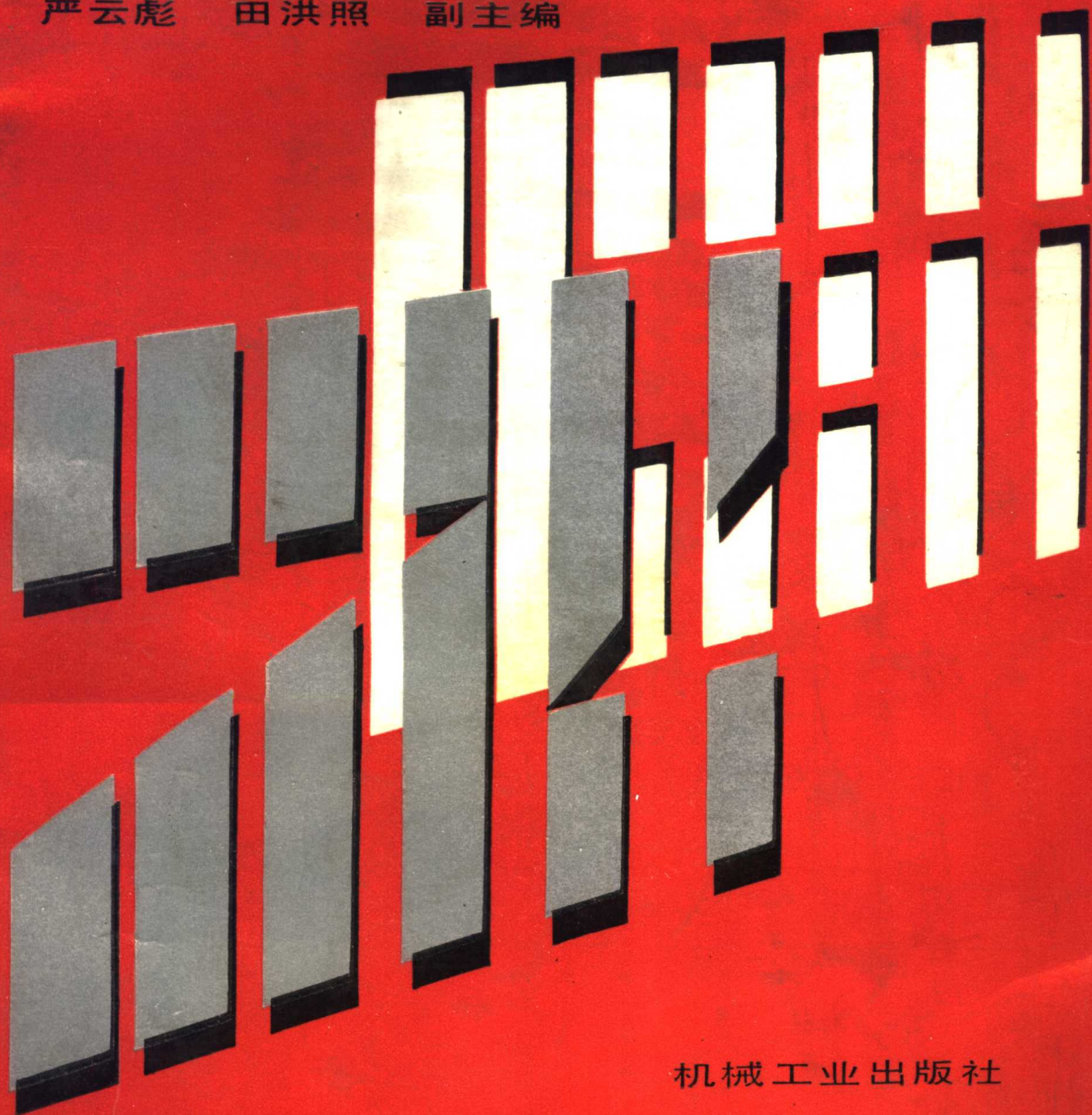


职工高等工业专科学校试用教材

工程材料与金属工艺学

房世荣 主编

严云彪 田洪照 副主编



机械工业出版社

职工高等工业专科学校试用教材

工程材料与金属工艺学

主 编 房世荣

副主编 严云彪 田洪照

参 编 张国铨 赵梅生 刘 敏

林家厚 张锡嘉 蔡天作

主 审 丁守谦 姚德良



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书是由职工高等教育学会机电一体化专业指定编写大纲和机械工业出版社共同组织出版的成人高校机电一体化专业系列教材之一。

本书内容包括：材料的力学性能、金属的晶体结构和结晶、合金的结构和二元合金相图、铁碳合金及碳钢、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及其合金、非金属材料、铸造、锻压、焊接、切削加工、机械零件的选材及加工工艺分析、工程材料质量检验方法等十五章。本书所用名词、单位、符号等贯彻了最新国家标准，在编写中既注意了必要的基本理论知识，又突出了实用性。

本书可作为成人高校机电一体化专业教材，也可作为其它职业技术学院用书。

工程材料与金属工艺学

房世荣 主编

责任编辑：王世刚 版式设计：李松山
封面设计：姚毅 责任校对：姚培新

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码：100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张19.125·字数477千字

