



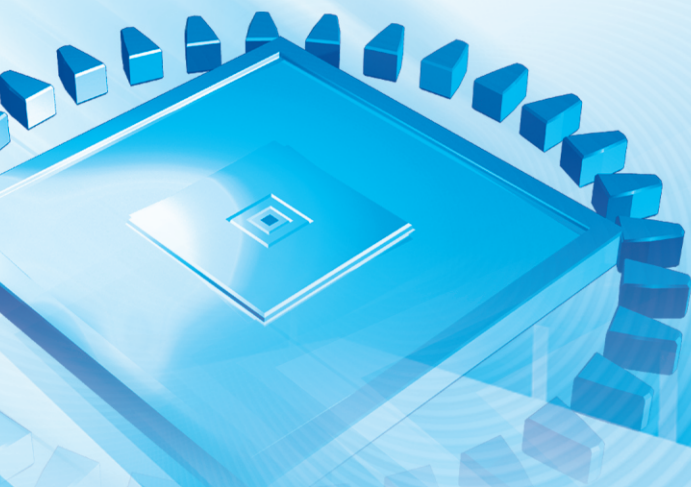
中等职业学校机电类专业规划教材
根据教育部最新教学指导方案编写

金属工艺学

JINSHU GONGYIXUE

主 编 谢乐林

副主编 练 勇 刘 平



电子科技大学出版社



101001001010 00001 1000 101 10101 101010100 0 101 0111 101 00
01001010 00001 1000 101 101

中等职业学校机电类专业规划教材

金属工艺学

主 编 谢乐林

副主编 练 勇 刘 平

电子科技大学出版社

内 容 提 要

为了适应中等职业教育的培养目标和教育特点,遵循“以必须、够用”为度和“强化应用、培养技能”的原则,突出中职教育特色,编写该书。

本书分为3大篇共16章另加附录,内容主要包括:材料的力学性能、金属材料的基础知识、铁碳合金、钢的热处理及表面强化技术、合金钢、铸铁、其他金属材料及金属的防护、非金属材料、材料及热处理的应用、铸造、锻压、焊接、机械零件毛坯的选择、金属切削基础知识、金属切削加工方法、机械零件制造工艺基础等。全书通俗易懂、实用性强,便于组织教学。

本书适用于机械、机电类等应用技术类专业的学生使用,也可作为相关行业人员培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学/谢乐林主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2007.5

ISBN 978-7-81114-459-8

I. 金... II. 谢... III. 金属加工—工艺学 IV. TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第061399号

金属工艺学

主 编 谢乐林

副主编 练 勇 刘 平

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段159号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

责任编辑: 汤云辉

发 行: 新华书店经销

印 刷: 四川墨池印务有限公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 14.875 字数 362千字

版 次: 2007年5月第一版

印 次: 2007年5月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-81114-459-8

定 价: 21.00元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 邮购本书请与本社发行部联系。电话:(028) 83202323, 83256027

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。

◆ 课件下载在我社主页 www.uestcp.com.cn “下载专区” 电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

前 言

本书是根据中职中专对技术应用型人才的培养目标和企业对人才的要求,参照中等职业学校金属工艺学教学大纲,为适应中等专科学校、中等职业技术学校工程技术类专业《金属工艺学》课程教学需要而编写的。根据编者多年的教学实践以及有关企业工程技术人员的意见,在编写本书时注意了以下几点:

(1) 在内容安排上,全书分为工程材料基础、金属热加工基础和金属切削加工基础 3 个部分;每个部分内容均以基础知识、基本理论和基本应用知识为主,适当增加部分选修内容。

