

杨晓林 编
萨 仁 主审

金属材料及热处理

● 大连海事大学出版社

交通系统中等专业学校教材

金属材料及热处理

杨晓林 编

萨仁 主审

大连海事大学出版社

(辽)新登字 11 号

大连海事大学图书馆

金属材料及热处理

图书在版编目(CIP)数据

金属材料及热处理/杨晓林编. —大连:大连海事大学出版社, 1994

ISBN 7-5632-0614-0

I. 金…

I. 杨…

II. ①金属材料-金属学 ②热处理-工艺

IV. ①TG14②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 03611 号

大连海事大学出版社出版

(大 连)

大连海事大学出版社印刷厂印刷 大连海事大学出版社发行

1994 年 7 月第 1 版

1994 年 7 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 10.5

字数: 262 千

印数: 0001~1500

定价: 4.90 元

内 容 提 要

本书主要讲述金属材料的机械性能、金属学基础、热处理原理及工艺、常用的金属材料、汽车零件选材及热处理等。该书作为交通系统中专学校汽车运用与修理专业《金属材料及热处理》课程的教材,适用于全日制中专、职工中专、电视函授中专,亦可供该专业职业高中、技工学校教学参考,还可供从事汽车、拖拉机、筑路机械维修和配件制造工作的有关人员参考。

前 言

《金属材料及热处理》是汽车运用与修理专业的一门技术基础课。本教材是根据交通系统中等专业学校(招收初中生,全日制四年)《金属材料及热处理》课程教学大纲编写的。

本书主要包括:金属材料的机械性能、金属学基础、热处理基本原理及工艺、常用金属材料、汽车零件选材及热处理等。教学时数(包括实验)为76学时。

在本书编写中既保持了课程系统性,又考虑到中专学生的接受能力,阐述基本原理时尽量做到删繁就简,深入浅出。在内容的取舍及举例示范上,尽可能地选用汽车工业的生产实例。第八章(典型零件选材及热处理)则是从汽车运用与修理专业的特点出发,结合机械行业典型零件的选材及热处理进行编写的。

全书采用国际单位制,并收集编入了有关的最新国家技术标准。

本书曾于1989年10月作为交通系统中等专业学校内部教材出版,云南省交通学校杨晓林主编,云南省交通学校邹华英、刘琪瑞、文耀光、徐慧参加了编写。1992年5月,全国交通职业技术学校教学指导委员会汽车运用与修理学科委员会组织云南省交通学校、呼和浩特交通学校、浙江省交通学校、山东省交通学校、南京交通学校、湖南省交通学校、安徽省交通学校等七所交通中专的部分金工教师对教材进行了认真地、广泛深入地讨论,提出了许多宝贵意见。在这次研讨的基础上,按照最新国家标准审阅订正了有关的文字、插图,精选了表格,重新制作了金相照片,并于1993年6月,在昆明召开了全国交通中专《金属材料及热处理》教材审稿会。参加审稿会的有萨仁、李军、蔡尚敏、曹德芳、王之伟、施华廷、陈北强、周燕、王挺度等教师。

本书此次出版,由云南省交通学校高级讲师杨晓林编写,交通部呼和浩特交通学校高级讲师萨仁主审,经交通职业技术学校教学指导委员会汽车运用与修理学科委员会责任编委、陕西省交通学校高级讲师周本谦审定,作为交通系统中专学校教材使用。

在编写过程中得到了云南省交通学校汽车专业学科主任、高级讲师宋敏德及有关教师的热忱帮助和支持,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,经验不足,书中难免存在缺点和错误,敬请同行和读者批评指正。

编 者

1993年5月31日

目 录

绪 论	1
第一章 金属材料的机械性能	4
第一节 强度和塑性	4
第二节 硬度	7
第三节 冲击韧性	11
第四节 金属疲劳的概念	12
第二章 金属的晶体结构与结晶	15
第一节 金属的晶体结构	15
第二节 实际金属的晶体结构	17
第三节 金属的结晶	19
第三章 二元合金及铁碳合金	23
第一节 二元合金基础知识	23
第二节 铁碳合金状态图	29
第三节 碳对铁碳合金组织和性能的影响	37
第四节 碳钢	39
第四章 钢的热处理	48
第一节 概述	48
第二节 钢在加热时的组织转变	49
第三节 钢在冷却时的组织转变	50
第四节 钢的退火与正火	58
第五节 钢的淬火与回火	60
第六节 钢的表面淬火	70
第七节 钢的化学热处理	72
第八节 热处理常见缺陷及防止方法	76
第九节 其它热处理工艺简介	78
第五章 合金钢	83
第一节 合金钢的分类和牌号表示方法	83
第二节 合金元素在钢中的作用	84
第三节 合金结构钢	88
第四节 合金工具钢与高速工具钢	92
第五节 滚动轴承钢	95
第六节 特殊性能钢	96
第七节 粉末冶金与硬质合金简介	98
第六章 铸铁	102