1994年8月北京第1版·1994年8月北京第1次印刷

印数 00 001—5200定价：15.40元

*

ISBN 7-111-04248-4/TG·914(G)

序 言

随着机电一体化技术与产品在世界范围内的兴起与发展,教育必须紧紧跟上形势及经济发展的需要。1990年4月我会受原机械电子工业部教育司委托,组织了全国部分成人高等学校的专家、教授在天津编写了“机电一体化”等专业指导性教学文件。对本专业的研究与发展起了一定的推动和示范作用。编写组的这项工作获得1991年全国学会工作成果奖。

1992年我会机械制造专业委员会桂林年会发起编写“机电一体化”成套教材,以解决本专业当前教学急需。经过一年多的工作,重新编写了“机电一体化”专业教学计划(分为应用型和技艺型两类)及各科教学大纲,并在部分职工高校试用。在此同时,着手组织编写教材及出版工作。鉴于这套教材涉及几个专业委员会的教学研究领域,为保证编写质量,加快出版进程以及工作上的方便,自1993年5月济南会议起,由学会秘书处统一组织工作,并委托我会学术委员会具体负责本次编辑出版的协调和实施工作。

这套教材以我会学术委员会、机械制造专业委员会、工程材料专业委员会、技术基础课委员会、基础学科委员会为主,集中我会全国学术骨干力量,在三年内分两批出齐。第一批共计出版:①工程材料与金属工艺学;②金属切削机床与数控机床;③伺服系统与机床电气控制;④机械制造工艺与机床夹具;⑤计算机绘图;⑥微机与可编程控制器;⑦数控原理与编程;⑧电子技术;⑨8098单片机原理与应用;⑩高等数学;⑪工程数学;⑫工程力学等十二种教材。其余教材将于第二批出版,以供全国职工高校试用。

中国机械工程学会

职工高等教育专业学会

1994年元月

DAG 73/03

前 言

本书是在中国机械学会职工高等教育学会统一组织领导下编写的,作为成人高校高等职业技术教育“机电一体化”专业的配套教材,还可作为高等专科学校机械类专业教材,也可供高等院校非机械类各专业及有关工程技术人员参考。

编写教材时,贯彻了“必须、够用和少而精”的原则,既注重必要的基本理论知识,又突出了实用性、针对性和先进性。编写过程中作了一些改革性的尝试,按照专业的要求,将原“金属材料与热处理”和“金属工艺学”两门课程合并,在体系方面作了适当的调整,减少了重复的内容,增加了“非金属材料”、工程材料的质量检验方法和磁性钢等章节。本书所用名词、单位及材料牌号等,尽可能采用了最新国家标准和法定计量单位。

本书是按照“机电一体化”专业(应用型)的教学计划和教学大纲编写的。共需100课时,其中讲课94课时,实验6课时,具体分配附后。

本书由济南机械职工大学房世荣任主编(绪论、第一、八章),严云彪任副主编(第七、十二章),济南职工科技大学田洪照任副主编(第四、十五章)。参加编写的有贵州机械工业职工大学张国铨(第二、三章),常州机械职工大学赵梅生(第五、十四章),烟台职工大学刘敏(第六、九章),淮南机械职工大学林家厚(第十章),苏州职工工业大学张锡嘉(第十一章),江西机械职工大学蔡天作(第十三章)。山东工业大学丁守谦教授、济南职工大学姚德良教授任主审。参加编写提纲讨论的有姚德良、郭登科、严云彪、田洪照和房世荣。在编写教材过程中,还得到有关兄弟院校、科研单位和企业的支持、帮助,在此一并表示衷心地感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

1994. 1

目 录

常用符号表	1	第二节 铸铁的石墨化	119
绪论	3	第三节 灰铸铁	122
第一章 材料的力学性能	5	第四节 可锻铸铁	124
第一节 概述	5	第五节 球墨铸铁	125
第二节 材料的力学性能指标	5	第六节 合金铸铁简介	129
复习题一	12	复习题七	130
第二章 金属的构造与结晶	13	第八章 有色金属及其合金	133
第一节 金属的理想结构	13	第一节 铝及铝合金	133
第二节 金属的实际构造	17	第二节 铜及铜合金	136
第三节 纯金属的结晶	19	第三节 轴承合金	139
第四节 铸锭的组织	23	第四节 粉末冶金与硬质合金	141
复习题二	24	复习题八	142
第三章 合金的构造与二元合金相图	25	第九章 非金属材料	143
第一节 合金的结构和组织	25	第一节 高分子合成材料概述	143
第二节 二元合金相图	28	第二节 工程塑料	147
第三节 合金的性能与相图关系	35	第三节 合成橡胶	153
复习题三	37	第四节 胶粘剂	156
第四章 铁碳合金及碳钢	39	第五节 陶瓷	159
第一节 铁碳合金相图	39	第六节 复合材料	161
第二节 碳钢	54	复习题九	164
复习题四	60	第十章 铸造	166
第五章 钢的热处理	61	第一节 概述	166
第一节 钢在加热时的转变	61	第二节 砂型铸造	166
第二节 钢在冷却时的转变	64	第三节 铸造工艺的基本内容	175
第三节 钢的热处理工艺	73	第四节 铸造合金	178
第四节 热处理新技术简介	89	第五节 铸件的结构工艺性	181
第五节 热处理零件的结构工艺性	92	第六节 特种铸造简介	184
复习题五	95	复习题十	187
第六章 合金钢	97	第十一章 锻压	189
第一节 概述	97	第一节 金属的塑性变形	189
第二节 合金元素在钢中的作用	98	第二节 自由锻造	193
第三节 合金结构钢	103	第三节 模型锻造	201
第四节 合金工具钢	107	第四节 板料冲压	206
第五节 特殊性能钢	112	第五节 其它锻压方法简介	214
复习题六	117	复习题十一	216
第七章 铸铁	118	第十二章 焊接	218
第一节 概述	118	第一节 手工电弧焊	218

