



技工学校机械类通用教材

热处理工艺学

RECHULI GONGYIXUE

机械工业出版社

技工学校机械类通用教材

热处理工艺学

技工学校机械类通用教材编审委员会 编



机械工业出版社

本书系统地介绍了热处理基本理论和操作知识。全书共分六篇,二十五章,内容包括金属学知识、热处理原理及基本工艺、合金钢及其热处理、钢的表面热处理、铸铁和有色金属的热处理以及常用热处理设备和测温仪表。

本书由蒋大麟、顾应安、沈铎、林约利同志编写,并经朱培瑜、杨玉芬、王永甫、郝连瑞同志审稿。

热 处 理 工 艺 学

技工学校机械类通用教材编审委员会 编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

上海商务印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张 33 1/4 ·字数 817 千字

1980 年 8 月上海第一版·1980 年 8 月上海第一次印刷

印数 000,001—100,000·定价 2.25 元

*

统一书号: 15033·4961

前 言

建国以来,我国的技工教育事业曾得到很大发展。技工学校的广大干部、教师辛勤劳动,努力工作,积累了不少教学经验,并编写过一套比较完整的技工学校教材,对保证教学质量,培训合格的技术工人,支援祖国的社会主义建设,发挥过积极的作用。

文化大革命中,由于林彪、“四人帮”对我国教育事业的严重破坏,技工学校的教学文件和设备几乎损失殆尽,教师队伍备受摧残。

粉碎“四人帮”以后,技工学校迅速得到恢复和发展,对教学计划、教学大纲和教材的需要均甚感迫切。

为了满足教学需要,不断提高技工学校的培训质量,加速实现我国的四个现代化,国家劳动总局和第一机械工业部委托上海市劳动局、上海市第一机电工业局负责全国机械类技工学校教材的编写工作。这次编写的教材共十九种。计有:语文、数学、物理、化学、工程力学、机械基础、金属工艺学、电工与电子基础、机械制图、车工工艺学、钳工工艺学、铣工工艺学、磨工工艺学、刨工工艺学、铸工工艺学、锻工工艺学、木模工艺学、焊工工艺学、热处理工艺学。这套教学计划、教学大纲和教材,分别适用于二年制(招收高中毕业生)和三年制(招收初中毕业生)技工学校(其中数学、语文、物理、化学主要是供招收初中毕业生的学校使用的)。

在教学计划、教学大纲和教材的编写中,我们在坚持以生产实习教学为主的原则的同时,还强调了基本理论和基本技能的训练,注意了新技术新工艺的吸收。在教学计划说明中,对各门课程的授课目的,提出了明确的要求,以便使这套教学文件能更好地适应四个现代化的需要。

由于编写时间仓促,加之编写经验不足,这套教材还存在不少缺点和错误,我们恳切地希望同志们在试行中提出批评指正,以便作进一步的修改。

技工学校机械类通用教材编审委员会

一九七九年五月

目 录

第一篇 金属学基础知识

第一章 金属材料的基本性能	1
§ 1-1 金属与合金的概念	1
§ 1-2 金属材料的物理性能	2
§ 1-3 金属材料的化学性能	4
§ 1-4 金属材料的机械性能	4
§ 1-5 金属材料的工艺性能	15
复习题	16
第二章 纯金属的结构与结晶	17
§ 2-1 金属的晶体结构	17
§ 2-2 纯金属的结晶	22
§ 2-3 纯铁的同素异构转变	23
复习题	25
第三章 合金的构造和结晶	26
§ 3-1 基本概念	26
§ 3-2 合金中的相组织	26
§ 3-3 二元合金状态图概述	29
§ 3-4 二元合金状态图的基本类型	31
§ 3-5 二元合金状态图的分析 and 应用	39
复习题	42
第四章 铁碳合金	43
§ 4-1 铁碳合金中的基本相	43
§ 4-2 铁碳合金状态图	44
§ 4-3 含碳量对铁碳合金组织和性能的影响	51
§ 4-4 碳钢	53
复习题	56
第五章 合金钢基本知识	57
§ 5-1 概述	57
§ 5-2 合金元素在钢中的作用	58
§ 5-3 合金钢的分类和编号	62
复习题	63
第六章 钢的生产加工过程对钢组织和性能的影响	64
§ 6-1 冶炼过程对钢的组织和性能的影响	64
§ 6-2 铸造过程对钢的组织和性能的影响	66
§ 6-3 压力加工过程对钢组织和性能的影响	68
§ 6-4 金属组织及缺陷的研究方法	74
复习题	75