(2) 在内容处理上,以基本知识为骨干,理论知识以应用为目的,以“必须、够用”为度,作适当的精简与合并;适当增加相关的实用知识。

(3) 在实验设置上,注重培养学生动手能力、分析问题和解决问题的能力。

(4) 在文字编排上,力求做到文字简练、图文并茂、通俗易懂,利于学生学习。

本书的内容简洁实用。删除了繁杂的理论推导,添加了生产、生活中的实例,注重实用性,便于培养学生理论联系实际的工作能力和技术应用能力。

本书的编写人员均来自教学第一线,有丰富的教学经验,了解学生心理,从篇章结构的安排到教学语言的陈述均考虑得较为合理,便于讲授和学生学习。

本书宜于对经过钳工和热加工实习后的较低年级学生讲授,参考学时数为 68~86 学时(包括实验),带*部分为选修内容。本书由谢乐林(第 5、6、7、8、9、10、12 章及金属工艺学实验)、练勇(第 1、2、3、4、11、13 章)、刘平(第 14、15、16 章)等老师编写,谢乐林任主编。

为了方便教师教学,我们免费为使用本套教材的师生提供电子教学参考资料包:

- ◆ PowerPoint 多媒体课件
- ◆ 习题参考答案
- ◆ 教材中的程序源代码
- ◆ 教材中涉及的实例制作的各类素材

有需要的教师可以登录教学支持网站免费下载。在教材使用中有什么意见或建议也可以直接和我们联系,电子邮件地址:scqcwh@163.com。

限于编者水平有限,错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

| | |
|----------|---|
| 绪论 | 1 |
|----------|---|

第 1 篇 工程材料基础

| | |
|--------------------------------------|----|
| 第 1 章 金属的力学性能 | 3 |
| 1.1 强度和塑性 | 3 |
| 1.1.1 拉伸试验 | 3 |
| 1.1.2 强度 | 4 |
| 1.1.3 塑性 | 4 |
| 1.2 冲击韧性和疲劳抗力 | 5 |
| 1.2.1 冲击韧性 | 5 |
| 1.2.2 疲劳抗力 | 6 |
| 1.3 硬度 | 7 |
| 1.3.1 布氏硬度 | 7 |
| 1.3.2 洛氏硬度 | 7 |
| 1.3.3 维氏硬度 | 8 |
| 1.3.4 硬度与其他力学性能及耐磨性的关系 | 8 |
| 【思考题】 | 8 |
| 第 2 章 金属材料的基础知识 | 10 |
| 2.1 金属与合金的组织结构 | 10 |
| 2.1.1 金属的晶体结构和组织 | 10 |
| 2.1.2 合金的相结构和组织 | 12 |
| 2.2 金属与合金的结晶 | 13 |
| 2.2.1 金属的结晶 | 13 |
| 2.2.2 合金的结晶 | 15 |
| 【思考题】 | 15 |
| 第 3 章 铁碳合金 | 16 |
| 3.1 铁碳合金状态图 | 16 |
| 3.1.1 铁的同素异晶转变 | 16 |
| 3.1.2 铁碳合金的基本相 | 16 |
| 3.1.3 Fe-Fe ₃ C 状态图 | 17 |
| 3.1.4 状态图在热加工中的应用 | 22 |
| 3.2 碳钢 | 22 |