V

第二节 气焊与气割	226
第三节 其它焊接方法	227
第四节 焊接应力与变形	231
第五节 常用金属材料的焊接	232
第六节 焊接结构设计	234
第七节 常见的焊接缺陷及其产生原因	237
复习题十二	238
第十三章 切削加工	239
第一节 金属切削加工的基本知识	239
第二节 金属切削机床的基本知识	246
第三节 常用切削加工方法综述	251
第四节 机械加工工艺规程的制定	265
复习题十三	271
第十四章 零件选材及加工工艺 分析	272
第一节 零件的失效形式和选材的 基本原则	272
第二节 典型零件的选材与工艺分析	277

复习题十四	280
第十五章 工程材料质量检验方法	282
第一节 成分分析	282
第二节 组织分析	284
第三节 无损探伤	285
复习题十五	288
附录	289
附录A 常用材料的屈服强度	289
附录B 常用材料的疲劳强度	289
附录C 机械零件常用钢材及热处理 方法	290
附录D 常用钢材回火温度与硬度对 照表	292
附录E 胶粘剂的特点、用途及胶接 强度	293
附录F 黑色金属硬度及强度换算表	296
参考文献	299

常用符号表

A 奥氏体	HBS 布氏硬度 (用钢球压头测定的)
A' 残余奥氏体	HBW 布氏硬度 (用硬质合金压头测定的)
$\text{\AA}$ 长度单位, $1 \text{\AA} = 10^{-8} \text{cm}$	HRA 洛氏硬度, A级 [总载荷 588N (60kgf), 金刚石圆锥压头]
A_1 平衡状态 $A \rightleftharpoons P$ 的临界温度	HRB 洛氏硬度, B级 [总载荷 980N (100kgf), 钢球压头]
A_3 平衡状态 $A \rightleftharpoons F$ 的临界温度	HRC 洛氏硬度, C级 [总载荷 1470N (150kgf), 金刚石圆锥压头]
A_{cm} 平衡状态 $A \rightleftharpoons Fe_3C_{II}$ 的临界温度	HV 维氏硬度
A_4 平衡状态 $\sigma\text{-Fe} \rightleftharpoons \gamma\text{-Fe}$ 同素异构转变温度	HS 肖氏硬度
Ac_1 加热时 $P \rightarrow A$ 的临界温度	h 小时
Ac_3 加热时 $F \rightarrow A$ 的临界温度	h 深度
Ac_{cm} 加热时 $Fe_3C_{II} \xrightarrow{\text{溶入}} A$ 的临界温度	K $A \rightarrow P$ 的中止线
Ar_1 冷却时 $A \rightarrow P$ 的临界温度	K_0 翻边系数
Ar_3 冷却时 $A \rightarrow F$ 的临界温度	L 长度; 液体、液态、液相
Ar_{cm} 冷却时 $A \xrightarrow{\text{析出}} Fe_3C_{II}$ 的临界温度	Ld 高温莱氏体
AKU 冲断试样吸收的功 (用U型缺口试样)	Ld' 低温莱氏体
ABS 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚塑料	l 长度
a_{KU} 冲击韧度值 (用U型缺口试样)	l_0 拉伸试样原标距长度
a, b, c 晶胞棱边长	l_1 拉伸试样拉断后的标距长度
B 贝氏体	M 马氏体
$B_{\text{上}}$ 上贝氏体	M_s $A \rightarrow M$ 的开始温度
$B_{\text{下}}$ 下贝氏体	M_f $A \rightarrow M$ 的终止温度
C 渗碳体	m 模数; 拉深系数; 质量
D, d 直径	min 分钟
F 铁素体	$m_{\text{坯}}$ 锻件坯料质量
F_s 试样不产生永久变形时的最大载荷	$m_{\text{锻}}$ 锻件质量
F_y 试样产生屈服现象时的最小载荷	$m_{\text{烧损}}$ 锻件加热时烧损的质量
F_b 试样断裂前的最大载荷	$m_{\text{损失}}$ 锻造过程冲掉或切掉的部分金属的质量
Fe_3C 渗碳体	N 应力循环次数; 液态金属结晶时的形核率
Fe_3C_I 一次渗碳体 (初次渗碳体)	n 转速
Fe_3C_{II} 二次渗碳体 (次生渗碳体)	P 珠光体
$F-4$ 聚四氟乙烯塑料	P_s $A \rightarrow P$ 的开始线
G 石墨; 液态金属结晶的成长率	
H 高度	

