才能被拉断,因此对任一种金属材料而言,其 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 总是小于 σ_b 。

金属材料在实际使用时所承受的应力不允许超过其屈服强度 σ_s ,更不允许超过其抗拉强度 σ_b 。通常在具体核算时,会由根据零件重要程度确定的保险系数,计算出其许用应力。金属材料实际承受应力只要不超过其许用应力,即可保证安全工作。

4. 屈服比(σ_s/σ_b)

钢的屈服点(屈服强度)与抗拉强度的比值,称为屈服比。

屈服比大的材料,说明其弹性极限高,使用中不易发生塑性变形,工作可靠性高;否则其弹性极限低,使用中易发生塑性变形,工作可靠性低,但其断裂前的明显塑性变形,有利于提早采取措施,减少损失。一般碳素钢屈服比为 0.6~0.65,低合金结构钢为 0.65~0.75,合金结构钢为 0.84~0.86。

5. 螺纹紧固件的性能等级

螺纹紧固件的性能等级是设计及选用螺栓、螺柱、螺钉等螺纹紧固件的通用标准。该性能等级共有 3.6、4.6、4.8、5.6、5.8、6.8、8.8、9.8、10.9、12.9 十个等级,其中 8.8 级及以上通称为高强度螺纹,其余通称为普通螺纹。

性能等级标号由两部分数字组成,整数部分表示螺纹紧固件材质的公称抗拉强度值,小数部分表示屈服比值。例如,性能等级为 4.6 级的螺栓,其含义是:螺栓材质的公称抗拉强度为 4×100 MPa 级;螺栓材质的屈服比值为 0.6,也即螺栓材质的公称屈服强度为 0.6×400 MPa 级。

相同性能等级的螺纹紧固件,不管其材料和产地的区别,其性能是相同的,设计时只依据性能等级进行选用。

二、塑性指标

金属材料断裂前产生永久变形的能力称为塑性。

塑性指标有伸长率和断面收缩率两个。这两个塑性指标同抗拉强度指标一样,也是由拉伸试验测得的。

1. 伸长率(δ)

试样拉断后的标距伸长量与试样原始标距的百分比称为伸长率(也称延伸率)。

即
$$\text{伸长率} = \frac{\text{试样拉断后的标距} - \text{试样的原始标距}}{\text{试样的原始标距}} \times 100\%$$

$$\text{或 } \delta = \frac{l' - l_0}{l_0} \times 100\%$$

2. 断面收缩率(Ψ)

试样拉断后,断面处横截面积的缩减量与试样原始横截面积的百分比称为断面收缩率。

即
$$\text{断面收缩率} = \frac{\text{试样原始横截面积} - \text{断开处最小横截面积}}{\text{试样原始横截面积}} \times 100\%$$

$$\text{或 } \Psi = \frac{S_0 - S'}{S_0} \times 100\%$$

金属材料的塑性指标 δ 与 Ψ 越大,表明材料的塑性越好,越可以在不断裂的情况下发生大量的塑性变形; δ 与 Ψ 越小,则表明材料的塑性越差,越难以发生塑性变形。对铁碳合金而言,碳含量越低其塑性越好,碳含量越高其塑性越差。

塑性好的材料,在受力过大时,可以先产生塑性变形而不至于突然发生断裂,从而便于提前采取措施,以减少损失。

塑性好的金属材料还易于通过塑性变形,加工成复杂的零件。例如:碳含量小于等于 0.0218% 的铁碳合金(工业纯铁),其 δ 可达 50%, Ψ 可达 80%,是铁碳合金中塑性最好的材料,可以被拉成细丝、轧成薄板;而铸铁的塑性则很差, δ 与 Ψ 非常低,不能进行任何塑性变形加工。

通常,塑性较好的金属材料采用短试样进行拉伸试验;塑性较差的金属材料采用长试样进行

拉伸试验。值得注意的是,同一材料采用长试样和短试样,测得的伸长率值是不可比的。采用长试样测得的伸长率用 δ_{10} 表示,而采用短试样测得的伸长率则用 δ_5 表示。 δ_{10} 习惯上写成 δ 。

某材料的强度、塑性具体如何,必须通过拉伸试验,测出其屈服时的载荷、缩颈时的载荷以及断后直径和断后标距等,并经过相应的计算后才能得到。

国家规定,不同牌号的钢出厂时,其强度、塑性等力学性能指标要符合相应的标准。

下面我们举例说明强度与塑性指标的计算。

【例 1-3】 有一个直径 $d_0=10\text{ mm}$,标距长度 $l_0=100\text{ mm}$ 的金属材料试样,拉伸试验时测得试样屈服时所承受的载荷 $F_s=21\text{ kN}$,试样缩颈时所承受的载荷 $F_b=29\text{ kN}$ 。试样断开后测得断开处最小直径 $d'=5.65\text{ mm}$,断后标距 $l'=138\text{ mm}$ 。试求:该金属材料的 σ_s 、 σ_b 、 δ 、 Ψ 指标。

解 (1)求 σ_s

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} = \frac{4F_s}{\pi d_0^2} = \frac{4 \times 21000}{3.14 \times 10^2} = 267.5 (\text{N/mm}^2)$$

(2)求 σ_b

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} = \frac{4F_b}{\pi d_0^2} = \frac{4 \times 29000}{3.14 \times 10^2} = 369.4 (\text{N/mm}^2)$$

(3)求 δ

$$\delta = \frac{l' - l_0}{l_0} \times 100\% = \frac{138 - 100}{100} \times 100\% = 38\%$$