第二篇 钢的热处理原理及工艺

第七章 钢的加热	76
§ 7-1 钢在加热时的组织转变.....	77
§ 7-2 奥氏体形成速度的影响因素.....	81
§ 7-3 合金元素对奥氏体形成的影响.....	82
§ 7-4 奥氏体的晶粒度.....	83
§ 7-5 钢的加热工艺.....	87
§ 7-6 钢加热时的缺陷.....	94
复习题.....	101
第八章 奥氏体在冷却时的转变	102
§ 8-1 过冷奥氏体的等温转变.....	102
§ 8-2 过冷奥氏体的连续冷却转变.....	106
复习题.....	108
第九章 钢的退火和正火	109
§ 9-1 退火和正火的目的.....	109
§ 9-2 钢退火和正火时的组织转变——珠光体转变.....	109
§ 9-3 珠光体转变产物的组织形态及性能特点.....	112
§ 9-4 钢的退火工艺.....	113
§ 9-5 钢的正火工艺.....	118
§ 9-6 退火与正火的选择.....	120
复习题.....	120
第十章 钢的淬火	121
§ 10-1 淬火目的.....	121
§ 10-2 钢淬火时的组织转变——马氏体转变.....	121
§ 10-3 钢的淬火工艺.....	128
§ 10-4 钢的等温淬火.....	138
§ 10-5 钢的淬透性.....	143
§ 10-6 淬火变形与裂纹.....	145
复习题.....	155
第十一章 淬火钢的回火	156
§ 11-1 淬火钢回火的目的.....	156
§ 11-2 淬火碳钢回火时的组织转变.....	156
§ 11-3 淬火碳钢的回火组织.....	160
§ 11-4 淬火碳钢回火后的机械性能.....	161
§ 11-5 合金元素对回火过程的影响.....	163
§ 11-6 回火脆性.....	164
§ 11-7 钢的回火工艺.....	165
复习题.....	169

第三篇 合金钢及其热处理

第十二章 结构钢及其热处理	170
----------------------------	------------

§ 12-1 调质钢及其热处理	170
§ 12-2 弹簧钢及其热处理	189
§ 12-3 滚动轴承钢及其热处理	194
复习题	201
第十三章 工具钢及其热处理	202
§ 13-1 碳素工具钢及其热处理	202
§ 13-2 合金刀具钢及其热处理	211
§ 13-3 高速钢及其热处理	220
§ 13-4 模具钢及其热处理	248
§ 13-5 量具钢及其热处理	264
复习题	267
第十四章 不锈钢、耐热钢及其热处理	268
§ 14-1 金属腐蚀的基本知识	268
§ 14-2 不锈钢的成分、特点及分类	269
§ 14-3 常用不锈钢的热处理	272
§ 14-4 耐热钢	276
复习题	279
第四篇 钢的表面热处理	
第十五章 钢的感应加热表面淬火及火焰表面淬火	280
§ 15-1 感应加热的特点及其在热处理中的应用	280
§ 15-2 感应加热的简单原理	281
§ 15-3 感应加热设备	283
§ 15-4 感应加热表面淬火的组织和性能	285
§ 15-5 感应加热表面淬火工艺参数的选择	288
§ 15-6 感应器的结构及制作原理	295
§ 15-7 高频淬火工艺实例	299
§ 15-8 高频淬火常见缺陷及防止方法	301
§ 15-9 火焰表面淬火	302
复习题	306
第十六章 钢的化学热处理	307
§ 16-1 化学热处理的基本过程	307
§ 16-2 钢的渗碳	308
§ 16-3 钢的渗氮	329
§ 16-4 离子渗氮	346
§ 16-5 钢的碳氮共渗	353
§ 16-6 钢的渗硼	362
§ 16-7 渗金属	363
复习题	367
第十七章 钢的表面处理	368
§ 17-1 发黑处理	368
§ 17-2 磷化处理	374

§ 17-3 蒸气处理	380
复习题	384

第五篇 铸铁及有色金属的热处理

第十八章 铸铁及其热处理	385
§ 18-1 铸铁的分类及其性能特点	385
§ 18-2 铸铁热处理的基本原理	387
§ 18-3 普通灰口铸铁及其热处理	388
§ 18-4 可锻铸铁及其热处理	392
§ 18-5 球墨铸铁及其热处理	395
复习题	401
第十九章 铝及铝合金的热处理	402
§ 19-1 铝及铝合金的性能及分类	402
§ 19-2 铝合金的热处理原理	404
§ 19-3 变形铝合金及其热处理	409
§ 19-4 铸造铝合金及其热处理	419
复习题	427
第二十章 铜和铜合金	428
§ 20-1 工业纯铜	428
§ 20-2 黄铜	429
§ 20-3 青铜	434
复习题	440
第二十一章 镁和镁合金	441
§ 21-1 镁和镁合金的特点、分类与用途	441
§ 21-2 常用镁合金	441
§ 21-3 镁合金的热处理	443
复习题	445
第二十二章 钛和钛合金	446
§ 22-1 钛和钛合金的特点、分类与用途	446
§ 22-2 常用钛合金	448
§ 22-3 钛合金的热处理	449
复习题	451