P_f	A → P的终止线	V	体积
PA	聚酰胺 (尼龙)	v	冷却速度
PBTB	聚对苯二甲酯丁二酯塑料	v_k	上临界冷却速度 (获得全部 马氏体组织的最小冷却速度)
PC	聚碳酸酯塑料	v'_k	下临界冷却速度 (获得全部珠光体组织的最大冷却速度)
PE	聚乙烯塑料	Y	锻造比
PMMA	聚甲基丙烯酸甲脂 (有机玻璃)	Z	凸凹模间隙
POM	聚甲醛塑料	α'	副后角
PP	聚丙烯塑料	α_o	后角
PPO	聚苯醚塑料	β_o	楔角
PS	聚苯乙烯塑料	γ_o	前角
PSF	聚砒塑料	δ	伸长率; 厚度
PVC	聚氯乙烯塑料	δ_5	短试样 ($l_0=5d_0$) 延伸率
R, r	半径	δ_{10}	长试样 ($l_0=10d_0$) 延伸率
R_a	表面粗糙度, 表面轮廓算术平均偏差	κ_r	主偏角
S, S	面积; 索氏体; 板料厚度	λ_s	刃倾角
S_0	拉伸试样原横截面积	σ	应力
S_1	拉伸试样拉断处的最小横截面积	σ_e	弹性极限
s	秒	σ_s	屈服极限
T_0	屈氏体 (托氏体)	$\sigma_{0.2}$	条件屈服极限
T_n	理论结晶温度	σ_b	强度极限 (抗拉强度)
T	实际结晶温度	σ_{-1}	疲劳强度
$T_{再}$	金属热力学再结晶温度	ψ	断面收缩率
$T_{熔}$	金属热力学熔化温度		
t	温度		

绪 论

“工程材料及金属工艺学”是研究工程材料的性质、应用及金属冷、热加工工艺的一门综合性课程。本课程在工程材料方面，重点介绍金属材料的成分、组织及性能之间的关系，常用金属材料的主要性能与用途；此外，还对非金属材料作了适当介绍。在金属热加工方面，主要介绍用以改变金属材料性能的热处理及用以获得毛坯或零件的铸造、锻压、焊接等工艺的实质、特点和应用。在切削加工方面，主要介绍各种加工方法和通用切削机床与工具的基础知识。本书还简要介绍了工程材料的质量检验方法。

“工程材料及金属工艺学”在机械工业生产中占有极重要的地位。在机械产品的设计制造过程中，都会遇到选择材料，确定毛坯及零件的加工工艺方法、合理的进行结构设计等问题。这些问题的正确处理，对于充分发挥材料的潜力、减少废品、保证质量、降低成本、提高经济效益等有着极重要的作用。本课程的知识是机械工程人员所必须具备的，列为一般工程教育的必修课程。

我国在工程材料和加工工艺方面在历史上有辉煌的成就。早在4000年以前就已经开始使用青铜，到了商代（公元前1562~1066年）已发展到了一定水平。如1939年在河南安阳武官村出土的商殷祭器司母戊大方鼎，体积庞大，重达875kg，而且花纹精巧，造型精美。这充分说明我国远在商代就有了高度发达的冶铸青铜技术。在春秋时代，我国最早发明了生铁冶炼技术，并用于制造农具，比欧洲国家早1800多年。从西汉到明朝的一千五六百年间，我国的钢铁生产技术远远超过了世界各国。唐朝（公元七世纪）时期，我国已应用了锡焊和银焊，比欧洲早一千多年。明朝宋应星所著的《天工开物》记载了冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等很多金属加工方法，它是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一。大量的珍贵文物和历史文献，充分说明我国古代在金属材料及加工工艺方面的技术水平，都远远超过同时代的欧洲，在世界上占有领先地位，为人类的文明作出了巨大的贡献。但是由于长期封建制度的闭关锁国和近百年来外国侵略，使我国科学技术的发展受到极大阻碍。

新中国成立后，特别是改革开放以来，我国工农业生产、国防、科技事业得到迅速发展，建立了冶金矿山、机械制造、交通运输、石油化工、电子仪表、轻工纺织、宇宙航行等许多现代化工业，为国民经济的进一步发展奠定了牢固的基础。同时，原子弹、氢弹、导弹的试验成功，人造地球卫星的发射和准确回收，标志着我国科学技术达到了新的水平。但是，不可否认，与世界上先进国家相比，目前我国在生产和科学技术方面还存在着一定的差距。材料科学作为现代技术的三大支柱之一，发展格外迅速。由于现代科学技术的发展，传统的机械制造过程有了改变，在大量采用先进工艺和高效设备的条件下，工业发达国家80年代采用柔性制造系统已经比较普遍。所谓柔性制造系统是用电子计算机来控制生产的全过程，包括机件的设计、加工、装卸、传送、贮存等。这些方面，我国明显的存在着差距，所以应当奋发图强，努力学习，汲取世界各国的先进科学技术，向着四个现代化的方向奋勇前进。