| | | |
|-------|---|----|
| 3.2.1 | 钢材生产简介 | 22 |
| 3.2.2 | 碳钢成分对其性能的影响 | 23 |
| 3.2.3 | 碳钢的分类、牌号和用途 | 24 |
| 【思考题】 | | 26 |
| 第 4 章 | 钢的热处理及表面强化技术 | 27 |
| 4.1 | 钢热处理时的组织转变 | 27 |
| 4.1.1 | 钢加热时奥氏体的形成 | 27 |
| 4.1.2 | 奥氏体冷却时的组织转变 | 28 |
| 4.2 | 钢的预备热处理——退火与正火 | 32 |
| 4.2.1 | 钢的退火 | 32 |
| 4.2.2 | 钢的正火 | 33 |
| 4.2.3 | 预备热处理在零件制造中的应用 | 33 |
| 4.3 | 钢的最终热处理（一）——淬火与回火 | 34 |
| 4.3.1 | 钢的淬火 | 34 |
| 4.3.2 | 淬火钢的回火 | 36 |
| 4.3.3 | 钢的淬硬性与淬透性 | 37 |
| 4.4 | 钢的最终热处理（二）——表面热处理 | 39 |
| 4.4.1 | 钢的表面淬火 | 39 |
| 4.4.2 | 钢的渗碳 | 40 |
| 4.4.3 | 钢的渗氮 | 41 |
| 4.5 | 钢的表面强化技术 | 42 |
| 4.5.1 | 电镀硬铬和化学镀镍磷 | 42 |
| 4.5.2 | 气相沉积 TiN 和 TiC | 43 |
| 4.5.3 | 熔盐浸镀合金碳化物 | 43 |
| 4.5.4 | 其他表面强化技术 | 44 |
| 【思考题】 | | 45 |
| 第 5 章 | 合金钢 | 46 |
| 5.1 | 合金元素在钢中的作用 | 46 |
| 5.1.1 | 合金元素对钢基本相的作用 | 46 |
| 5.1.2 | 合金元素对 Fe-Fe ₃ C 状态图的作用 | 47 |
| 5.1.3 | 合金元素对钢热处理的作用 | 48 |
| 5.2 | 合金钢的分类和牌号表示方法 | 49 |
| 5.2.1 | 合金钢的分类 | 49 |
| 5.2.2 | 合金钢的牌号表示方法 | 50 |
| 5.3 | 合金结构钢 | 51 |
| 5.3.1 | 合金渗碳钢 | 51 |

| | | |
|-------|--------------|----|
| 5.3.2 | 合金调质钢 | 52 |
| 5.3.3 | 合金弹簧钢 | 53 |
| 5.3.4 | 滚动轴承钢 | 54 |
| 5.3.5 | 其他常用合金结构钢 | 55 |
| 5.4 | 合金工具钢与高速工具钢 | 56 |
| 5.4.1 | 合金工具钢 | 56 |
| 5.4.2 | 高速工具钢 | 58 |
| 5.5 | 不锈钢 | 59 |
| 5.5.1 | 不锈钢的耐蚀原理 | 59 |
| 5.5.2 | 常用不锈钢 | 60 |
| 【思考题】 | | 61 |
| 第 6 章 | 铸铁 | 62 |
| 6.1 | 概述 | 62 |
| 6.1.1 | 铸铁的分类 | 62 |
| 6.1.2 | 铸铁中碳的石墨化 | 62 |
| 6.2 | 灰铸铁 | 63 |
| 6.2.1 | 灰铸铁的组织与性能 | 64 |
| 6.2.2 | 灰铸铁的牌号和应用 | 64 |
| 6.2.3 | 灰铸铁的热处理 | 65 |
| 6.3 | 球墨铸铁 | 65 |
| 6.3.1 | 球墨铸铁的组织与性能 | 66 |
| 6.3.2 | 球墨铸铁的牌号和应用 | 66 |
| 6.3.3 | 球墨铸铁的热处理 | 67 |
| 6.4 | 其他铸铁 | 67 |
| 6.4.1 | 可锻铸铁 | 67 |
| 6.4.2 | 蠕墨铸铁 | 68 |
| 6.4.3 | 合金铸铁 | 68 |
| 【思考题】 | | 68 |
| 第 7 章 | 其他金属材料及金属的防护 | 69 |
| 7.1 | 铝及铝合金 | 69 |
| 7.1.1 | 工业纯铝 | 69 |
| 7.1.2 | 铝合金 | 69 |
| 7.1.3 | 铸造铝合金 | 71 |
| 7.2 | 铜及铜合金 | 71 |
| 7.2.1 | 工业纯铜 | 71 |
| 7.2.2 | 铜合金 | 72 |