第一节	概述	102
第二节	灰铸铁	103
第三节	球墨铸铁	106
第四节	可锻铸铁	109
第五节	合金铸铁简介	110
第七章	有色金属及其合金	113
第一节	铝及铝合金	113
第二节	铜及铜合金	118
第三节	滑动轴承合金	123
第八章	典型零件选材及热处理	128
第一节	选材的一般原则及方法	128
第二节	热处理与切削加工性的关系	131
第三节	热处理技术条件的标注及工序位置	133
第四节	典型零件材料的选用及热处理	136
附录		144
附录一	金属布氏硬度(HB)数值表	144
附录二	黑色金属硬度及强度换算表	148
附录三	碳素结构钢新旧牌号对照表	152
附录四	钢材回火温度与硬度对照表	153
附录五	合金元素在钢中的主要作用	154
附录六	部分合金结构钢化学成分	155
附录七	国内外常用钢号对照表	156
主要参考书目		158
08	变形阻力的影响因素	第三卷
88	火工品火药性能	第四卷
08	火工品火药性能	第五卷
07	火工品火药性能	第六卷
87	火工品火药性能	第七卷
87	火工品火药性能	第八卷
87	火工品火药性能	第九卷
88	火工品火药性能	第十卷
88	火工品火药性能	第十一卷
88	火工品火药性能	第十二卷
88	火工品火药性能	第十三卷
88	火工品火药性能	第十四卷
88	火工品火药性能	第十五卷
88	火工品火药性能	第十六卷
88	火工品火药性能	第十七卷
88	火工品火药性能	第十八卷
88	火工品火药性能	第十九卷
88	火工品火药性能	第二十卷
88	火工品火药性能	第二十一卷
88	火工品火药性能	第二十二卷
88	火工品火药性能	第二十三卷
88	火工品火药性能	第二十四卷
88	火工品火药性能	第二十五卷
88	火工品火药性能	第二十六卷
88	火工品火药性能	第二十七卷
88	火工品火药性能	第二十八卷
88	火工品火药性能	第二十九卷
88	火工品火药性能	第三十卷
88	火工品火药性能	第三十一卷
88	火工品火药性能	第三十二卷
88	火工品火药性能	第三十三卷
88	火工品火药性能	第三十四卷
88	火工品火药性能	第三十五卷
88	火工品火药性能	第三十六卷
88	火工品火药性能	第三十七卷
88	火工品火药性能	第三十八卷
88	火工品火药性能	第三十九卷
88	火工品火药性能	第四十卷
88	火工品火药性能	第四十一卷
88	火工品火药性能	第四十二卷
88	火工品火药性能	第四十三卷
88	火工品火药性能	第四十四卷
88	火工品火药性能	第四十五卷
88	火工品火药性能	第四十六卷
88	火工品火药性能	第四十七卷
88	火工品火药性能	第四十八卷
88	火工品火药性能	第四十九卷
88	火工品火药性能	第五十卷
88	火工品火药性能	第五十一卷
88	火工品火药性能	第五十二卷
88	火工品火药性能	第五十三卷
88	火工品火药性能	第五十四卷
88	火工品火药性能	第五十五卷
88	火工品火药性能	第五十六卷
88	火工品火药性能	第五十七卷
88	火工品火药性能	第五十八卷
88	火工品火药性能	第五十九卷
88	火工品火药性能	第六十卷
88	火工品火药性能	第六十一卷
88	火工品火药性能	第六十二卷
88	火工品火药性能	第六十三卷
88	火工品火药性能	第六十四卷
88	火工品火药性能	第六十五卷
88	火工品火药性能	第六十六卷
88	火工品火药性能	第六十七卷
88	火工品火药性能	第六十八卷
88	火工品火药性能	第六十九卷
88	火工品火药性能	第七十卷
88	火工品火药性能	第七十一卷
88	火工品火药性能	第七十二卷
88	火工品火药性能	第七十三卷
88	火工品火药性能	第七十四卷
88	火工品火药性能	第七十五卷
88	火工品火药性能	第七十六卷
88	火工品火药性能	第七十七卷
88	火工品火药性能	第七十八卷
88	火工品火药性能	第七十九卷
88	火工品火药性能	第八十卷
88	火工品火药性能	第八十一卷
88	火工品火药性能	第八十二卷
88	火工品火药性能	第八十三卷
88	火工品火药性能	第八十四卷
88	火工品火药性能	第八十五卷
88	火工品火药性能	第八十六卷
88	火工品火药性能	第八十七卷
88	火工品火药性能	第八十八卷
88	火工品火药性能	第八十九卷
88	火工品火药性能	第九十卷
88	火工品火药性能	第九十一卷
88	火工品火药性能	第九十二卷
88	火工品火药性能	第九十三卷
88	火工品火药性能	第九十四卷
88	火工品火药性能	第九十五卷
88	火工品火药性能	第九十六卷
88	火工品火药性能	第九十七卷
88	火工品火药性能	第九十八卷
88	火工品火药性能	第九十九卷
88	火工品火药性能	第一百卷

绪 论

材料科学是现代科学技术的基础,是“四化”建设中具有全局性的重要科学技术领域之一。任何一项科学技术的发展,几乎都要解决相应的材料问题。因此,材料科学的重要作用,正日益为人们所认识。