“工程材料和金属工艺学”是一门综合技术基础课，教学的目的和任务是使学生初步具有正确选材和妥善安排工艺方案的能力，掌握金属冷、热加工工艺的基础知识，为学习其他课

程和从事生产技术工作打好必要的基础。基本要求是：

- 1) 基本掌握常用金属材料的成分、组织、性能、用途和一般选用原则。
- 2) 了解各种主要加工方法的实质、工艺特点和应用范围。
- 3) 了解各种主要加工方法所用设备（工具）的工作原理和使用范围。
- 4) 初步掌握零件的结构工艺性。
- 5) 具有选择毛坯和零件加工方法的基本知识。

这门课程的实践性和应用性很强，为保证课程的顺利进行，教学过程应紧密结合实习、实验。对于没有冷、热加工工艺实践经验的学生，要多参观几个机械制造厂的铸造、锻压、焊接、热处理等工种及机械加工车间，观察各种加工方法的特点和使用设备与工具。每章学完后，认真做复习题，确保达到学习本课程的目的和要求。

第一章 材料的力学性能

第一节 概 述

为研究材料的成分、组织、性能之间的关系，合理选择和使用材料，应首先了解材料的各种性能。

材料的性能分使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在使用时所表现出的各种性能，它包括物理性能（如密度、熔点、导热性、导电性、磁性、热膨胀性等），化学性能（如耐蚀性、抗氧化性等）和力学性能（如强度、塑性、韧性、硬度、疲劳强度等）。工艺性能是指材料在加工制造时所表现出的性能，根据制造工艺的不同，分为铸造性、可锻性、焊接性、热处理性能及切削加工性等。由于机械零件的用途不同，对材料性能的要求也有所不同。如设计电机、电器零件时要考虑材料的导电性；设计化工设备、医疗器械时要考虑材料的耐蚀性。大量的机械零件主要是在受力情况下工作的，因此选材时应首先考虑材料的力学性能。

每种材料的性能各不相同，为了在设计和制造机械零件时，比较和选用材料，对材料的各种性能常采用一定的指标作为评定标准，并定出统一的测试方法来测定各种性能指标。

第二节 材料的力学性能指标

材料的力学性能是材料抵抗外力作用的能力，常用的力学性能指标有强度、硬度、塑性、韧性和疲劳强度等。

一、强度和塑性

强度是材料抵抗变形和断裂的能力，塑性是材料产生塑性变形而又不破坏的性能，它们是通过拉伸试验来测定的。拉力试验能测出材料的静载荷（指缓慢增加的载荷）作用下的一系列基本性能指标，如弹性极限、屈服强度、抗拉强度和塑性等。进行拉伸试验时，先将材料加工成一定形状和尺寸的标准试样，如图1-1所示。然后在拉伸试验机上将试样夹紧，施加缓慢增加的拉力（载荷），一直到试样被拉断为止。在此过程中，试验机能自动绘制出载荷 F 和试样变形量 Δl 的关系曲线，此曲线叫作拉伸曲线。图1-2为低碳钢的拉伸曲线，图中的纵坐标是载荷 F ，单位为 N （牛顿）；横坐标是伸长量 Δl ，单位为 mm （毫米）。由图可见，当试样由零开始受载荷到 F_e 点以前，试样只产生弹性变形。此时去掉载荷，试样能恢复原来的形状，当载荷超过 F_e 点后，试样开始塑性变形，此时去掉载荷，试样已不能完全恢复原状，而出现一部分残留伸长。载荷消失后不能恢复的变形称为塑性（或永久）变形。当载荷达到 F_b 点时，图上出现水平线段，这表示

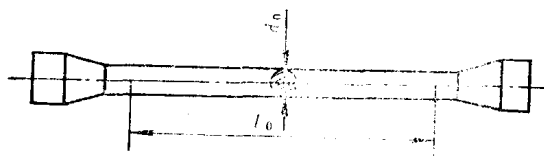


图1-1 圆形拉伸试样

载荷虽然不增加, 变形却继续增大, 这种现象叫作屈服现象。此时若继续加大载荷, 试样将发生明显变形伸长。当载荷增至 F_b 点时, 试样最弱的某一部位截面开始急剧缩小, 出现缩颈现象。由于试样截面缩小, 载荷逐渐降低, 当到达 k 点时, 试样便在缩颈处拉断。

(一) 强度指标

金属材料的强度指标有弹性极限、屈服点和强度极限, 用应力表示。材料受到外力(载荷)作用时, 在材料内部会产生一个与外力大小相等、方向相反的抵抗力(又称内力), 单位面积上的内力称为应力, 用符号 σ 表示。

(1) 弹性极限 弹性极限(弹性强度)是材料所能承受的、不产生永久变形的最大应力, 用符号 σ_e (MPa)表示。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0}$$

式中 F_e ——试样不产生塑性变形的最大载荷 (N);

S_0 ——试样原始截面积 (mm^2)。

(2) 屈服点(屈服强度) 屈服点是材料开始产生明显塑性变形(即屈服)时的应力, 用符号 σ_s (MPa)表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中 F_s ——试样发生屈服现象时的载荷 (N);

