

全国高等农业院校试用教材

金属材料及热处理

北京农业机械化学院 主编

农业机械化专业用

农业出版社

TG1
8
3

全国高等农业院校试用教材

金属材料及热处理

北京农业机械化学院 主编

农业机械化专业用

农 业 出 版 社



A 705345

前 言

本教材是根据一九七七年十二月高等农业院校教学计划会议精神，为农业机械化专业而编写的，也供农机类专业使用。

本教材结合农机类专业的目的要求和特点，介绍有关金属学及热处理的基本原理和热处理工艺的基本知识。其主要目的是使学生在实践的基础上，了解金属材料的化学成分、组织与性能之间的关系及变化规律，并利用这些规律，改善金属的性能，合理地选择材料和使用材料。在内容和章节的安排上，先介绍金属的基本知识和热处理原理，然后按碳钢、合金钢、铸铁、有色金属的顺序依次讲述，并适当地反映了新材料、新工艺、新技术，最后还对农机典型零件的材料选择和热处理方案进行分析，使理论尽可能的结合专业实际，由浅入深，循序渐进。在叙述中，力求运用辩证唯物主义的观点，以培养学生的分析问题和解决问题的能力。

参加本教材大纲制订和审稿的有：广西农学院、山东农业机械化学院、山东农学院、内蒙古农牧学院、云南农业大学、东北农学院、甘肃农业大学、江西共产主义劳动大学、吉林农业大学、吉林农业机械化学校、北京农业机械化学院、华中农学院、华南农学院、西南农学院、西北农学院、沈阳农学院、青海工农学院、河南农学院、河北农业大学、浙江农业大学、黑龙江八一农垦大学、湖南农学院、福建农学院、新疆八一农学院。

绪论、第四、八章由北京农业机械化学院农绍华同志编写；第二、十章由福建农学院王维君同志编写；第五、六、七章由西北农学院吴希绣同志编写；第三、九章由青海工农学院徐集榆同志编写；第十、十一章由湖南农学院尹显英同志编写。参加定稿的除以上编写同志外，还有广西农学院黎悠麟同志、北京农业机械化学院管光苕、朱佩君同志、福建农学院洪亚闾同志。

在编写过程中，曾得到有关单位和同志的大力支持，并提供许多资料。在此，谨向在编写过程中给予我们热情帮助的单位 and 同志表示诚挚的感谢！

由于我们水平有限，实践经验不多，兼编写时间仓促，书中一定存在很多缺点和错误，恳请读者批评指正。

《金属材料及热处理》编写小组

1979.1.15于北京

目 录

绪论	1
第一章 金属材料的机械性能	3
第一节 机械零件的失效形式	3
第二节 金属材料的机械性能	5
一、弹性和刚度	5
二、强度	7
三、塑性	8
四、硬度	8
五、疲劳强度	8
六、冲击韧性	9
七、断裂韧性	11
第二章 二元合金状态图	13
第一节 金属的结晶和晶体结构	13
一、纯金属的结晶	13
二、金属的晶体结构	17
三、实际金属的晶体结构	19
第二节 合金的结构	22
一、合金的基本概念	22
二、合金的基本结构	22
第三节 二元合金状态图	25
一、二元合金状态图的建立	25
二、Pb—Sn 合金状态图	28
三、二元合金状态图的基本类型	30
四、二元合金状态图的分析法	36
五、合金的性能与状态图类型的关系	37
第三章 金属的塑性变形	39
第一节 金属塑性变形的机理	39
一、单晶体的塑性变形	39
二、多晶体的塑性变形	43
第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响	44
一、组织的变化	44
二、性能的变化	45
三、内应力的形成	46
第三节 再结晶退火和热变形	47
一、变形金属在加热时组织和性能的变化	47