在实现我国社会主义工业、农业、国防和科学技术现代化过程中,汽车工业是我国支柱产业之一。它为国民经济各部门提供汽车、拖拉机及各种交通运输和工程机械。汽车工业每年所用钢铁材料占国家钢铁年产量的10%左右。据统计,仅第二汽车制造厂一个企业,一年所耗用的金属材料就达50万吨之多。以一辆东风EQ-1090E汽车重量计算,所耗用的金属材料约为非金属材料的7倍。即便是大量使用塑料制件的美国轿车,金属材料的耗用量仍为非金属材料的4.5倍。因而,可以说金属材料是汽车的主体材料。按重量计算,东风货车上钢铁件约占所耗用金属的97%。有色金属及其它材料约占3%。轿车上钢铁件约为80%左右,以铝为主的有色金属约占10~20%。显然,钢铁材料在汽车工业材料用量中占有绝对优势。

钢铁材料来源于自然界广为分布的铁矿石,铁矿石资源在地壳中贮藏量丰富并且品位高。钢铁材料的冶金工艺成熟,加工成本较低,而且产品种类多,有着优良的工艺性能和使用性能,特别是通过热处理手段可以进一步改善它们的这些性能。钢铁材料在资源和技术经济方面的这些优势,能满足汽车工业对金属材料的需求,决定了钢铁材料在汽车工业中的重要地位。

为了合理使用金属材料,首先必须掌握各种常用金属材料的成分、组织、性能及其变化规律,在此基础上才能进一步研究热处理与金属材料的组织、性能的关系。正确应用热处理方法,可以改善金属材料的加工性能和使用性能,充分发挥金属材料的潜力,减少材料消耗,提高产品质量,延长使用寿命,降低生产成本。因此,对于从事汽车、拖拉机和各类机械设备制造、维修与使用的工程技术人员来说,熟悉各种金属材料特别是钢铁材料的性能、掌握热处理的工艺方法、能够正确选用金属材料并解决生产中的实际问题,具有特别重要的意义。

我国是世界上最早使用金属材料,应用热处理技术的国家之一。全国各地已经出土的文物证实,远在四千年前,我们的祖先就开始使用天然存在的红铜锻、铸器具,并掌握了红铜(纯铜)、青铜(合金)等的冶炼技术。随着社会生产力的发展,青铜技术逐渐由低级向高级发展,商周时代(公元前16世纪至公元前8世纪),我国的青铜冶铸技术已经达到了很高水平。闻名于世重达875kg(公斤)的司母戊鼎、精巧的四羊尊、龙虎尊等是这个时期高超的青铜铸造技艺的集中反映。春秋时期(公元前8世纪至公元前5世纪)总结的“六齐”规律为:“金有六齐,六分其金而锡居一,谓之钟鼎之齐;五分其金而锡居一,谓之斧斤之齐;四分其金而锡居一,谓之戈戟之齐;三分其金而锡居一,谓之大刀之齐;五分其金而锡居二,谓之削杀矢之齐;金、锡半,谓之鉴燧之齐。”(《考工记》)。“六齐”是世界是最早的有关合金(青铜)的成分、性能及用途的总结。

我国还有悠久的使用钢铁的历史,始于周代(约公元前1066~公元前222年)的我国冶铁技术比欧洲使用生铁最早的国家约早二千年。如河北武安出土的战国时期的铁镞,其材料就是现今的可锻铸铁。史料记载及大量的出土文物还进一步证实,我国古代劳动人民在热处理技术方面也作出了很大贡献。西汉时期,司马迁所著《史记·天官书》中就已记载“水与火为粹(淬)”。东汉班超著《汉书·王褒传》亦有“……巧冶铸干将之朴、清水粹其锋”等有关热处理技

术的记载,现代金相检验表明:河北满城出土的西汉佩剑及书刀,其中心为低碳钢,表层为高碳钢。辽阳三道壕出土的西汉钢剑,其内部组织完全符合淬火马氏体组织。它们充分说明早在二千多年前,我国已采用了淬火、渗碳等热处理工艺,并且达到了相当高的水平。“凡铁(锉),纯钢为之,未健之时,钢性亦软,以已健钢鏊划成纵斜线纹理……划后烧红,退微冷,入水健。久用乖平,入火退去健性,再用鏊划。”“凡针,先锤铁为细条……然后入釜。慢火炒熬。炒后以土末入松木、火矢、豆豉三物罨盖。下用火蒸。留针二三口。插于其外。以试火候。其外针入手捻成粉样。则其下针火候皆足。然后开封入水健之”(明宋应星著《天工开物》,1637年)。详细地总结、记录了钢锉的退火、淬火,钢针的固体渗碳及检验等热处理工艺过程。对不同用途的针,“分别之妙,在于水火健法云。”已发现采用不同的热处理方法,可以满足不同的使用性能要求。

在18世纪中期、欧洲工业革命以前,我国的金属材料与热处理技术的应用上曾经取得过辉煌的成就,为世界文明、为世界材料科学的发展作出过自己的贡献。但由于封建社会制度阻碍生产力及科学技术的发展,特别是近百年来帝国主义的侵略和压迫,使中国沦为半封建、半殖民地的社会,更加严重地阻碍了生产力和科学技术的发展,使我国的工业、科学技术长期停滞不前,处于极为落后的状况。

新中国的成立,解放了生产力。经过全国人民的艰苦奋斗、广大科技工作者的创造性劳动,结束了科学技术长期停滞不前的局面。人造卫星的发射与回收,原子弹、氢弹的爆炸成功,泰山核电站的投入运行,标志着我国材料科学的发展进入了新的阶段。