S_0 ——试样原始截面积 (mm^2)。

有些材料(如高碳钢)在拉伸曲线上没有明显的屈服现象, 它的屈服点很难测定。在这种情况下, 工程技术上把试样产生0.2%残留变形的应力值作为屈服点, 又称条件屈服点, 用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

机械零件在工作中一般不允许发生塑性变形, 所以屈服点是衡量材料强度的重要力学性能指标, 是设计和选材的主要依据之一。

(3) 强度极限(抗拉强度) 强度极限是材料在断裂前所能承受的最大应力, 用符号 σ_b (MPa)表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中 F_b ——试样在断裂前的最大载荷 (N);

S_0 ——试样原始截面积 (mm^2)。

强度极限反映材料最大均匀变形的抗力, 是材料在拉伸条件下所能承受的最大载荷的应力值。它是设计和选材的主要依据, 也是衡量材料性能的主要指标。当机械零件工作中承受的应力大于材料的抗拉强度时, 零件就会产生断裂。所以 σ_b 表征材料抵抗断裂的能力。 σ_b 愈大, 则材料的破断抗力越大。零件不可能在接近 σ_b 的应力状态下工作, 因为在这样大的应力下, 材料已经产生了大量的塑性变形, 但从保证零件不产生断裂的安全角度出发, 同时考虑 σ_b 测量简便, 测得的数据比较准确(特别是脆性材料), 所以有许多设计中直接用 σ_b 作为设计依据, 但要采用更大的安全系数。

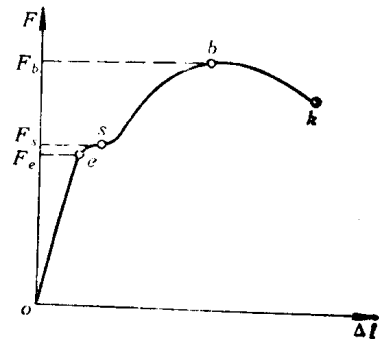


图1-2 低碳钢拉伸曲线图

(4) 弹性模量 (刚度) 弹性模量 E 是指材料在弹性状态下的应力与应变的比值, 即

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

式中 σ ——应力 (MPa);

ε ——应变, 即单位长度的伸长量 $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$ 。

弹性模量 E 表征材料产生单位弹性变形所需要的应力, 反映了材料产生弹性变形的难易程度, 在工程上称为材料的刚度。弹性模量 E 值愈大, 则材料的刚度愈大, 材料抵抗弹性变形的能力就愈大。

绝大多数的机械零件都是在弹性状态下进行工作的, 对其刚度都有一定的要求。提高零件刚度的办法除改变零件的截面尺寸或结构外, 从金属材料性能上考虑, 就必须增加其弹性模量 E 。弹性模量 E 的大小, 主要取决于材料的本性, 而合金化、热处理、冷变形等对它的影响很小。通常过渡族金属如铁、镍等具有较高的弹性模量。所以从刚度出发, 选用一般的钢材即可, 不必选用合金钢。一些金属的弹性模量如表1-1所示。

表1-1 常用金属弹性模量

金 属	$E(\text{MPa})$	$G(\text{MPa})$	金 属	$E(\text{MPa})$	$G(\text{MPa})$
铝 (Al)	72000	27000	铁 (Fe)	214000	84000
铜 (Cu)	121000	44000	镍 (Ni)	210000	84000
银 (Ag)	80000	27000	钛 (Ti)	118010	44670

注: G 为切变模量。

(二) 塑性指标

塑性是反映材料在载荷 (外力) 作用下, 产生塑性变形而不发生破坏的能力。材料塑性的好坏, 用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 来衡量。

伸长率 δ 是指试样拉断后的伸长量与试样原长度比值的百分数, 即

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

式中 L_1 ——试样拉断后的标距长度 (mm);

L_0 ——试样原来的标距长度 (mm)。

应当指出, 在材料手册中常可以看到 δ_5 和 δ_{10} 两种符号, 它分别表示用 $L_0 = 5d$ 和 $L_0 = 10d$ (d 为试棒直径) 两种不同长度试棒测定的延伸率。 L_1 是试棒的均匀伸长和产生细颈后伸长的总和, 相对来说短试棒中细颈的伸长量所占的比例大。故同一材料所测得的 δ_5 和 δ_{10} 值是不同的, δ_5 的值较大, 例如钢材的 δ_5 大约为 δ_{10} 的 1.2 倍。所以相同符号的伸长率才能进行相互比较。

断面收缩率 ψ 是指试样拉断处的横截面积的收缩量与试样原横截面积之比的百分数, 即

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

式中 S_1 ——试样拉断处的最小横截面积 (mm^2);

S_0 ——试样原横截面积 (mm^2)。

断面收缩率不受试棒标距长度的影响, 因此能更可靠反映材料的塑性。

材料的伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 的数值越大, 则材料的塑性越好。由于断面收缩率比伸长率能更真实地反映材料的塑性, 所以用断面收缩率比延伸率更为合理。