二、热变形	49
三、钢铁的热变形	49
第四章 铁碳合金	51
第一节 铁碳合金的基本知识	51
一、纯铁的性能	51
二、铁碳合金的基本组织与性能	53
第二节 铁碳合金状态图	55
一、Fe-Fe ₃ C合金状态图分析	55
二、典型合金的结晶过程及其组织	57
三、钢铁的区分	63
四、Fe-Fe ₃ C合金状态图的实际意义	63
第三节 碳钢	65
一、碳对碳钢组织及性能的影响	65
二、杂质对碳钢组织和性能的影响	65
三、碳钢的选用	66
四、碳钢分类和牌号	67
第五章 钢的热处理原理	73
第一节 钢在加热时的转变	74
一、奥氏体的形成过程	75
二、奥氏体晶粒的大小	77
第二节 钢在冷却时的转变	80
一、钢的奥氏体等温转变	80
二、钢的奥氏体连续冷却转变	90
三、钢的奥氏体等温转变曲线的应用	91
第三节 马氏体的转变	92
一、马氏体的晶体结构	92
二、马氏体形态	93
三、马氏体性能与淬火钢的性能	94
四、马氏体转变的特点	96
第四节 钢在回火时的转变	98
一、回火时钢的组织转变	98
二、回火转变后的组织与性能	100
第六章 钢的热处理工艺	104
第一节 钢的退火与正火	104
一、钢的退火	104
二、钢的正火	106
三、退火与正火的选择	108
第二节 钢的淬火与回火	108
一、钢的淬火工艺	109
二、钢的回火工艺	117
第三节 钢的淬透性	118
一、淬透性的概念	118
二、淬透性的测定与表示方法	119

三、影响零件淬硬层深度的因素	121
四、钢的淬透性在选材中的作用	122
第四节 提高钢的强韧性途径	123
一、位错型马氏体的扩大应用	124
二、等温淬火	124
三、奥氏体晶粒细化与碳化物粗化	125
四、复合组织的利用	125
五、形变热处理	126
第五节 钢在热处理时的缺陷	128
一、钢的氧化与脱碳	128
二、变形和开裂	130
第六节 零件结构的热处理工艺性	132
第七章 钢的表面热处理	134
第一节 钢的表面淬火	134
一、火焰加热表面淬火法	134
二、感应加热表面淬火法	135
第二节 钢的表面化学热处理	140
一、钢的渗碳	140
二、钢的氮化	145
三、钢的氧化	149
四、其他化学热处理	149
第八章 合金钢	152
第一节 合金钢总论	152
一、概述	152
二、合金钢的分类	153
三、合金钢的编号方法	153
四、合金元素在钢中的作用	154
五、合金元素对 Fe-Fe ₃ C 状态图的影响	156
六、合金元素对热处理的影响	157
第二节 合金结构钢	162
一、对合金结构钢的性能要求	162
二、合金结构钢的合金化	163
三、合金结构钢	165
第三节 合金工具钢	180
一、刃具钢	180
二、模具钢	187
三、量具钢	191
第四节 特殊性能钢	193
一、耐磨钢	193
二、不锈钢	193
三、耐热钢	194
第九章 铸铁	196
第一节 白口铁和灰口铁	196

一、双重状态图	196
二、石墨化和铸铁的组织	199
三、灰口铁的性能	200
四、灰口铁的牌号和应用	201
五、灰口铁的热处理	202
第二节 可锻铸铁	203
第三节 球墨铸铁	204
一、球铁的组织性能	205
二、球铁的牌号	208
三、球铁的热处理	209
第四节 特殊性能铸铁	212
一、耐磨铸铁	212
二、耐热铸铁	212
第十章 有色金属及粉末冶金材料	214
第一节 铝及铝合金	214
一、纯铝	214
二、铝合金	214
第二节 铜及铜合金	219
一、纯铜	219
二、黄铜	219
三、青铜	221
第三节 轴承合金	223
一、对轴承合金的性能要求	223
二、锡基轴承合金	223
三、铅基轴承合金	224
四、铜基轴承合金	224
五、铝基轴承合金	224
第四节 粉末冶金材料	225
一、粉末冶金工艺概述	226
二、粉末冶金的应用	226
第十一章 农业机械典型零件的材料选择	228
第一节 选材的基本原则	228
一、考虑材料的机械性能	228
二、考虑材料的工艺性能	229
三、考虑材料的经济性	230
第二节 典型零件的材料选择、热处理及工艺路线分析	230
一、齿轮	231
二、曲轴、连杆	233
三、犁铧及收割机刀片	236
第三节 热处理工艺的编制	239
一、编制热处理工艺的原则	239
二、设计零件与热处理的关系	240
附录 常用符号表	242