近年来,随着科学技术的迅速发展,我国材料科学发生了可喜变化。X射线、电子显微技术的发展和运用(如透射电子显微镜、扫描电子显微镜、电子探针等新技术在金属材料研究方面的广泛应用)使材料科学在基础理论、加工工艺和测试技术方面都取得了长足进步。一批批新型材料,如超高强度钢、耐高温和耐低温材料、超导电磁材料相继研制成功,填补了我国材料工业的空白。可控气氛热处理、真空热处理、形变热处理、多元共渗、磁场热处理、气相沉积、循环热处理、激光热处理、电子束表面淬火等热处理新技术日益广泛地应用于生产。在金属材料的生产方面,建立了符合我国资源状况,适合我国国情的合金钢系统,我国研制成功的稀土镁球墨铸铁已广泛地用于生产。各种有色金属材料以及具有特殊性能的合金,如高温合金、电磁合金等等,在质量和品种上逐步满足了国防和科学技术发展的需要。材料科学的研究,推动了我国材料技术和材料工业的发展,为“四化”建设和汽车工业的发展提供了必要的条件。

《金属材料及热处理》属于基础学科,是汽车运用与修理专业的一门技术基础课。目的在于使学生获得系统的金属材料及热处理的基本知识,为学习其它课程,为今后从事技术工作奠定基础。

本课程主要包括金属学基础知识、热处理基本原理和常用方法,以及碳钢、合金钢、铸铁、有色金属及合金等常用金属材料的成分、组织、性能和用途。

通过本课程的学习,主要使学生获得以下基础知识和技能:

1. 掌握金属材料的种类以及常用金属材料的成分、组织、性能之间的关系。初步具有合理选用金属材料的能力;
2. 了解金属材料的热处理基本原理,掌握热处理方法及工艺,具有正确选定一般零件热处理方法的能力,懂得一般零件热处理工序在工艺路线中安排的基本原则。

《金属材料及热处理》是一门理论性和实践性较强的课程。它与已学过的基础课和将要学习的专业课有紧密的联系。凡从事机械设备和汽车拖拉机制造、维修工作的专业技术人员都应

学习并掌握本课程的基本内容。在学习时,既要注意理解基本概念与原理,又要注意学习基本的工艺知识,熟悉常用的符号和金属牌号。在学习方法上,既要注意课堂上、书本上的学习,又要重视实验操作技能的训练和各种参观、实习等实践性教学环节的学习。一定要坚持课后及时复习,完成必要的作业以巩固所学知识。

金属材料是由原子、分子、离子等微粒组成,其性能与原子、分子、离子的排列、运动、相互作用有关。金属材料在加工过程中,其性能会发生变化,如热处理、冷加工、热加工等。金属材料在服役过程中,其性能也会发生变化,如疲劳、腐蚀、磨损等。金属材料的选择应根据其使用条件、性能要求、成本等因素综合考虑。

第一章 金属材料

金属材料是指由金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料。金属材料具有强度高、塑性好、导电性好、导热性好等优点,广泛应用于机械、建筑、交通、能源等领域。

金属材料的主要性能指标包括力学性能、物理性能、化学性能等。力学性能是指材料在受力作用下抵抗变形和破坏的能力,包括强度、硬度、塑性、韧性等。物理性能是指材料的物理特性,如密度、熔点、导电性、导热性等。化学性能是指材料在化学环境中的稳定性,如耐腐蚀性、抗氧化性等。

金属材料的选择应根据其使用条件、性能要求、成本等因素综合考虑。在选择金属材料时,应首先考虑其力学性能,其次考虑其物理性能和化学性能。同时,还应考虑材料的加工工艺性、成本等因素。

金属材料的热处理是指通过加热、保温、冷却等工艺改变材料的内部组织,从而改善其性能的过程。热处理是金属材料加工中的重要环节,对材料的性能有着深远的影响。

金属材料的热处理工艺包括退火、正火、淬火、回火等。退火是将材料加热到一定温度,保温一定时间,然后缓慢冷却的工艺。正火是将材料加热到一定温度,保温一定时间,然后在空气中冷却的工艺。淬火是将材料加热到一定温度,保温一定时间,然后快速冷却的工艺。回火是将淬火后的材料加热到一定温度,保温一定时间,然后冷却的工艺。

第一章 金属材料的机械性能

金属材料在工农业生产、国防建设以及交通运输业中得到广泛的应用,主要是由于金属材料具有许多优良的性能,可以满足各种机械零件的加工和使用要求。金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在使用条件下所表现出来的性能。它包括机械性能、物理性能(如导电性、导热性、热膨胀性等)和化学性能(如抗腐蚀性、抗氧化性、耐酸性、耐碱性等)。工艺性能是指金属材料在加工制造过程中所表现出来的特性。这些特性包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、热处理性能以及切削加工性能等。只有在全面了解金属材料的各种性能之后,才能正确合理、经济地选用金属材料。