| | | |
|-------|----------------------------|----|
| 7.3 | 滑动轴承合金 | 75 |
| 7.3.1 | 锡基轴承合金 | 75 |
| 7.3.2 | 铅基轴承合金 | 76 |
| 7.3.3 | 铝基轴承合金和铜基轴承合金 | 76 |
| 7.4 | 粉末冶金材料 | 77 |
| 7.4.1 | 硬质合金 | 77 |
| 7.4.2 | 其他粉末冶金材料 | 78 |
| 7.5 | 金属的防护 | 79 |
| 7.5.1 | 金属覆盖 | 79 |
| 7.5.2 | 非金属覆盖 | 79 |
| 7.5.3 | 化学及电化学处理 | 80 |
| | 【思考题】 | 80 |
| 第 8 章 | 非金属材料 | 81 |
| 8.1 | 高分子材料的基础知识 | 81 |
| 8.1.1 | 高分子化合物的概念 | 81 |
| 8.1.2 | 分子链的结构与特性 | 81 |
| 8.1.3 | 高分子材料的力学状态 | 82 |
| 8.1.4 | 高分子材料的分类 | 82 |
| 8.2 | 塑料 | 83 |
| 8.2.1 | 塑料的组成与特性 | 83 |
| 8.2.2 | 塑料的分类和常用塑料 | 83 |
| 8.2.3 | 塑料的成型与二次加工 | 85 |
| 8.3 | 其他常用非金属材料 | 86 |
| 8.3.1 | 橡胶 | 86 |
| 8.3.2 | 合成胶粘剂 | 87 |
| 8.3.3 | 陶瓷 | 88 |
| 8.3.4 | 复合材料 | 89 |
| | 【思考题】 | 90 |
| 第 9 章 | 材料及热处理的应用 | 91 |
| 9.1 | 材料的选用 | 91 |
| 9.1.1 | 机械零件的失效 | 91 |
| 9.1.2 | 选材的原则 | 92 |
| 9.1.3 | 选材的步骤与方法 | 92 |
| 9.1.4 | 选材示例 | 94 |
| 9.2 | 热处理技术条件的标注及热处理工序位置安排 | 96 |
| 9.2.1 | 热处理技术条件的标注 | 96 |

| | |
|------------------------|----|
| 9.2.2 热处理工序位置的安排 | 96 |
| 【思考题】 | 98 |

第2篇 金属热加工基础

| | |
|-----------------------------|-----|
| 第10章 铸造 | 100 |
| 10.1 合金的铸造性能与常用铸造合金 | 100 |
| 10.1.1 合金的铸造性能 | 100 |
| 10.1.2 常用的铸造合金 | 101 |
| 10.2 砂型铸造 | 102 |
| 10.2.1 砂型铸造过程简介 | 102 |
| 10.2.2 常见铸件缺陷 | 105 |
| 10.3 铸件图及铸件结构工艺性 | 106 |
| 10.3.1 铸件图 | 106 |
| 10.3.2 铸件结构工艺性 | 106 |
| 10.4 特种铸造及铸造方法的选择 | 109 |
| 10.4.1 特种铸造 | 109 |
| 10.4.2 常用铸造方法的比较和选择 | 112 |
| 【思考题】 | 114 |
| 第11章 锻压 | 115 |
| 11.1 锻造概述 | 115 |
| 11.1.1 锻造的作用 | 115 |
| 11.1.2 金属的锻造性能与锻造温度范围 | 116 |
| 11.1.3 常用金属材料的锻造性能 | 116 |
| 11.2 自由锻 | 117 |
| 11.2.1 自由锻的设备与基本工序 | 117 |
| 11.2.2 锻件图的绘制和坯料计算 | 119 |
| 11.3 模锻 | 122 |
| 11.3.1 锤上模锻 | 122 |
| 11.3.2 胎模锻 | 124 |
| 11.4 板料冲压 | 125 |
| 11.4.1 冲压设备 | 126 |
| 11.4.2 冲压基本工序 | 126 |
| 11.4.3 冲模的分类和构造 | 128 |
| 【思考题】 | 129 |
| 第12章 焊接 | 130 |
| 12.1 手工电弧焊 | 130 |