绪 论

《金属材料及热处理》是研究金属和合金的化学成分、内部构造与性能之间的关系以及利用金属内部的组织转变规律以改善材料性能的一门科学。

金属材料及热处理和其他学科如物理、化学、材料力学、压力加工、铸造、焊接、切削加工、机械零件（设计）等课程有着极密切的关系，而它本身又成为有关机械设计制造等课程的基础。

金属材料由于它具有许多优良的性能，又兼它的矿藏丰富，因而金属在现代的机械制造业、国防工业、冶金工业、交通运输、轻工业和农业机械中获得广泛的应用。如果没有金属学的基本知识，就不可能正确地选用机器零件材料。

热处理技术在机械制造中，也占有十分重要的地位。先进的热处理方法，能大幅度地提高产品的质量，使一个零件顶几个用，一台机器顶几台用。可以节约大量的钢材、燃料、电力，为国民经济和国防建设各部门提供高质量、寿命长的现代化装备。对实现四个现代化具有重要的现实意义。

农业机械的绝大部分（90%以上）零部件都是用金属材料制成的。作为一个农业机械工程技术人员，无论从事农机设计制造、运用修理，或者科学研究，会遇到材料的选择和热处理问题。一个农机工作者，若能合理地选择材料，并会考虑热处理工艺，那么就能提高零件的使用寿命，给国家创造财富。否则，就会给国家造成极大的浪费。

在目前的修造厂中，仍然有一些零件的修复工艺，如焊接修复（普通电气焊、振动堆焊、埋弧焊和等离子焊等）、金属喷涂、低温镀铁……等都碰到许多材料和金相问题，都要求具有一定的金属学和热处理方面的知识。

《金属材料及热处理》是在生产实践的基础上发展起来的一门科学，近代获得了飞跃的发展。金属的应用在我国已有悠久的历史。在公元前一千七百多年的殷商时代，铸钢技术已达到很高的水平。当时，不仅掌握了铸钢的冶炼技术，而且还能根据不同的用途配制不同的锡铜合金，并且总结了符合于现代金属学的理论文献，如《周礼考工》有如下的记载：“金（铜）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。”在明朝宋应星所著《天工开物》关于淬火、退火方面，有这样的记载：“凡铁铸（挫）纯钢为之。未挫（淬火）之时，铜性亦软，以已挫钢簪划成纵斜纹理，划时斜向入，则文方成焰（陷），划后烧红，微退冷，入水挫。久用乖平，入火退去挫性（退火），再用簪划。”可见当时不仅掌握淬火、

退火技术，而且知道利用预冷的办法进行淬火。

关于渗碳技术，在同一书中也有记载，可以制“针”为例，“凡针，先锤铁为细条……然后入釜慢火炒熬（退火）。炒后以土末入松木、火矢、豆豉三物罨盖，下用火蒸。留针二、三口插其外，以试火候，其外针入手捻成粉碎，则其下针火候皆足，然后开封入水徒之。”这说明古代劳动人民已掌握了固体渗碳技术，文中所谈松木、火矢、豆豉三物就是渗碳剂。把针装箱后，封盖加热，渗碳之后开箱淬火。

综上所述，我国古代劳动人民在热处理工艺技术方面，已发展到相当高的水平。然而，近二、三百年来，我国由于经受封建主义、帝国主义的压迫，科学技术发展缓慢，造成解放前十分落后的状态。

建国以来，我国的钢铁工业及热处理技术方面，在毛主席革命路线指引下，得到较快的发展。为了适应机器制造业高速度的发展需要，钢铁生产已由一九四九年的年产十五万八千吨，到一九七八年增长为三千多万吨。并且根据我国具体情况制订了钢铁的新标准，建立了符合我国资源的合金钢系统，有力地支援祖国的社会主义建设。世界闻名的南京长江大桥，就是利用我国新创造出来的普退低合金高强度钢 16Mn 建造出来的。