第六篇 热处理车间常用设备

第二十三章 热处理加热炉	452
§ 23-1 燃料炉	452
§ 23-2 电阻炉	463
§ 23-3 盐浴炉	473
§ 23-4 流动粒子炉	492
复习题	495
第二十四章 筑炉材料	496
§ 24-1 耐火材料的使用性能要求	496

VIII

§ 24-2 常用的耐火材料	497
§ 24-3 常用的保温材料	497
§ 24-4 炉用耐热金属材料	502
复习题	502
第二十五章 热处理测温仪表	503
§ 25-1 热电偶	503
§ 25-2 毫伏计和调节式毫伏计	510
§ 25-3 电子电位差计	512
§ 25-4 光学高温计和辐射高温计	513
复习题	517
附录 钢的火花鉴别	518

第一篇 金属学基础知识

第一章 金属材料的基本性能

§ 1-1 金属与合金的概念

一、金属的一般概念

金属通常是具有光泽、良好的导电性和导热性以及可锻的物质。但不是所有的金属都具有上述特征的。例如金属铍呈脆性,不能经受锻压加工;粉末金属没有金属光泽;金属铋和非金属碳的电阻率区别不大,因此不能以上述特征作为区别金属与非金属的根本标志。实际上金属与非金属的最根本区别在于其原子间的结合方式不同。

众所周知,各种物质都是由无数原子组成的,而原子是由带正电荷的原子核和一定数目绕核运动带有负电荷的电子所组成。金属原子结构的特点是最外层电子数目较少,除少数为3~4个外,一般只有1~2个。并且这些电子与原子核的结合力较弱,容易摆脱原子核的引力脱离外层轨道在金属内部作自由运动,这些电子即称作自由电子。与此同时,失去价电子的金属原子则变成正离子。金属中总是存在着大量的自由电子和正离子。其中正离子按照一定的几何形式规则地排列,并在其固定位置上作微弱的热振动,而自由电子则在正离子之间自由运动,为整个金属中的正离子所共有,形成所谓“电子气”,如图1-1所示。金属就是靠正离子与公有化的自由电子间的相互作用而牢固地结合,金属原子的这种结合方式叫做金属键。

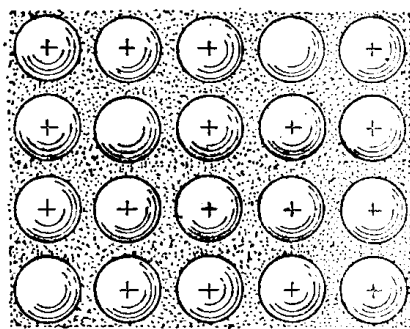


图 1-1 金属结构示意图

根据金属键的简单模型,可以粗略地解释金属的某些特性。例如金属的导电性是在外电压的作用下自由电子作定向运动的结果,当定向运动的自由电子受到偏离平衡位置的金属正离子的阻碍时,在宏观上就表现为电阻。随着温度的升高,正离子的热振动加剧,自由电子作定向运动也将受到更大阻碍,金属的电阻就随着温度升高而增加,因此金属一定具有正的电阻温度系数。可以认为正的电阻温度系数是区别金属与非金属的根本物理特性。

二、合金的一般概念

由一种金属和另外一种或几种金属或非金属所组成的具有金属性质的物质称为合金。工业上用得最多的钢和铸铁就是铁和碳组成的合金。

事实上,由于冶炼的原因并不存在绝对纯的金属,工业上或科研中使用的所谓纯金属都是或多或少地含有某些杂质的。

尽管纯金属具有某些优良的性能,但是在生产实践中主要还是使用各种合金。这不仅是由于纯金属冶炼困难,价格昂贵,更主要的还在于合金往往具有比纯金属更为优越的机械性能,而且还可以通过调整合金成分及其内部结构来满足各种不同的性能要求。

三、金属材料的一般概念

金属和合金统称为金属材料。工业用的金属材料可分为黑色金属和有色金属两大类。以铁为基础形成的合金称为黑色金属材料,如钢和生铁。除此以外的金属材料则统称为有色金属材料,如铜及铜合金、铅及铅合金、铝及铝合金等。

金属材料是现代工农业生产及科学技术发展的重要基础。在机械制造中,大多数的零件都是由各种金属材料制成的。随着零件的工作条件及加工方法不同,必然会对金属材料提出各种不同的性能要求。例如:弹簧需要弹性;刀具要求硬而耐磨;飞机零件要求强度高,重量轻;制造容器的材料要求良好的焊接性能和压延性能等。因此为了合理地使用和加工金属材料以及充分发挥其性能潜力,必须首先了解金属材料的基本性能。