| | | |
|--------|------------------|-----|
| 12.1.1 | 手弧焊的工艺流程与冶金特点 | 130 |
| 12.1.2 | 焊条 | 131 |
| 12.1.3 | 手弧焊件的焊接质量 | 132 |
| 12.2 | 其他常用焊接方法与焊接方法的选择 | 133 |
| 12.2.1 | 其他常用焊接方法 | 133 |
| 12.2.2 | 常用焊接方法的选择 | 136 |
| 12.3 | 金属的焊接性能与焊件的结构工艺性 | 137 |
| 12.3.1 | 金属的焊接性能 | 137 |
| 12.3.2 | 焊件的结构工艺性 | 138 |
| 【思考题】 | | 139 |
| 第 13 章 | 机械零件毛坯的选择 | 140 |
| 13.1 | 毛坯选择的原则 | 140 |
| 13.2 | 机械零件毛坯的种类与选择 | 140 |
| 13.2.1 | 机械零件毛坯的种类与生产方法 | 140 |
| 13.2.2 | 零件毛坯选择的主要依据 | 142 |
| 13.2.3 | 常用零件毛坯的选择 | 142 |
| 13.3 | 毛坯选择示例 | 144 |
| 13.3.1 | 螺旋起重器结构与工作原理 | 144 |
| 13.3.2 | 螺旋起重器主要零件的毛坯选择 | 145 |
| 【思考题】 | | 145 |

第 3 篇 金属切削加工基础

| | | |
|--------|-------------|-----|
| 第 14 章 | 金属切削基础知识 | 147 |
| 14.1 | 金属切削工艺系统 | 147 |
| 14.1.1 | 金属切削机床 | 147 |
| 14.1.2 | 金属切削刀具 | 150 |
| 14.1.3 | 工件 | 154 |
| 14.1.4 | 机床夹具 | 155 |
| 14.1.5 | 六点定位原理 | 156 |
| 14.2 | 切削运动与切削用量 | 157 |
| 14.2.1 | 切削运动 | 157 |
| 14.2.2 | 切削用量和切削层参数 | 158 |
| 14.3 | 金属切削过程的基本规律 | 159 |
| 14.3.1 | 切削区的金属变形 | 160 |
| 14.3.2 | 切削力 | 161 |
| 14.3.3 | 切削热与切削温度 | 162 |
| 14.3.4 | 刀具的磨损及其耐用度 | 163 |

| | |
|----------------------------|-----|
| 【思考题】 | 164 |
| 第 15 章 金属切削加工方法 | 165 |
| 15.1 车床与车削加工 | 165 |
| 15.1.1 车床的类型与组成 | 165 |
| 15.1.2 车床的传动系统 | 166 |
| 15.1.3 车床附件及工件装夹 | 168 |
| 15.1.4 常用车刀的种类与结构 | 169 |
| 15.1.5 车削加工范围及常用车削方法 | 170 |
| 15.2 铣床与铣削加工 | 173 |
| 15.2.1 铣床的类型与组成 | 174 |
| 15.2.2 铣床的传动系统 | 176 |
| 15.2.3 铣床附件及工件装夹 | 176 |
| 15.2.4 铣刀的类型与常用铣刀 | 177 |
| 15.2.5 铣削加工特点及铣削用量 | 179 |
| 15.2.6 常用铣削加工方法 | 180 |
| 15.3 其他常用机床及其加工 | 186 |
| 15.3.1 钻床及其加工 | 186 |
| 15.3.2 刨床及其加工 | 187 |
| 15.3.3 磨床及其加工 | 189 |
| 15.4 数控机床加工与快速成形技术 | 191 |
| 15.4.1 数控机床加工简介 | 191 |
| 15.4.2 快速成形技术简介 | 192 |
| 15.5 精密加工与特种加工 | 193 |
| 15.5.1 精密加工简介 | 193 |
| 15.5.2 特种加工简介 | 194 |
| 【思考题】 | 196 |
| 第 16 章 机械零件制造工艺基础 | 197 |
| 16.1 概述 | 197 |
| 16.1.1 生产过程与工艺过程 | 197 |
| 16.1.2 机械加工工艺过程的组成 | 197 |
| 16.1.3 生产纲领与生产类型 | 198 |
| 16.2 零件的机械加工工艺规程 | 200 |
| 16.2.1 工艺规程的内容与作用 | 200 |
| 16.2.2 工艺文件 | 200 |
| 16.3 零件加工工艺路线的拟定 | 203 |
| 16.3.1 表面加工方法的选择 | 203 |