任何一部机器都是由许多零部件组成。每一零部件在机器使用过程中,都要承受各种外力的作用。因此,研究金属材料在外力作用下所表现出来的特性就显得十分重要。金属材料在外力作用下所表现出来的特性称为机械性能或力学性能。金属材料常用的机械性能包括:强度、硬度、塑性、韧性、抗疲劳性等。这些不同的性能分别用不同的力学实验方法测定。

第一节 强度和塑性

金属材料受到外力作用时,会引起其尺寸与形状的改变。这个外力称为载荷(或负荷),而形状与尺寸的改变就称为变形。由于载荷的类型有拉伸、压缩、弯曲、剪切、扭转等几种基本形式,因此,用实验方法测得的强度就分别称为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度、抗扭强度等。一般情况下,金属材料多以抗拉强度作为最基本的强度指标。

一、拉伸试验及拉伸图

金属材料的强度和塑性是通过拉伸试验测定的。拉伸试验就是把制成规定形状和尺寸的金属试样装在拉力试验机上,对试样缓慢施加拉力,使试样随拉力的逐渐增加而不断变形,直至拉断为止。根据试样在拉伸过程中承受的载荷和产生相应变形量的大小,可测定该金属材料的强度和塑性(GB 228-87)。

1. 拉伸试样

为了便于比较各种金属材料的拉伸试验数据,预先将被测试的金属材料按照国家标准(GB 6397-86)规定制成一定形状和尺寸的试样。

国标规定,拉伸试样分为比例试样和定标距试样两种。而试样的横截面形状又分为圆形、矩形和异形三类。图 1-1 为圆形试样。

比例试样是按公式 $L_0 = K \sqrt{S_0}$ 计算确定尺寸的试样。式中, K 通常为 5.65 或 11.3; 试样的标距 L_0 应分别等于 $5D_0$ (或 $5.65 \sqrt{S_0}$) 及 $10D_0$ (或 $11.3 \sqrt{S_0}$)。前者称为短试样,后者称为长试样。而定标距试样其原始标距 L_0 与原始横截面积 S_0 (或直径 D_0) 之间无上述比例关系。

试样的原始标距 L_0 和平行长度 L 应按 GB6397-86 确定。

图 1-1 中:

L ——试样平行长度(mm);

L_0 ——试样原始标距(mm);

D_0 ——圆形试样平行长度部分原始直径或圆管试样原始内径(mm);

r ——带头试样从头部到平行部分的过渡圆弧半径(mm)。

2. 拉伸图

金属试样在进行拉伸试验时,利用实验机自动记录装置可以绘出材料的拉伸曲线图,这种表示拉伸力 F 与变形量 ΔL 关系的图形就称为拉伸图(见图 1-2)。

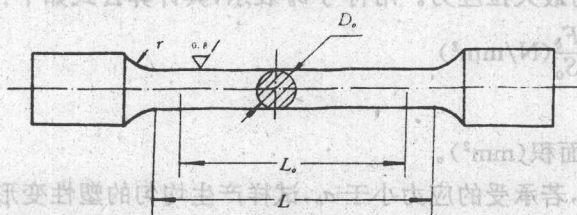


图 1-1 圆形拉伸试样

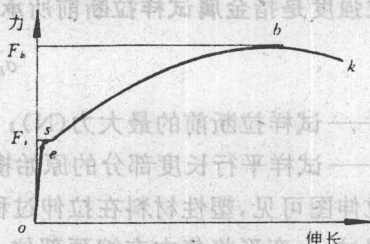


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

由图可见,曲线开始的 oe 段,试样在拉伸力作用下伸长,伸长量与所加拉伸力成正比例关系。这时若卸掉拉伸力,试样将恢复到原有尺寸,即试样在 oe 段处于弹性变形阶段。

当拉伸力继续增加超过 F_s 时,试样将进一步伸长,这时若卸去拉伸力,试样的伸长不能完全消失,即开始出现塑性变形(也称永久变形)。拉伸力超过 F_s 时,试样处于弹—塑性变形阶段。

在拉伸力达到 F_s 时,拉伸曲线出现一小段水平线段,这时拉伸力虽然不再增加,而试样却继续变形,这种现象称为“屈服”。出现屈服现象以后,试样的变形随拉伸力的增加而逐渐增大。当拉伸力达到 F_b 后,试样某一段内横截面积显著地收缩,发生“缩颈”现象。随后发生的变形主要集中在缩颈部位。由于缩颈处截面逐渐减小,导致试样承载能力降低,直至试样断裂(k 点)。

从拉伸试验过程得知,试样受力后的变形和破坏过程一般是:弹性变形→弹、塑性变形→断裂。

二、强度

强度是指金属材料在外力作用下抵抗永久变形和断裂的能力。工程上经常用来衡量金属强度的指标有屈服强度和抗拉强度。

1. 屈服强度(屈服点)

试样在拉伸试验过程中,拉伸力不增加(保持恒定)试样仍能继续伸长时的应力^{*}称为屈服点应力(简称屈服点),用 σ_s 表示,其计算公式如下:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

式中: F_s ——屈服力(N);