金属材料的基本性能包括使用性能和工艺性能两个方面。所谓使用性能是指材料在工作条件下所必须具备的性能,具体包括机械性能如强度、硬度、弹性、塑性、韧性等;物理性能如导电性、导热性、热膨胀性、磁性等;化学性能如抗氧化性、耐腐蚀性等。所谓工艺性能是指材料对各种加工过程的接受能力和加工的难易程度,它包括铸造性能、压力加工性能、切削性能、焊接性能和热处理性能等。

§ 1-2 金属材料的物理性能

金属材料的物理性能有重度、熔点、导热性、热膨胀性、导电性和磁性等。

一、重度及比容

单位体积的重量称作重度。其单位为克/厘米³(或吨/米³)。常见金属材料的重度如表1-1所列。

重度小于5克/厘米³的金属常称作轻金属。金属材料的重度是很重要的性能,不仅在计算零件的重量时要用到它,更重要的是在达到同样强度的前提下,重度愈小的材料制成的零件就愈轻。飞机上的许多零件及构件所以要采用铝合金或镁合金,其原因就在于它们的重度较小。

表 1-1 常见金属材料的重度

名 称	重度(克/厘米 ³)	名 称	重度(克/厘米 ³)
镁 (Mg)	1.74	金 (Au)	19.32
铝 (Al)	2.7	铂 (Pt)	21.45
锌 (Zn)	7.13	灰 铸 铁	6.8~7.4
锡 (Sn)	7.3	白 口 铁	7.2~7.5
铁 (Fe)	7.87	碳 钢	7.8~7.9
镍 (Ni)	8.9	黄 铜	8.5~8.6
铜 (Cu)	8.96	青 铜	7.4~9.2
银 (Ag)	10.49	铝 合 金	2.55~3.0
铅 (Pb)	11.34	镁 合 金	1.75~1.85

单位重量的体积称作比容。在数值上比容是重度的倒数,单位为厘米³/克。不同的金属材料固然具有不同的比容,但是同一种金属材料由于外界条件(如温度)的变化引起其内部结构的变化,也可能导致其比容变化。在钢的热处理过程中,就往往存在这种情况。

二、熔点

在缓慢加热的条件下,金属或合金由固态转变为液态时的温度称作熔点。纯金属都有固定的熔点,也即它是在恒定温度下开始和结束熔化过程的。合金则是在一个温度范围内实现其熔化过程的。

熔点对于某些热处理温度的选择;铸造时熔化金属,压力加工时锻造温度范围的选择以及焊接等都很重要。常用金属和合金的熔点列于表 1-2。

表 1-2 几种金属材料的熔点

名 称	熔 点 (°C)	名 称	熔 点 (°C)
钨 (W)	3380	铝 (Al)	660
钼 (Mo)	2625	镁 (Mg)	650
钛 (Ti)	1677	锌 (Zn)	419
铬 (Cr)	1903	铅 (Pb)	327
钒 (V)	1910	锡 (Sn)	232
铁 (Fe)	1538	灰 铸 铁	约 1200
镍 (Ni)	1453	白 铸 铁	约 1130
钴 (Co)	1492	碳 钢	1450~1500
硅 (Si)	1412	青 铜	760~1064
锰 (Mn)	1244	黄 铜	865~950
铜 (Cu)	1083	铝 合 金	447~575
金 (Au)	1063	镁 合 金	590~635
银 (Ag)	960		

三、导热性

金属传导热量的能力称作导热性。一般用导热系数 λ 来表示。单位是卡/米·秒·°C。它的物理意义是单位长度金属上温差为 1°C 时,单位时间内通过单位面积,由高温传递到低温端的热量。

金属材料的导热系数愈大说明导热性愈好。一般说来金属愈纯,其导热性能也愈好。在金属中即使含有少量杂质时,也会显著地影响它的导热能力。因此合金钢的导热性一般都比碳钢低;而且当钢中含有合金元素越多时,导热性能也就越差。导热性对热处理很重要,因为金属材料在加热或冷却过程中,表面和中心的温度差别就是取决于其导热性能的好坏。

四、热膨胀性

金属物体随温度升高而产生体积膨胀的性能称作热膨胀性。通常用线胀系数 α 表示。温度每升高 1°C 时,金属材料所增加的长度与其原来长度之比称作线胀系数,单位是 1/°C。

各种金属材料的线胀系数是不一样的,线胀系数愈大时,热胀冷缩也就愈大。所以线胀系数大的材料在加热冷却过程中会引起较大的变形。

表 1-3 几种金属的线胀系数

名 称	线胀系数(10 ⁻⁶ /°C)	名 称	线胀系数(10 ⁻⁶ /°C)
锌 (Zn)	39.5	铜 (Cu)	17.0
铅 (Pb)	29.3	镍 (Ni)	13.4
镁 (Mg)	24.3	铁 (Fe)	11.76
锡 (Sn)	23.0	铬 (Cr)	6.2
铝 (Al)	23.6	钨 (W)	4.6