在热处理技术方面，也有很大的发展和成就，许多新工艺、新技术不断被应用于生产。如可控气氛热处理；真空热处理；化学热处理及新淬火剂的应用等，都得到了发展。特别是近年来，化学热处理方面新工艺发展得更快，如辉光离子氮化、软氮化、渗硫、渗硼、碳-氮共渗、碳-氮-硼三元或多元共渗等。

以华主席为首的党中央，一举粉碎“四人帮”以后，带领我们进行新的长征。为了迅速改变我国材料科学及热处理的落后面貌，赶上世界先进水平，正大力培养人才，加强科学研究，学习外国先进技术，加强试验测试手段的基本建设，可以预料，我国的材料科学及热处理必将获得更快更大的发展，并在实现四个现代化中发挥更大的作用。

本书结合农机类的专业要求，力求理论结合实际，除介绍有关金属材料及热处理的基本原理之外，并对材料的选择以及新材料、新工艺和新技术作简略介绍。通过学习，了解金属和合金机械性能、化学物理性能，以及这些性能之间的关系和变化规律，从而比较合理地选择材料及热处理工艺。

第一章 金属材料的机械性能

由于金属材料具有优良的性能，故得到广泛的应用。目前生产上使用的金属材料种类繁多，如不“量材”使用就会造成浪费或产品质量低劣。因此，为了合理选用金属材料，发挥金属材料的潜在能力，达到提高产品质量的目的，了解它的性能是十分必要的。

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。所谓使用性能是指机械零件在服役条件下，金属材料表现出来的机械、物理和化学性能；所谓工艺性能是指机械零件在加工制造过程中，金属材料在所定的冷、热加工条件下表现出来的性能，如铸造、焊接、热处理、锻压、切削加工等工艺性能。材料工艺性能的好坏反映了它在冷、热加工过程中加工成型的能力，它是使用性能的综合表现。

农业机械的绝大部分零件是在常温、常压和非腐蚀性介质中服役，因此零件的设计和选材主要是以机械性能为依据。本章主要介绍金属材料的机械性能，至于工艺性能中的热处理性能，将在其他章节中讨论。

第一节 机械零件的失效形式

一部机器的正常运转是靠每个零件的正常工作来保证的。由于各个零件的服役条件（包括工作环境、应力状态以及载荷性质等）不同，因而产生损坏或失效的形式也不同。故在设计零件时，应根据零件的服役条件和失效形式，对金属材料提出不同的技术要求——热处理后的机械性能指标。这样，才能保证零件在服役条件下正常工作。

主轴和齿轮是农业机械中的重要零件，它们各自的服役条件不同，提出的技术要求也不同。

就以曲轴来说，它是曲柄连杆机构中的重要零件，它和活塞、连杆、飞轮等构成传动机构。曲轴在服役过程中要承受多种力的作用：汽缸中燃料燃烧产生的高压气体通过活塞传给曲轴的压力；活塞运动速度不均产生往复惯性力和曲轴旋转产生的离心惯性力；发动机对外作功时产生的扭转和弯曲应力；工作不平稳所带来的冲击力和振动，以及轴颈受到的摩擦力等等。为此，要求制造曲轴的材料在施以热处理后能具有抵抗各种载荷的抗力指标，即应具有良好的综合机械性能和高的抗磨能力。

齿轮的服役条件与曲轴不同，它担负着传递动力、改变运动速度和方向的任务。齿轮在服役时，齿根承受弯曲应力，齿面承受接触压应力和摩擦力，受到磨损；加上农机用齿轮的运行不平稳，齿轮还经常承受冲击载荷。因此，对齿轮应要求具有高的耐磨性、高的

疲劳强度和足够的韧性。

机械零件的质量直接关系着整台机器的正常工作，而零件的质量又与所用的材料是否恰当，热处理强化措施是否正确有密切的关系。只有对零件的服役条件进行正确分析，提出恰当的技术要求，并按此要求合理选用材料和施以热处理，才能达到所提出的技术要求，保证零件的质量，保证整台机器的正常、长期运转。否则，零件就会发生早期失效，甚至突然失效。