S_0 ——试样平行长度部分的原始横截面积(mm^2)。

对于有明显屈服现象的金属材料,如退火状态下的低碳钢和中碳钢,比较容易测定其屈服

* 应力——指试验过程中的力除以试样横截面积的商。

点。但是有些材料如高碳钢、铸铁因没有明显的屈服现象,故无法确定其屈服点。这类材料按 GB 228-87 规定可用非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ 或残余伸长应力 $\sigma_{r0.2}$ 来表示,称为屈服强度。 $\sigma_{p0.2}$ 和 $\sigma_{r0.2}$ 是试样在拉伸过程中标距部分产生 0.2% 塑性变形时的应力值,通常记为 $\sigma_{0.2}$ 。

屈服强度代表材料抵抗微量塑性变形的能力。机械零件一般不允许产生塑性变形,屈服强度是设计零件时选用材料的主要依据。例如,为保证发动机汽缸体和汽缸盖的密封性,缸盖螺栓不允许产生塑性变形,所以在设计缸盖螺栓时就是以屈服强度作为计算依据的。

2. 抗拉强度(强度极限)

抗拉强度是指金属试样拉断前所承受的最大拉应力。用符号 σ_b 表示,其计算公式如下:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} (\text{N/mm}^2)$$

式中: F_b ——试样拉断前的最大力(N);

S_0 ——试样平行长度部分的原始横截面积(mm^2)。

由拉伸图可见,塑性材料在拉伸过程中,若承受的应力小于 σ_b ,试样产生均匀的塑性变形。当应力超过 σ_b ,变形将集中在缩颈部位。所以抗拉强度 σ_b 表示材料抵抗大量均匀塑性变形的能力。低塑性材料在拉伸过程中,一般不产生明显的缩颈现象,因此抗拉强度 σ_b 就是材料的断裂强度,它表示材料抵抗断裂破坏的能力。抗拉强度 σ_b 也是评定金属材料强度的重要指标之一。

工程上选用金属材料时,一般希望有较高的 σ_b ,并希望有一定的屈强比(σ_s/σ_b)。屈强比越小,结构零件的可靠性越高,万一超载,由于塑性变形可使零件不至于突然断裂。但如果比值太低,则材料强度的有效利用率太低。因此,在实际选材时,为了得到较高的材料强度有效利用率,往往选择较高的屈强比。碳钢的屈强比一般为 0.6 左右,低合金钢一般为 0.65~0.75,合金结构钢一般为 0.85 左右。

三、塑性

塑性是指金属材料在外力作用下,断裂前发生不可逆永久变形的能力。常用的塑性指标有断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率(延伸率)

试样拉断后,标距的伸长量与原始标距的百分比称为断后伸长率。用符号 δ 表示,可按下式计算

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中: L_0 ——试样原始标距(mm);

L_1 ——试样拉断后的标距(mm),见图 1-3。

同一种材料,短试样与长试样所测得的断后伸长率不同。为了便于区别,将短比例试样和长比例试样的断后伸长率分别用符号 δ_5 和 δ_{10} 表示,对于同一种材料 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。对定标距试样的断后伸长率,则应在其右下角加注标距数值。如 $L_0=100\text{mm}$ 或 200mm ,其断后伸长率应分别记为 $\delta_{100\text{mm}}$ 或 $\delta_{200\text{mm}}$ 。

2. 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后,缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比。以符号 ψ 表示,用下式计算:

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

式中: S_0 ——试样平行长度部分的原始横截面积(mm^2);

S_1 ——试样拉断后缩颈处的最小横截面积(mm^2)。

金属材料的断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 的数值越大, 材料的塑性越好。

金属材料塑性的好坏, 对零件的加工工艺和使用都具有重要意义。例如低碳钢的塑性好, 可进行压力加工; 高碳钢塑性较差, 不宜用于压力加工。由于材料具有一定的塑性, 它能保证零件在使用过程中虽稍有超载而不致突然断裂。因此, 对机械零件的塑性指标均有一定的要求。

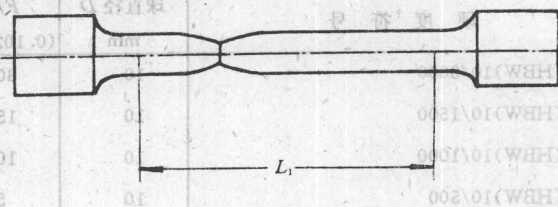


图 1-3 试样的伸长量

第二节 硬 度

硬度是指金属材料抵抗局部变形, 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力, 是衡量金属软硬的依据。一般情况下, 材料的硬度越高, 摩擦时磨损量越小, 材料的耐磨性越好。硬度还与材料的工艺性能有关, 它可作为选择工艺的参考。因此, 硬度也是金属材料重要的性能指标之一。

在生产上多采用压入法测定金属材料的硬度。用压入法测定硬度的试验设备比较简单, 操作方便、迅速。

常用的硬度试验方法有布氏硬度试验法、洛氏硬度试验法和维氏硬度试验法等。

一、布氏硬度试验法

布氏硬度试验, 是用一定直径的钢球或硬质合金球以相应的试验力压入试样表面, 按规定保持一定时间后卸除试验力, 然后用测量的试样表面压痕直径计算硬度的方法(见图 1-4)。