表 1-3 中所列的线胀系数是在常温下测定的数值。金属材料的线胀系数不是一个恒定值,它是随温度而改变的。

五、导电性

金属材料传导电流的能力称导电性。导热性好的金属材料其导电性也必然好。一般说来,金属材料都具有较好的导电性能,尤以银为最佳,其次是铜和铝。如果以银的导电性作为 100,则铜的导电性为 94,铝为 55,铁为 2,而钛的导电性只有 0.3。

导电性和导热性一样,是随着合金成分的复杂化和合金元素数量的增加而降低的。因而合金总是比纯金属具有更大的电阻。合金的电阻愈大,则通过电流时产生的热量也愈大。热处理电阻炉所用的电热丝就是采用高电阻的合金材料制成的。

六、磁性

能够与磁铁相吸引的性能称铁磁性。具有磁性的金属称铁磁性金属。铁和铁的合金(包括钢和铸铁)具有明显的磁性。镍和钴也有磁性,但远不如铁和铁合金。

铁磁性金属的磁性只存在于一定的温度范围内,在高于一定温度时,其铁磁性将会消失。如铁的磁性在温度高于 770°C 时即行消失。

§ 1-3 金属材料的化学性能

多数金属材料会与它周围的介质发生化学作用而使其表面被破坏,如钢铁的生锈,铜会产生铜绿等。这种现象称作锈蚀或腐蚀。其原因是由于这些金属材料与空气中的氧、水分、碳酸气等发生化学作用的结果。此外,一些有害气体如二氧化硫等,也能和金属材料起化学作用,从而产生破坏金属材料的腐蚀作用。至于金属材料和酸碱直接接触时,将会产生更加剧烈的化学作用,因而引起严重的腐蚀。

金属材料抵抗上述各种介质腐蚀的能力称作耐蚀性或耐酸性。

此外,金属材料在高温加热时,由于高温以及周围介质中氧的作用,会使表面强烈氧化而形成氧化皮,从而造成金属材料的损失。金属材料在高温下抵抗产生氧化皮的能力称作抗氧化性。

金属材料的化学性能就是指它在室温或高温下抵抗外界介质对它化学侵蚀的能力。对于在腐蚀性介质中工作的机械设备及零件,必需要求一定的化学性能。一般金属材料的耐蚀性和抗氧化性都不是很好的。为了满足化学性能的要求,必须使用特殊的合金钢及某些有色金属。

§ 1-4 金属材料的机械性能

一、载荷及其分类

金属材料在进行各种加工时,以及制成零件或工具后在工作时都要受到不同外力的作用,外力通常又称作负荷或载荷。由于外力的作用而引起其尺寸、形状的改变称作变形。

外加于金属材料的载荷有大有小,有静止的和冲击的,有变化的和不变化的。随着载荷对金属材料作用的方式、速度、持续性的各不相同,载荷对材料所造成的破坏损害作用也各不相同。根据载荷对材料所造成的变形趋向,可将载荷区分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、扭

转载荷和剪切转载荷。

1. 拉伸转载荷 大小相等方向相反,作用在一条直线上并使物体有伸长趋势的转载荷称作拉伸转载荷(见图 1-2a)。如螺栓即受拉伸转载荷。

2. 压缩转载荷 大小相等方向相反,作用在一条直线上并使物体有缩短趋势的转载荷称作压缩转载荷(见图 1-2b)。如千斤顶中的起重螺旋即受压缩转载荷。

3. 弯曲转载荷 使物体有弯曲变形趋势的转载荷称作弯曲转载荷(见图 1-2c)。物体弯曲变形时,其凹入部分受压趋向缩短,而凸出部分则受拉趋向伸长;并且愈接近表层处它所受的拉力与压力也愈大。如车轴、机床手柄等即受弯曲转载荷。