塑性是材料很重要的性能之一,它反映了材料的变形工艺性,塑性好的材料,易于冲压、拉深、冷弯、成形等。在零件设计时,往往要求材料具有一定的塑性,零件使用过程中偶然过载时,由于能发生一定的塑性变形而不致于突然破坏。同时,在零件的应力集中处,塑性能起着削减应力峰(即局部的最大应力)的作用,从而保证零件不致于早期断裂,这就是大多数零件除要求高强度外,还要求具有一定塑性的道理。但塑性指标不能直接用于设计计算,选材的塑性要求一般是根据经验。

二、硬度指标

硬度是指材料表面抵抗其它更硬物体压入的能力。它反映了材料局部的塑性变形抗力,硬度愈高,材料抵抗塑性变形的抗力愈大,塑性变形愈困难。因此,硬度指标和强度指标之间有一定的对应关系。

硬度试验的方法简单方便,又无损于零件,因此在生产和科研中得到普遍应用。

硬度也是材料重要的力学性能指标。常用的硬度有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。

(一) 布氏硬度

布氏硬度是用布氏硬度计测定的。其原理是在一定载荷的作用下,将一定直径的淬火钢球(或硬质合金圆球)压入材料表面,并保持载荷至规定的时间后卸荷,然后测得压痕的直径,根据所用载荷的大小和所得压痕面积,算出压痕表面所承受的平均应力值。这个应力值就是布氏硬度。布氏硬度用符号HBS(或HBW)表示,即

$$\text{布氏硬度} = \frac{F}{S} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F ——载荷(kgf);

S ——压痕凹印表面积(mm^2);

D ——钢球直径(mm);

d ——压痕直径(mm)。

若 F 的单位为N; D 、 d 单位为mm,则

$$\text{布氏硬度} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ MPa}$$

国标(GB231—84“金属布氏硬度试验方法”)规定,布氏硬度值在450以下用淬火钢球压头,用HBS表示;硬度值在450以上(含450)选用硬质合金钢球压头,并用HBW表示。

图1-3为布氏硬度试验原理示意图。

在进行硬度试验时,钢球直径 D ,施加载荷 F 与载荷保持时间,应根据测试材料的种类和硬度范围,按照表1-2布氏硬度试验规范进行选择。试验后只要用放大镜测得压痕直径,便可直接查表得到布氏硬度值。标注时只需标注其符号和数值而不标注单位,如200HBS、400HBS等。

布氏硬度的优点是测量的数据较准确,此外还可以根据布氏硬度近似地估算出金属材料的强度极限,其经验换算关系为:

低碳钢 $\sigma_b = 0.36\text{HBS}$; 高碳钢 $\sigma_b = 0.34\text{HBS}$;

调质合金钢 $\sigma_b = 0.325\text{HBS}$; 灰铸铁 $\sigma_b \approx 0.1\text{HBS}$ 。

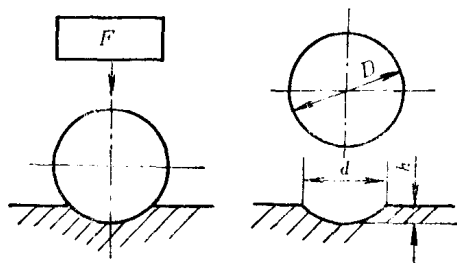


图1-3 布氏硬度试验原理示意图

表1-2 布氏硬度试验规范

材料种类	布氏硬度 使用范围	球 直 径 D (mm)	F/D^2 ($0.102F/D^2$)	试验载荷 F(kgf(N))	试验载荷保持时间 t(s)	其 它
钢, 铸铁	≥ 140	10	30	3 000 (29 420)	10	压痕中心距 试样边缘距离 不应小于压痕 平均直径的 2.5倍,两相邻 压痕中心距离 不应小于压痕 平均直径的 4 倍。
		5		750 (7 355)		
		2.5		187.5 (1 839)		
	< 140	10	10	1 000 (9 807)	10~15	
		5		250 (2 452)		
		2.5		62.5 (612.9)		
铜及铜合金	≥ 130	10	30	3 000 (29 420)	30	
		5		750 (7 355)		
		2.5		187.5 (1 839)		
	35~100	10	10	1 000 (9 807)	30	
		5		250 (2 452)		
		2.5		62.5 (612.9)		
轻金属及其合金	< 35	10	2.5	250 (2 452)	60	
		5		62.5 (612.9)		
		2.5		15.625 (153.2)		

注: 1. 试样厚度至少应为压痕深度的10倍。试验后, 试样支撑面应无可见变形痕迹。
2. 括号中的数字单位为N。

布氏硬度常用于测量退火、正火、调质钢件和铸铁及有色金属的硬度, 其缺点是压痕较大, 易损坏成品表面和不能测量较薄的试样。

(二) 洛氏硬度

洛氏硬度是以顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为1.588mm的钢球作为压头, 载荷分二次施加(初载荷为100N)的硬度试验法。洛氏硬度试验原理如图1-4所示。其硬度值是以压痕深度 h 来衡量, 但如果直接用压痕深度来计量指标, 则会出现材料愈硬, 压痕的深度愈小, 硬度读数愈小的状况, 这与通常习惯的表示方法相矛盾。因此, 洛氏硬度采用某个选定的常数 K , 减去压痕深度值 h , 并规定压痕深度0.002mm为一度, 则