| | | |
|--------|-----------------|-----|
| 16.3.2 | 加工阶段的划分 | 204 |
| 16.3.3 | 加工顺序的安排 | 205 |
| 16.4 | 数控加工工艺简介 | 206 |
| 16.4.1 | 数控加工工艺的概念 | 206 |
| 16.4.2 | 数控加工工艺的特点 | 207 |
| 16.4.3 | 数控加工工艺的设计 | 207 |
| 【思考题】 | | 208 |
| 附录 | | 209 |
| 参考文献 | | 226 |

绪 论

材料、能源和信息技术是现代文明的三大支柱。材料是指人类能用来制作有用物件的物质，它是人类生活和社会发展的物质基础。按照材料的使用性能，材料可分为结构材料和功能材料两大类。结构材料的使用性能主要是力学性能，功能材料的使用性能主要是光、电、磁、热、声等物理性能。本教材主要介绍机械工程中常用的结构材料，以及与材料相关的热处理、热加工和机械加工知识。

机械工程材料可分为金属材料和非金属材料两大类。金属材料一般由冶金厂生产，并主要以各种冶金加工产品（板材、带材、型材、管材、线材等）的形式供用户使用。在机械制造中，可直接通过机械加工将冶金加工产品制成所需的机械零件，也可先通过锻造、铸造和焊接等热加工方法，把冶金产品成形为零件的毛坯，再进行切削加工以得到所需的机械零件。为改善金属的性能，在制造过程中常需对其进行热处理。最后，将各种合格的零件装配成机械产品。

《金属工艺学》是工程技术类专业的一门必修的技术基础课，其任务是使学生获得机械工程材料、热处理、金属材料的热加工以及金属切削加工的基本知识，并初步掌握其基本应用方法，为后续专业课程学习和今后从事相关技术工作奠定基础。本教材主要包括：

（1）工程材料基础——介绍金属材料的力学性能、金属学基本知识、常用金属材料及热处理、常用非金属材料及热处理的应用等知识。

（2）金属热加工基础——介绍金属材料的铸造、锻造、焊接等常用热加工成形工艺方法、工艺特点及其应用范围等。

（3）金属切削加工基础——介绍金属切削基础知识、金属切削加工方法、机械零件制造工艺基础等。

通过本课程的学习，应使学生达到以下基本要求：

（1）掌握常用金属材料的种类、牌号、热处理方法、性能特点和主要应用范围。了解常用非金属材料种类、特点和用途。

（2）初步掌握常用金属材料的选用方法及热处理工序位置的安排方法。

（3）了解金属材料常用热加工成形工艺方法的种类、特点及应用。

（4）初步掌握常用金属切削加工方法的种类、主要设备、工艺特点及加工范围。了解机械产品制造过程。

第 1 篇 工程材料基础

机械工程中使用的材料有金属材料和非金属材料两大类。金属材料又分为黑色金属材料（钢铁材料）和有色金属材料。钢铁材料不仅具有优良的力学性能和工艺性能，而且价格低廉，常用于制造各种机械零件和工具。有色金属材料（如铝合金、铜合金等）除具有较好的力学性能和工艺性能外，还具有良好的物理、化学性能（如电导性、耐蚀性等），常用于制造某些特殊性能的零件。金属材料（尤其是钢）还可通过热处理或其他工艺方法，进一步提高其力学性能和改善工艺性能。因此，金属材料（尤其是钢）在机械工程中的应用最为广泛。