4. 扭转载荷 使物体绕其轴线转动的转载荷称作扭转载荷(见图 1-2d)。如机床的传动轴即受扭转载荷。

5. 剪切转载荷 作用在物体受力面切线方向上的转载荷称作剪切转载荷(见图 1-2e)。如物体被剪刀剪断时及铆钉等即受剪切转载荷。

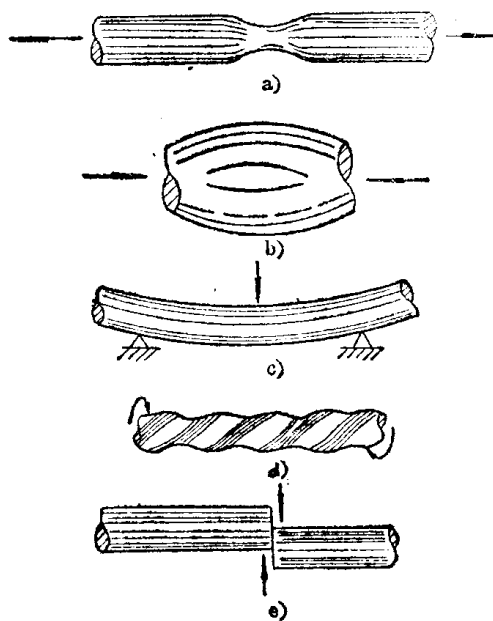


图 1-2 转载荷按变形的分类

a) 拉伸 b) 压缩 c) 弯曲 d) 扭转 e) 剪切

根据转载荷作用于金属材料的速度和持续性,可将转载荷区分为静转载荷和动转载荷(包括冲击转载荷与交变转载荷)。

1. 静转载荷 静转载荷是缓慢地逐渐加于物体上的大小不变,或变动很少很慢的转载荷。如机床作用于地面的压力,热处理冷却水槽所受到的水压力等都是静转载荷。

2. 冲击转载荷 以比较快的速度突然加到受力物体上的转载荷叫冲击转载荷。如内燃机汽缸气体膨胀时对连杆的作用力,锻锤对锻件的作用力等都属于冲击转载荷。显然,冲击转载荷对材料的破坏作用远远大于静转载荷。

3. 交变转载荷 外力的大小、方向或大小和方向随时间作反复周期性变化的转载荷称作交变转载荷。如车轴、齿轮的齿根、滚珠轴承内的滚珠、汽缸盖的螺钉等所受的转载荷都是交变转载荷。交变转载荷对材料的破坏作用比静转载荷大。

二、应力及应力集中

拉长的橡皮筋放松后即会弹回来,卷紧的钟表发条要恢复其原来形状而不断放松,这些现象不单是说明了材料在外力作用下会产生变形,而且还说明材料在外力去除后有消除变形恢复原状的趋向和能力。根据这个现象,显然可以想象材料内部应该有个与外力起相反作用的力在作用着。事实上当材料受外力作用时,其内部必然会相应产生一个抵抗力,力图保持原状。这个力即称作内力,它的大小与外力相等,方向则与外力相反,和外力保持平衡,并随外力的增大而增大。不过内力的增大有一定的限度,超过这一限度,内力即不能再与外力保持平衡,此时材料即被外力损害或破坏。

内力是作用于整个受力物体内部的,单位面积上的内力即称作应力。如果应力是均匀地分布在截面上的,则应力就等于总的内力除以其截面积,因为内力和外力的大小相等,所以应力的大小可用单位面积上所受的外力来表示。

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

式中 σ ——应力(公斤力/毫米²);

P ——载荷(公斤力);

F ——受力面积(毫米²)。

若应力不与受力截面垂直或平行时,则可分解为垂直于截面和沿截面切线方向的两个分力(图 1-3),前者称正应力以 σ 表示,后者称切应力以 τ 表示。

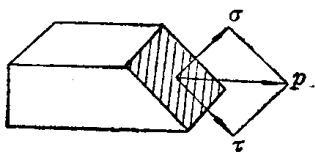


图 1-3 内应力的分解

σ —正应力 τ —切应力

必须指出,内应力往往不是均匀地分布于整个截面上的,如材料受扭转或弯曲时即是如此。在这种情况下由上述公式求得的应力只表示整个截面上的平均应力。

特别需要指出,如果零件截面有突变,当有孔或沟槽等存在时,那么在截面突变区域内,应力不仅是不均匀分布,而且在孔和孔槽附近的一定范围内应力显著升高,可以比其平均应力高几倍(图 1-4)。这种应力局部增大的现象即称为应力集中。显然应力集中对零件的安全使用是不利的。

三、机械性能的含义

金属材料在外力作用下表现出来的抵抗外力作用的特性称为机械性能或力学性能。

金属材料的机械性能包括强度、硬度、弹性、塑性和韧性等。

1. 强度 金属材料对外力作用所引起的变形或断裂的抵抗能力称作强度。随外力作用性质的不同,分别有抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗扭强度等。其中以抗拉强度为工程上最常用的强度指标。

2. 硬度 粗浅地说,硬度是表示金属材料的软硬程度。实质上,硬度是反映了材料抵抗变形的能力。一般说来,材料硬度越高,即越不易变形,而且也越耐磨。

3. 弹性和塑性 金属材料在外力作用下,首先会或多或少地产生一些变形。除了变形的大小外,在外力去除后,其变形能否随之而消失或被保留下来也是值得注意的,这反映了材料的弹性和塑性。