失效是指零件失去正常运转应具有的有效能。例如，割晒机的主变速箱齿轮轴，如果刚度不够，服役时就会发生永久弯曲变形而不能自由转动；变速箱齿轮如韧性不够，服役时就会因冲击而发生轮齿折断；齿而如耐磨性不够就会过度磨损，降低啮合精度，产生过大的噪音等等，这些都属零件失效的范围。

机械零件在服役过程中常见的失效形式主要有变形、断裂和磨损三种。

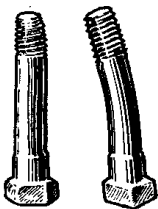


图 1—1 螺栓变形



图 1—2 齿轮牙齿折断

图 1—1 为汽车、拖拉机用螺栓因热处理不当，螺栓强度不足在服役中早期变形的情况。

图 1—2 为拖拉机齿轮的轮齿因选择材料或热处理不当，轮齿心部硬度过高，在冲击载荷作用下发生断裂的情况。图 1—3 为汽车换档齿轮因热处理不当，齿面硬度过低而造成早期磨损的情况。

重要的零件失效不仅会导致整台机器的失效，严重的还会造成人身、设备事故。

由此看来，机械零件的失效是由于其机械性能未达到预定的技术要求

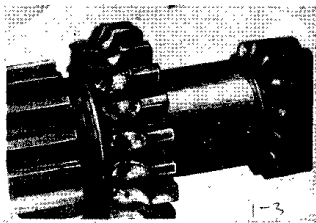


图 1—3 齿轮过度磨损

所造成的。而金属材料的机械性能取决于材料的性质（包括化学成分、冶金质量、组织状态和残余应力等）和热处理强化措施。材质属于内在因素，热处理属于外在因素。我们的任务就是通过零件的失效分析，找出失效的主导因素，制定发挥材料潜力和提高零件使用寿命的方法。显然，了解金属材料的机械性能是合理选择材料，正确制定热处理工艺的基础。

第二节 金属材料的机械性能

机械零件的失效是在外力作用下产生的，材料的机械性能表现为抵抗外力的能力，所以机械性能又叫做力学性能。不同的金属材料抵抗外力的能力是不同的。为了弄清楚金属材料在各种外力作用下所表现出来的机械性能的全面概念，通常要进行各种实验测试，下面以拉伸试验为例进行讨论。

按 GB228—63 标准制作的拉伸试样，在拉伸试验机上进行拉伸，直至拉断。以外加载荷和材料的变形量为座标所绘成的图形叫拉伸图，图 1—4 为退火低碳钢的典型拉伸曲线。

它是在缓慢加载下得到的，这种拉伸图叫静拉伸图，由此测得的各项性能指标叫静强度指标。

由拉伸图知道，象低碳钢这类塑性材料在外力作用下将经过三个阶段而破坏：弹性变形阶段；弹—塑变形阶段；断裂。

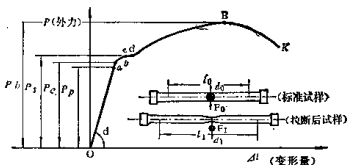


图 1—4 低碳钢的拉伸图

脆性材料在断裂之前无明显的塑性变形，这种断裂称为脆性断裂；塑性材料在断裂之前有明显的塑性变形，这种称为韧性断裂。根据低碳钢的拉伸图，下面介绍韧性材料在外力作用下表现出来的机械性能。

一、弹性和刚度

(一) 弹性 金属材料在外力作用下，发生能够恢复原状的变形称为弹性变形。具有弹性变形特性的材料所能产生弹性变形，即不产生永久变形的能力，称为弹性。表示最大的弹性变形应力，即不产生永久变形时所能承受的最大应力称为弹性极限，用 σ_e (kg/mm^2) 表示。

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0}$$

式中 F_0 ——试样原始截面积 (mm^2)；

P_e ——对应于 b 点所加的外力 (kg)。

实际上图 1—4 中的 oa 段才是真正的直线, 即外力与伸长成正比, 对应于 a 点的外力 P_e 所产生的应力称为比例极限, 用 σ_e (kg/mm²) 表示。