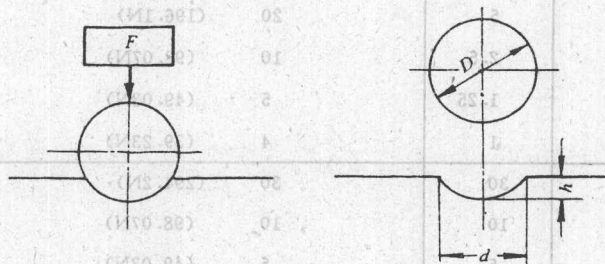


图 1-4 布氏硬度试验原理示意图

布氏硬度值是用球面压痕单位面积上所承受的平均压力表示, 一般用符号 HB 代表。用下式计算:

$$HB = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中: F ——试验力(N);

D ——球体直径(mm);

d ——压痕平均直径(mm);

或

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中: F ——试验力(kgf);

D, d 同前式。

布氏硬度符号根据试验所用压头不同可以写为 HBS 或 HBW。国标规定, 当压头为钢球时, 用符号 HBS 表示(适用于布氏硬度值在 450 以下的材料); 当压头为硬质合金球时, 用符号 HBW 表示(适用于布氏硬度值在 650 以下的材料)。标写布氏硬度时, 在符号 HBS 或 HBW 前

布氏硬度试验的试验力(GB231-84)

表 1-1

硬 度 符 号	球直径 D	F/D^2	试验力 F	
	mm	($0.102F/D^2$)	kgf	
HBS(HBW)10/3000	10	30	3000	(29.42kN)
HBS(HBW)10/1500	10	15	1500	(14.7kN)
HBS(HBW)10/1000	10	10	1000	(9.807kN)
HBS(HBW)10/500	10	5	500	(4.903kN)
HBS(HBW)10/250	10	2.5	250	(2.452kN)
HBS(HBW)10/125	10	1.25	125	(1.226kN)
HBS(HBW)10/100	10	1	100	(980.7N)
HBS(HBW)5/750	5	30	750	(7.355kN)
HBS(HBW)5/250	5	10	250	(2.452kN)
HBS(HBW)5/125	5	5	125	(1.226kN)
HBS(HBW)5/62.5	5	2.5	62.5	(612.9N)
HBS(HBW)5/31.25	5	1.25	31.25	(306.5N)
HBS(HBW)5/25	5	1	25	(245.2N)
HBS(HBW)2.5/187.5	2.5	30	187.5	(1.839kN)
HBS(HBW)2.5/62.5	2.5	10	62.5	(612.9N)
HBS(HBW)2.5/31.25	2.5	5	31.25	(306.5N)
HBS(HBW)2.5/15.625	2.5	2.5	15.625	(153.2N)
HBS(HBW)2.5/7.813	2.5	1.25	7.813	(76.61N)
HBS(HBW)2.5/6.25	2.5	1	6.25	(61.29N)
HBS(HBW)2/120	2	30	120	(1.777kN)
HBS(HBW)2/40	2	10	40	(392.3N)
HBS(HBW)2/20	2	5	20	(196.1N)
HBS(HBW)2/10	2	2.5	10	(98.07N)
HBS(HBW)2/5	2	1.25	5	(49.03N)
HBS(HBW)2/4	2	1	4	(39.23N)
HBS(HBW)1/30	1	30	30	(294.2N)
HBS(HBW)1/10	1	10	10	(98.07N)
HBS(HBW)1/5	1	5	5	(49.03N)
HBS(HBW)1/2.5	1	2.5	2.5	(24.52N)
HBS(HBW)1/1.25	1	1.25	1.25	(12.26N)
HBS(HBW)1/1	1	1	1	(9.807N)

注:根据材料和布氏硬度范围按表 1-2 选择 F/D^2 值。

面用数字表示其硬度值,符号后面还应按顺序用数值表示出试验条件。试验条件包括球体直径、试验力、试验力保持时间(单位为秒,按规定 10~15 秒不予标注)。

如 120HBS10/1000/30 表示用直径 10mm 钢球,在 1000kgf(9.807kN)试验力作用下,保持 30 秒钟测得的布氏硬度为 120kgf/mm²(≈1200N/mm²)。

又如 500HBW5/750 表示用直径 5mm 硬质合金球,在 750kgf(7.355kN)试验力作用下,保持 10~15 秒钟测得的布氏硬度值为 500kgf/mm²(≈5000N/mm²)。

试验时,应选用表 1-1 中规定的试验力进行试验。

F/D² 值的选择(GB231-84)

表 1-2

材 料	布 氏 硬 度	F/D ²
钢及铸铁	<140	10
	>140	30
铜及其合金	<35	5
	35~130	10
	>130	30
轻金属及其合金	<35	2.5(1.25)
	35~80	10(5 或 15)
	>80	10(15)
铅、锡		1.25(1)

注:当试验条件允许时,应尽量选用 10mm 球。

当有关标准中没有明确规定时,应使用无括号的 F/D² 值。

黑色金属试验力保持时间为 10~15 秒;有色金属为 30±2 秒;布氏硬度小于 35 时为 60±2 秒(GB231-84)。

在进行布氏硬度试验时,一般只需用带刻度的放大镜测出压痕平均直径(*d*),根据该直径、F/D² 和试验力(*F*)查金属布氏硬度数值表,可直接得出布氏硬度数值,见附录一金属布氏硬度(HB)数值表。也可以按硬度计算公式计算得出。通常不标注单位。