(4)求 Ψ

$$\begin{aligned} \Psi &= \frac{S_0 - S'}{S_0} \times 100\% = \frac{d_0^2 - d'^2}{d_0^2} \times 100\% \\ &= \frac{10^2 - 5.65^2}{10^2} \times 100\% = 68\% \end{aligned}$$

因此,该金属材料的 σ_s 、 σ_b 、 δ 、 Ψ 分别是 267.5 N/mm^2 、 369.4 N/mm^2 、 38% 、 68% 。其中 N/mm^2 也可写成 MPa 。

拉伸试验常常被机械工业企业用于对所购入原材料的抽样检验以及铸造产品的抽样检验。

三、硬度指标

材料抵抗局部变形、表面压痕或划痕的能力称为硬度。硬度高的材料,其塑性差,但耐磨性好;硬度低材料,其塑性好,但耐磨性差。

一定范围内,材料的硬度高低可间接地反映出其强度的高低。机械工业企业常把对所生产零部件提出的硬度要求,作为一项重要的技术条件。

材料硬度的高低,是通过硬度试验测得的。硬度试验的方法很多,在机械工业中广泛采用压入法来测定硬度。压入法又可分为布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。在工厂,测硬度俗称“打”硬度。

压入法硬度试验的主要原理是:先以较小的初始试验力,将一定形状的压头压入被测表面;然后再以较大的主试验力再次作用于压头上,保持一定时间后卸除主试验力,以被测表面的压痕深浅或压痕大小,计算出硬度高低。压痕深或压痕面积大,说明材料软,其硬度值低;反之,说明材料硬,其硬度值高。

为便于理解,我们在下面的叙述中将不再区分初始试验力与主试验力,而是笼统地称之为载荷。

1. 布氏硬度

标志符号为 HB。

布氏硬度是以一定的载荷(或称试验力),将特定尺寸的球体压头压入材料表面,保持一定时间后卸载,以压痕直径来计算硬度值。实际操作时,凭测出的压痕平均直径直接查表得出。附录 IV 为压痕直径与布氏硬度对照表。

试验所用压头有硬质合金球与淬火钢球两种,硬质合金球以 W 表示,淬火钢球以 S 表示。两种球的直径均有 1 mm、2 mm、2.5 mm、5 mm 和 10 mm 五种规格可供选用。

试验时,载荷大小、球体压头直径及试验力保持时间,根据被测材料种类、硬度值的范围及材料厚度等进行选择。通常,对软材料宜选择较大直径的压头球体。

布氏硬度的表示方法规定为硬度值后跟 HBS 或 HBW。如某材料硬度为 283 HBW,即表示该材料采用布氏硬度试验测得的硬度值是 283,且试验所用压头是硬质合金球。

布氏硬度根据压痕直径计算硬度值(实际操作时查表即可),测量精度较高,适合测量中低硬度的材料,尤其适合测量铸铁及软金属。但是,必须在试验后测量工件表面的压痕直径,并将测得的压痕平均直径对照有关资料(如附录 IV)后,才能得出材料的硬度值,比较费事。另外,对不同材料还需更换压头及试验力,压头尺寸大时,不宜测量成品及薄壁件等。

2. 洛氏硬度

标志符号为 HR。

当材料的硬度过高,或者工件壁薄、工件过小时,不能采用布氏硬度试验,而宜采用洛氏硬度计量。该试验是将顶角为 $\Phi 120^\circ$ 的金刚石圆锥体或直径为 $\Phi \frac{1}{16}$ "($\Phi 1.588$ mm)的淬火钢球,在一定载荷下压入被测材料表面,由压痕的深浅计算硬度(实际操作时,可直接从硬度机表盘上读出硬度值)。

根据材质及硬度的不同,洛氏硬度试验有 HRA、HRB 与 HRC 三种标尺,其中 HRC 应用最为广泛。

(1)HRA 标尺:采用 60 kg 载荷,把 $\Phi 120^\circ$ 的金刚石圆锥体压入被测表面,根据压入的深浅计算硬度。适合测表面硬度高的材料(如表面淬火材料)及硬度极高的材料(如硬质合金)。

(2)HRB 标尺:采用 100 kg 载荷,把 $\Phi \frac{1}{16}$ "的淬火钢球压入被测表面,根据压入的深浅计算硬度。适合测低硬度材料,如退火钢、铜及其合金、铸铁等。

(3)HRC 标尺:采用 150 kg 载荷,把 $\Phi 120^\circ$ 的金刚石圆锥体压入被测表面,根据压入的深浅计算硬度。适合测硬度较高的材料(如淬火钢等)。

洛氏硬度的表示方法规定为硬度值后跟 HRA、HRB 或 HRC。如某材料硬度值为 60 HRC,即表示该材料采用洛氏硬度 C 标尺试验,测得的硬度值为 60。值得注意的是:洛氏硬度不同标尺下的硬度值不具可比性。

洛氏硬度根据压痕深浅计算硬度值,实际操作时可直接从表盘上读出硬度值,操作简单,测量范围大,因压痕较小,可测定成品及薄件;但数据波动较大,不如布氏硬度试验准确。

3. 维氏硬度

标志符号为 HV。

维氏硬度试验原理基本上与布氏硬度试验相同,但试验力比布氏硬度试验小得多。

维氏硬度以 120 kg 以内的载荷,把相对两面夹角为 136° 的金刚石正四棱锥压入材料表面(其压痕是一个带有对角线的正方形),然后根据压痕对角线长度算硬度值。实际操作时,可凭测出的