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0}$$

比例极限仍属于弹性变形范围, 不过其外力与变形量成正比。由于 σ_e 与 σ_s 的数值非常接近, 故在实际应用中, 常取同一数值, 为方便起见, 工程上多用 σ_s 。

如果把拉伸图 ($P-\Delta l$ 曲线) 的纵座标 P (外力) 除以试样的原始截面积 F_0 , 横座标 Δl (变形量) 除以试样的标距长度 (l_0), 便得到以 $\sigma-\epsilon$ 为座标的应力应变图, 图形与拉伸图相同。

在弹性变形阶段, σ 和 ϵ 有以下关系:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma}{\epsilon} = E$$

即

$$\sigma = E\epsilon$$

E 称为弹性模数, 它表示引起单位弹性变形所需的应力, 也是衡量材料特性指标之一。弹性模数是材料的固有特性, 主要取决于原子性质、晶格类型和晶格常数, 而合金化、热处理、冷热加工等对它的影响较小。

(二) 刚度 所有的机械零件在使用过程中, 大多数是处于弹性状态, 刚度就是表示零件抵抗弹性变形的能力。工程上常用弹性模数 E 作为衡量材料刚度的指标, E 愈大, 刚度愈好。

在农业机械上许多零件要求有一定的刚度, 不允许在服役时有过多的弹性变形, 更不允许有明显的塑性变形。

根据

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$= \frac{P/F}{\Delta l/l}$$

则

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF}$$

式中 E ——弹性模数 (kg/mm²);

ϵ ——轴向应变 (%);

P ——外加载荷 (kg);

Δl ——轴向变形量 (mm);

l ——零件的长度 (mm);

F ——零件的横截面积 (mm²)。

由上式可以看出：当 P 和 l 一定时，零件产生的弹性变形量决定于 E 、 F 值的大小， E 、 F 值越大，则 Δl 越小，即零件的刚度越好。所以，提高零件刚度的途径有二，即增加零件的截面积或选取 E 值较大的材料。

二、强 度

在外力作用下，材料抵抗变形和断裂的能力称为强度。按外力作用的方式不同，可分为抗拉、抗弯、抗扭、抗压强度等，一般常用抗拉强度。当零件承受拉力时，强度特性指标主要是屈服强度 (σ_s) 和抗拉强度 (σ_b)。

(一) 屈服强度 对于低碳钢这类塑性材料，在拉伸图上会出现屈服平台，如图 1-4 的 cd 段。屈服平台所对应的应力值，称为材料的屈服点，用 σ_s (kg/mm^2) 表示。它表示材料在外力作用下，开始产生塑性变形时的最低应力值，代表材料抵抗微量塑性变形的能力。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0}$$

对于某些材料，在拉伸试验中无法确定产生塑性变形的最低应力值时，一般规定试样在拉伸过程中，标距部分的残余变形达到一定数值时的应力值，为该材料的条件屈服强度，或简称屈服强度。在国际 GB228—63 中，规定产生塑性变形 0.2% 时的应力值为屈服强度，或条件屈服点，以区别于有屈服平台材料的屈服点。屈服强度用 $\sigma_{0.2}$ (kg/mm^2) 表示。

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0}$$

一般机械零件不仅在破坏时才失效，而当发生少量塑性变形时，也会由于精度降低或与其他零件的相对运动受到影响而失效。所以，屈服点或屈服强度是零件设计时的主要参数。

(二) 抗拉强度 表示材料对大量均匀塑性变形的抵抗能力，即材料由产生大量塑性变形到断裂时所承受的最大应力值，故又称为强度极限，用 σ_b (kg/mm^2) 表示。

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}$$

式中 P_b ——材料拉断前所承受的最大拉力 (kg)；

F_0 ——试样原始截面积 (mm^2)。

在生产实际中，凡属因断裂而失效的零件，如链条等，均以此作为设计依据。

材料的强度指标 (σ_s 、 σ_b) 与合金化、热处理、冷热加工的关系极大。减轻机械重量，提高零件使用寿命已成为农业机械生产的关键，其途径就是通过热处理提高材料的使用强度。