金属材料受外力作用时产生变形,当外力去除后,变形即随之消失,材料恢复到原来形状的性能称弹性。这种随外力去除而消失的变形称作弹性变形。

金属材料在外力作用下变形而不致引起破坏,当外力去除后,仍能使其变形保留下来的性能称作塑性。这种在外力去除后能保留下来的永久变形称作塑性变形。

4. 韧性 金属材料在外力作用下,断裂前所吸收的能量(即外力对物体所作的功)称作韧性。韧性反映了金属材料抵抗冲击破坏的能力。

四、金属材料的机械性能试验

金属材料的机械性能既是机械制造中合理选用和正确评价材料的主要依据,又是设计材料以及制订热处理和冷热加工工艺以提高或改变材料性能的主要依据。

表示金属材料各种机械性能的具体数据是通过专门的试验进行测定的。最常用的是静拉伸试验、硬度试验和冲击试验等。

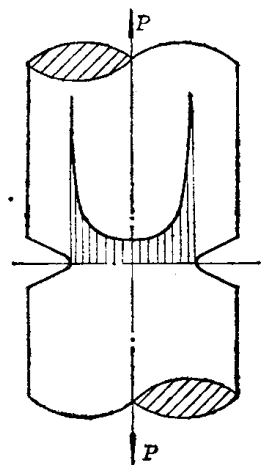


图 1-4 应力集中示意图

1. 静拉伸试验

静拉伸试验是对一定形状和尺寸的试样在专门的试验机上施加缓慢递增的轴向拉伸载荷,使试样不断产生变形,直到试样拉断为止。

为了排除因试样形状及尺寸不同所造成的影响并便于分析比较,对静拉伸试验试样的形状尺寸有一定的规定。图 1-5 即为最常用的圆截面拉伸试样。直径 d_0 通常为 3~25 毫米,一般多采用 10 毫米,其计算长度 l_0 规定为直径的 5 倍或 10 倍。

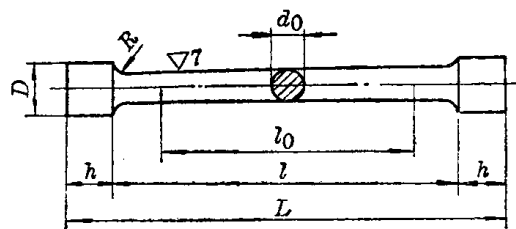


图 1-5 静拉伸试验的圆试样

静拉伸试验时,在连续增加的轴向拉伸载荷作用下,试样将不断产生变形而伸长直至断裂,如果将载荷值以及与每个载荷所对应的试样伸长值,记录在直角坐标系中,就可以描绘出一条表示载荷与绝对变形间相互关系的曲线。这条曲线称作拉伸曲线。

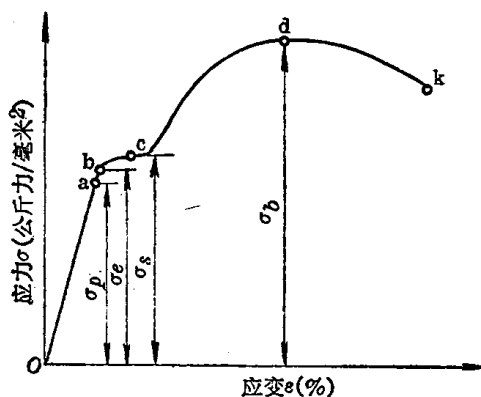


图 1-6 低碳钢的拉伸曲线图

为了消除试样尺寸的影响,便于相互比较,常采用以 $\varepsilon = \Delta l / l_0$ (Δl ——试样的总伸长, l_0 ——试样的原长; $\Delta l / l_0$ 称为相对伸长或应变) 为横坐标和以应力 $\sigma = P / F_0$ (P ——试样的拉力, F_0 ——试样原来截面积) 为纵坐标作出的拉伸曲线(亦称应力——应变图)。图 1-6 是低碳钢的拉伸曲线图。根据此拉伸曲线,不仅可以了解外力对金属作用的一般过程,而且可以借此得出材料的多种机械性能指标。

(1) 比例极限 曲线上 Oa 线段是直线,在该范围内材料处于弹性变形阶段,而且其应力和应变成正比关系。点 a 是直线最高点,过 a 点后应力与应变不再成正比关系。相应于 a 点的应力即称作比例极限,以 σ_p 表示。比例极限是应力与应变保持成正比关系的最大应力。

(2) 弹性极限 过 a 点后,变形的速度稍为加快,且不再与应力成正比关系,但还属于弹性变形范围。超过 b 点,即开始出现塑性变形。对应于 b 点的应力即称为弹性极限,以 σ_e 表示。弹性极限是不产生塑性变形的最大应力。