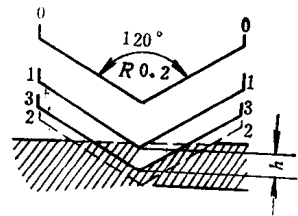


图1-4 洛氏硬度试验原理示意图

$$\text{洛氏硬度} = K - \frac{h}{0.002}$$

此值在硬度计上可直接读出。根据所用压头种类和所加载荷的不同, 洛氏硬度分为HRA、HRB、HRC三种级别。这三种级别的试验范围见表1-3。

表1-3 常用的三种洛氏硬度试验范围

符 号	压 头	总负荷(N)	硬度值有效范围	使用 范 围
HRA	120° 金刚石圆锥	588	60~85 HRA	测量硬质合金, 表面淬硬层或渗碳层
HRB	$\frac{1}{16}$ 钢球	900	25~100 HRB	测量有色金属或退火、正火钢等
HRC	120° 金刚石圆锥	1470	20~67 HRC	测量调质钢、淬火钢等

洛氏硬度操作简便、压痕小, 不损伤工件表面, 可以测量从较软到较硬的或厚度较薄的、面积较小的材料的硬度, 故洛氏硬度广泛应用于工厂热处理车间的质量检验。

(三) 维氏硬度

维氏硬度用符号HV表示, 它的测定原理基本上和布氏硬度相同, 根据压痕单位面积上所承受的载荷大小来测量硬度值, 不同的是维氏硬度采用锥面夹角 136° 的金刚石四棱锥体作为压头。它适用于测量零件表面硬化层及经化学热处理的表面层(如渗氮层)的硬度。

此外, 还有其它类型的硬度试验法, 例如测定大而笨的零件的硬度, 常用弹性回跳法的肖氏硬度试验法来测定, 其硬度值称为肖氏硬度, 用符号HS表示。

三、韧性指标

材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性, 其大小用冲击韧度表示, 可用一次冲击试验法来测定。将材料首先制成如图1-5的标准试样, 放在冲击试验机的支架上, 试样的缺口背向摆锤的冲击方向, 如图1-6a所示。将摆锤举到一定高度, 如图1-6b所示, 让摆锤自由落下, 冲击试样。这时, 试验机表盘上指针即指出试样折断时所吸收的功 A_{KV} , A_{KV} 值即代表材料冲击韧度的高低。但习惯是采用冲击韧度值 a_{KV} 来表示材料的冲击韧性。冲击韧度值是用击断试样所吸收的功除以试样缺口处的截面积表示。即:

$$d_{KV} = \frac{A_{KV}}{S}$$

式中 d_{KV} ——冲击韧度值 (J/cm^2);
 A_{KV} ——试样折断时所吸收的功 (J);
 S ——试样缺口处的截面积 (cm^2)。

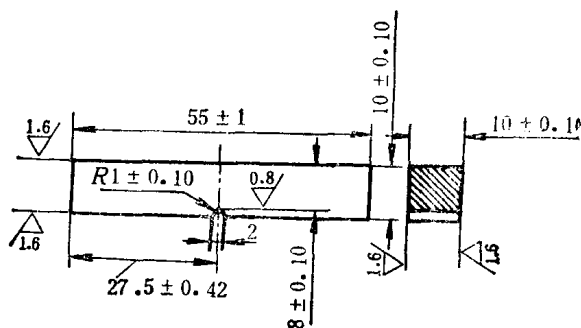


图1-5 冲击试验标准试样

冲击韧度值与试验的温度有关, 有些材料在室温时并不显示脆性, 而在较低温度下则可能发生脆断。为了确定材料(特别是低温使用的材料)由塑性状态向脆性状态转化的倾向, 可在不同温度下测定冲击韧度值, 并绘制成曲线, 如图1-7所示。由图可见, a_{KV} 值随温度的降低而减小。在某一温度范围时, a_{KV} 值突然下降。冲击韧度值发生突然下降时所对应的温度范围称为材料的脆性转变温度范围(又称冷脆转变温度)。此温度越低, 材料的低温冲击韧性越好。在低温和严寒地区工作的构件(如贮气罐、船体、桥梁、输送管道等)或零件, 要对脆性转化温度及在最低使用温度下应具有最低韧性值作出规定。

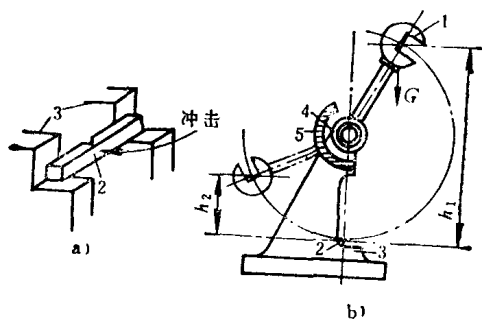


图1-6 摆锤式冲击试验原理示意图

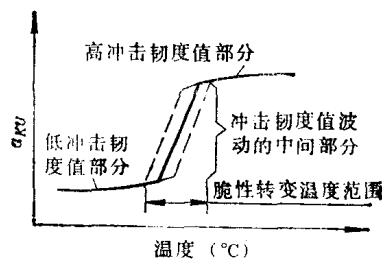


图1-7 温度对冲击韧度的影响