三、塑 性

金属材料在外力作用下,发生不能恢复原状的变形称为塑性变形或永久变形。材料产生塑性变形而不断裂的能力称为塑性。工程上常用的塑性指标是伸长率(δ)和断面收缩率(ψ)。

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

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中 l_1 ——试样拉断后的长度,

l_0 ——试样原始长度;

F_1 ——试样拉断处的横截面积;

F_0 ——试样原始横截面积。

δ 和 ψ 越大,表示材料的塑性越好。由于 δ 值与试样尺寸有关,故试样必须作成统一标准才好比较。一般用 $l_0 = 5d_0$ 或 $l_0 = 10d_0$ 的标准试样进行测试,分别用 δ_5 或 δ_{10} 表示。同一材料所测得的 δ_5 一般比 δ_{10} 可能大 20% 左右,有的可大 50%。因此,对于不同材料,只有用 δ_5 与 δ_5 比较或 δ_{10} 和 δ_{10} 比较才是正确的。

金属材料具有一定的塑性才能顺利地承受各种冷变形加工,如冷冲压、冷弯等。另一方面,材料具有一定的塑性可以提高零件服役的可靠性,防止突然断裂,这就是大多数机械零件除要求高强度外还要求一定塑性的道理。当然,过高地追求塑性,降低材料的使用强度水平也是不恰当的。

四、硬 度

用一块硬物对两块不同的材料施以压力,结果发现,一块易于压入,另一块不易压入。显然,硬物压入是靠物体局部发生塑性变形来实现的。易于压入的材料,表示它对局部塑性变形的抗力小;反之,则抗力大。因此,硬度就是材料抵抗硬物压入表面的能力,亦即对局部塑性变形的抗力。硬度测试仪器就是根据上述原理进行设计制造的。

常用的硬度指标有:布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HRC、HRB、HRA)和维氏硬度(HV)等,各种硬度的测试原理和特点将在实验课中介绍。由于硬度测试的设备简单、操作容易,而且不损坏零件,加之各种硬度值可以互相换算,硬度值与强度指标之间还有一定的关系。而此,硬度测试已经成为产品质量检查中必不可少的手段,是设计图纸中技术标注的主要数据。

五、疲劳强度

前面介绍的均属静力指标。可是,在实际中,许多零件,如拖拉机上的曲轴、齿轮、

弹簧等是在交变载荷作用下运转的。这些承受交变载荷的零件，在服役过程中，常常在低于屈服强度的应力下，发生突然失效（断裂），而无明显的塑性变形预兆的现象称为疲劳。

机械零件在服役中所承受的交变应力亦叫做周期性载荷。它分为对称和不对称两种。

图 1—5 表示的是一种周期性应力变化曲线。

零件在交变应力作用下，要经一定的周期次数才会产生疲劳断裂。实验测定金属材料所承受的交变应力与断裂前的应力周期次数有如下关系，如图 1—6 所示。

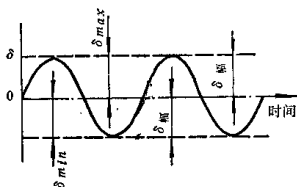


图 1—5 对称循环交变应力

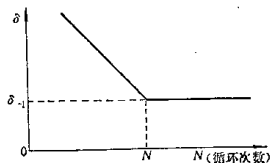


图 1—6 疲劳曲线 ($\sigma-N$ 曲线)

由图可知，当 σ 低到一定值时，曲线与横座标平行，表示材料可经无限次应力循环而不失效。这一应力称为疲劳极限或疲劳强度，用 σ_{-1} 表示光滑试样的对称弯曲疲劳极限，用 σ_{-1k} 表示缺口试样的对称弯曲疲劳极限。

工程上指的疲劳强度，是指材料在一定的应力循环次数下不发生断裂的最大应力。一般规定钢铁材料的循环周次 $N = 10^7$ ，非铁金属 $N = 10^8$ 。

发生疲劳断裂的原因，目前认为是由于材料内部的缺陷、微裂纹以及材料在加工过程中所形成的磨痕、刀痕所致。另外，在服役中，零件局部应力集中也会导致裂纹的产生。上述这些裂纹，在交变应力作用下会逐步扩展，最后导致零件的有效截面减小而突然断裂。