由于布氏硬度试验测出的数值准确、稳定,因此常用于测定铸铁、有色金属及其合金、低合金结构钢,以及退火、正火、调质工件的硬度。缺点是不宜用于测定高硬度材料,也不能用于测定厚度太薄或表面不允许有较大压痕的工件。

二、洛氏硬度试验法

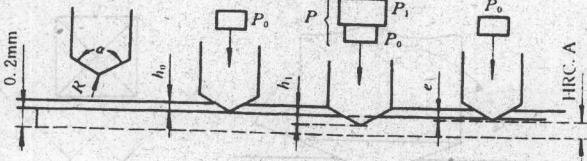


图 1-5 洛氏硬度试验原理示意图

洛氏硬度试验,是用顶角为 120°的金刚石圆锥或直径为 1.588mm 的钢球作为压头进行试验的。试验时不是测量压痕的直径,而是测量压痕的深度,并以其深度大小计算材料的硬度。试验时,先加初载荷 *P*₀(*P*₀=10kgf 或 98.1N),使压头紧密接触试件表面,再加主

载荷 *P*₁。压头在总载荷 *P*(*P*=*P*₀+*P*₁)的作用下压入金属表面。卸除主载荷 *P*₁后,在初载荷下用测量所得的压痕深度值(*e*)计算洛氏硬度(见图 1-5)。实际测量时,我们可以从洛氏硬度计的刻度盘上直接读出硬度值(无单位),而不必再进行计算。测量所得的压痕越深、刻度盘硬度指示值越小,说明材料越软,反之,压痕越浅,硬度指示值越大,则材料越硬。

洛氏硬度用符号 HR 表示,符号后面的字母表示所使用的标尺,字母后面的数值表示硬度值。如 HRC50。表示用 C 标尺测得的洛氏硬度值为 50。

根据不同的测试对象,洛氏硬度试验法可采用不同的压头和载荷。根据压头和载荷的不同,标尺又分为 A、B、C 三种(见表 1-3)。

常用的三种洛氏硬度试验范围(摘自 GB230-83) 表 1-3

标尺	压头类型	初载荷 kgf(N)	主载荷 kgf(N)	测量范围	应用举例
HRA	金刚石圆锥体	10(98.1)	50(490.3)	60~85	硬质合金、表面淬硬层或渗碳层
HRC	金刚石圆锥体	10(98.1)	140(1373)	20~67	一般淬火钢件
HRB	钢球	10(98.1)	90(882.6)	25~100	有色金属及其合金,退火、正火钢

洛氏硬度试验法操作简便,压痕小。使用不同压头和载荷可测试较软材料和较硬材料的硬度,所以在生产中广泛应用于成品的检验。但是对于组织和硬度不均匀的材料,因其压痕小,所测得的硬度值波动较大,所以规定每个试样上的试验点数均不得少于 4 点(第一点不记),取其平均值为试样的洛氏硬度。对于大批量试样的检验,点数可以适当减少。同时还规定试样上两相邻压痕的中心距离或任一压痕中心与试样边缘的距离不得小于 3mm,特殊情况下,这个距离也不应少于压痕直径的 3 倍。测试较薄工件或表面硬化层较薄的工件时,试样和试验层最小厚度应不小于 10e。

三、维氏硬度试验简介

维氏硬度试验规定,用相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石压头,以选定的试验力压入试样表面,保持一定时间后卸除试验力,测量压痕两对角线长度(如图 1-6 所示),用单位压痕表面积上所承受的平均压力表示维氏硬度值。维氏硬度用符号 HV 表示。以下式计算:

$$HV = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

式中: F ——试验力(N);

d ——压痕两对角线的算术平均值(mm)。

维氏硬度值也可以根据压痕对角线平均值,从 GB 4340-84 的附录 D 中查表直接得出。

维氏硬度的表示方法为:以 HV 前面的数字表示硬度值,以 HV 后面的一组数字表示试验条件。试验条件数字的顺序是试验力和试验力保持时间(10~15 秒按规定不予标注)。如 640HV30,表示用 30kgf(294.2N)试验力,保持 10~15 秒钟(不标注)测定的维氏硬度值为 640kgf/mm²(≈ 6400N/mm²)。

由于维氏硬度试验所用的压头为金刚石四棱锥,常用的试验力有 5、10、20、30、50、100kgf,虽压入深度浅,但压痕轮廓清晰,所测数据较为精确,用于测定从极软到极硬的金属材料,范围为 HV8~1000(约为 80~10000N/mm²)。维氏硬度试验法常用于极薄零件和零件的渗碳层、渗氮层的硬度测定。维氏硬度试验的缺点是测量麻烦,对试样表面质量要求高。

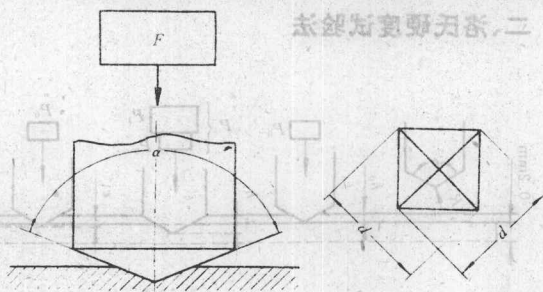


图 1-6 维氏硬度试验原理示意图