由上所述,可知弹性极限与比例极限二者的意义各不相同,但是由试验得到的二者数值极为接近,所以实践中有时不将两者加以严格区分。

(3) 屈服极限 过 b 点以后,材料进入塑性变形阶段。到了 c 点在拉伸曲线上出现一近于水平的线段,这意味着此时应力几乎没有变化或变化很小,但变形却显著增加,好象材料屈服于载荷而自行伸长,这一现象称作屈服现象。屈服现象是材料由弹性变形过渡到塑性变形的标志。出现屈服现象(也即开始出现明显的塑性变形)时的应力称作屈服极限,以 σ_s 表示。

必须指出:高碳钢、高合金钢以及某些淬过火的钢往往没有明显的屈服现象。此时即人为规定当试样的残余变形量相当于试样原长的 0.2% 时的应力称作屈服极限(也常称作条件屈服极限),并以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

(4) 抗拉强度 过了 c 点,试样的变形量必须随着载荷的增大才行增大,形成了曲线的凸出部分。到了 d 点应力达最大值,此后材料即开始破坏。因此 d 点的应力是材料在破坏前所能承受的最大应力,称作抗拉强度,以 σ_b 表示。



图 1-7 颈缩现象

曲线图上的应力都是以拉伸前试样原来的截面积 F_0 为依据, 而且将它当作不变的。事实上试样受拉伸长后, 显然其断面必将有所收缩, 在 d 点以前整个试样是均匀伸长的, 因而试样各截面的收缩也是均匀的。但当载荷达最大值后, 其变形即不再是均匀的, 而是显著地集中在试样的某一部分, 从而导致该部分试样截面局部显著缩小, 出现“颈缩”现象(图 1-7)。由于颈缩处断面的迅速减小, 所以尽管应力(真实应力)仍在继续增加, 但载荷却反而减小, 形成了图上曲线向下的 dk 线段。最后试样在 k 点发生断裂。

以上所述这些指标都是表示材料的强度特性的。

(5) 伸长率和断面收缩率 试样受拉断裂后, 由于产生了塑性变形, 导致试样长度增加, 断面缩小。显然在断裂前的变形量愈大, 即意味着材料塑性愈好。由于试样的尺寸可以各不相同, 所以为了说明及比较材料的变形程度, 应该以单位长度的伸长(相对伸长)和单位面积的收缩(相对收缩)来表示。前者称作伸长率, 以 $\delta\%$ 表示, 后者称作断面收缩率, 以 $\psi\%$ 表示。

伸长率按下式计算:

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

式中 l_0 ——试样原来计算长度(毫米);

l ——试样断裂后长度(毫米)。

断面收缩率按下式计算:

$$\psi\% = \frac{F_0-F}{F_0} \times 100\%$$

式中 F_0 ——试样原来的截面积(毫米²);

F ——试样断裂处的截面积(毫米²)。

伸长率 $\delta\%$ 和断面收缩率 $\psi\%$ 表示了材料塑性的大小。

2. 硬度试验

硬度是指材料表面的变形抗力。由于硬度和其它机械性能之间有着一定的内在关系, 因此可以通过硬度值概略地估价材料的其它机械性能。生产上往往以硬度作为衡量工件的耐磨性和强度的依据。还由于硬度试验简单迅速, 既不需要制备专门的试样, 也不会破坏试件, 所以硬度试验是生产中最常用的一种机械性能试验方法。特别是所有的热处理工件基本上都要进行硬度检验以检查和控制其工艺质量。实际生产中, 硬度试验的方法很多, 最常使用的试验方法有: 布氏硬度试验、洛氏硬度试验、维氏硬度试验及肖氏硬度试验等。

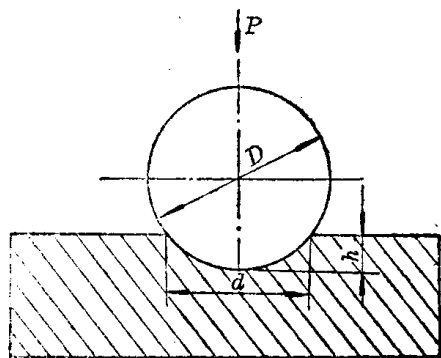


图 1-8 布氏硬度试验原理示意图

(1) 布氏硬度试验 布氏硬度试验的原理是以一定直径 D 的淬硬钢球(D 规定为 10、5 或 2.5 毫米), 在规定载荷(相应为 3000、750 或 187.5 公斤力)作用下压入试样表面(图 1-8), 保持一定时间, 去除载荷后, 必然在试件表面形成一个凹痕, 即以载荷 P 与压痕表面积 F 的比值 $\frac{P}{F}$ 表示其硬度值, 并称作布氏硬度, 以 HB 表示。因此 $HB = \frac{P}{F}$ (公斤力/毫米²), 而

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