为了提高机械零件的疲劳强度，一方面应在设计零件时改善零件的结构形状，避免应力集中；另一方面可以改善零件的加工光洁度和采用表面强化的方法。热处理工艺中的表面淬火、化学热处理等方法以及喷丸处理等技术，已广泛用来提高零件的疲劳强度。

六、冲击韧性

拖拉机在起动、加速、换档、刹车时，齿轮箱的传动齿轮会受到冲击载荷的作用；发动机活塞、连杆、曲轴以及锻锤锤杆、冲床冲头等也无时不受冲击载荷作用。对这些在动载荷下工作的零件，已不能单纯用静力强度指标来衡量了。

韧性是表示材料抵抗冲击载荷的能力，故又称为冲击韧性。冲击载荷不仅是力的作

用,而且还有表征了力的作用速度,所以它是一种能量载荷。目前冲击韧性的测试有两种方法:

(一) 大能量一次摆锤冲击试验 按国际 GB229—63 制成带缺口的标准试样,在冲击试验机上用一定质量的摆锤自一定高度自由落下,测得一次冲断时,缺口处单位截面积所消耗的功,称为冲击韧性或冲击值,用 α_K ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$) 表示。

$$\alpha_K = \frac{A_K}{F}$$

式中 A_K ——冲断试样所消耗的冲击功 ($\text{kg}\cdot\text{m}$);

F ——试样断裂处的截面积 (cm^2)。

这种测试方法由于速度大,试样又带缺口,故能较灵敏地反映材料的脆性趋势以及材料在冶金、加工、热处理等方面的质量问题。另外,加之试验简便,发展历史较长,积累的数据十分丰富,使它的应用较为广泛,是鉴定材料质量和选材方面必不可少的依据。但是,生产实际中有不少机械零件在使用过程中承受的冲击能量并不大,常以冲击疲劳破坏为主要失效形式。对这类零件,则可采用小能量多次冲击试验作为评定材料质量及选材的方法。

(二) 小能量多次冲击试验 工程上许多承受冲击载荷的零件,在工作过程中并不是承受象一次冲击便导致破断的高能冲击载荷,而是要经过千百万次小能量多次冲击才发生破断,或远在破断前面发生变形,精度降低而失效。另外一些零件在工作中虽不是以承受冲击载荷为主,但由于突然过载或严重磨损而造成冲击(如一些齿轮、轴类或其他零件)。对于上述这几种零件都不能用一次冲击试验所测得的 α_K 值来衡量其对冲击载荷的抗力,而应采用小能量多次冲击抗力指标。

大量的试验证明,材料的成分及组织状态对一次冲击抗力(α_K 值)及小能量多次冲击的抗力的影响常呈相反的变化规律。一般说来,一次大能量冲击抗力主要取决于材料的塑性,而多次小能量冲击抗力则主要取决于强度。为此,在设计一般承受冲击载荷的零件时,决不可片面而追求过高的一次冲击抗力,以免使材料的强度,尤其是多次冲击抗力受到损害。这对于正确选择材料以及制定热处理工艺等方而很重要。

材料的多冲断口属于疲劳型,通过多冲试验机可以测出材料的 A (冲击功)— N (破断前冲击次数) 曲线,由此可以比较材料的优劣。

小能量多次冲击试验研究,在生产实际中取得了良好的效果。例如,锻锤锤杆是一个典型的承受多次冲击的零件,过去片面地追求高的一次冲击韧性值(α_K),使强度降到很低的水平,这恰好是该材料多冲抗力很低的状态,故使用中常常早期折断。后改用提高强度的办法,使多冲抗力大大提高,使用寿命也成倍增长。球墨铸铁曲轴代替锻钢曲轴之所以成功,也是这个道理。

冲击韧性值随温度降低而减小,特别在低于室温某一温度,冲击值(α_K)显著降低,材料变脆,这一温度称为材料的冷脆转化温度。在寒冷地区,在选材和处理上应考虑这个