非金属材料是除金属材料以外的其他材料，如塑料、橡胶、胶结剂、陶瓷、复合材料等。非金属材料具有许多独特性能并发展迅速，在机械工程中的应用愈来愈广泛。

第 1 章 金属的力学性能

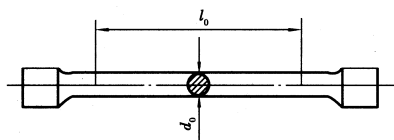
金属材料是机械制造中应用最广泛的工程材料，其性能包含工艺性能和使用性能两个方面：工艺性能是指材料为保证零件的加工质量、并能顺利加工所应具备的性能，如铸造性能、锻造性能、焊接性能和切削加工性能等；使用性能是指材料为保证零件正常工作、并获得一定工作寿命所应具备的性能，包括物理性能、化学性能和力学性能。由于机械零件或工具在工作时通常都承受一定的载荷，故用作机械零件和工具的材料主要应具有良好的力学性能。力学性能是指材料在载荷作用下所显现的性能，如强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳抗力等。

1.1 强度和塑性

金属材料在逐渐增大的外力作用下，通常会依次产生弹性变形、塑性变形直至断裂。弹性变形是外力去除后能完全消失的变形；塑性变形是外力去除后仍然保留的变形。测定金属材料强度和塑性的常用方法是拉伸试验。

1.1.1 拉伸试验

拉伸试验在拉伸试验机上进行。试验前应将被测金属制成 $l_0=10d_0$ （称为长试样）或 $l_0=5d_0$ （称为短试样）的圆形截面标准试样（如图 1-1 所示）。试验时将试样两端装夹在实验机的夹头上，开始缓慢施加拉伸力。随拉伸力缓慢增大，试样逐渐被拉长，直至断裂，并可测得拉伸力 F 与伸长量 Δl 的关系曲线（称为拉伸曲线），如图 1-2 所示。



d_0 —试样的原始直径

l_0 —试样的原始标距

图 1-1 圆截面拉伸试样

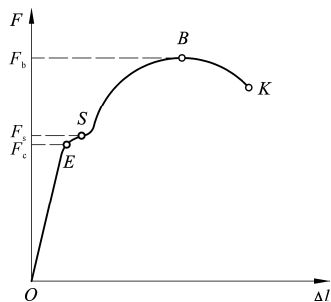


图 1-2 退火低碳钢的拉伸曲线

由拉伸曲线可见：当拉伸力 F 不超过 F_c 时，试样只发生弹性伸长；超过 F_c 后，试样开始出现微量塑性伸长；当达到 F_s 时，曲线上出现水平阶段，表示拉伸力 F 不增加而试样继续塑性伸长，此现象称为屈服；当拉伸力 F 超过 F_s 后，试样开始发生明显的均匀塑性伸长；当超过 F_b 时，试样某处横截面开始缩小（称为缩颈），直至到 K 点发生断裂。



1.1.2 强度

在外力作用下，金属抵抗塑性变形和断裂的能力称为强度。为消除尺寸因素的影响和便于比较不同金属的强度，故强度采用试样单位面积所承受的内力，即拉应力（符号为 σ ）来度量。拉伸试验测得的强度指标主要有弹性极限、屈服极限和抗拉强度。

1. 弹性极限

弹性极限是试样弹性伸长范围内承受的最大拉应力，用符号 σ_e 表示。其计算公式为：

$$\sigma_e = F_e / S_0 (\text{MPa})$$

式中， F_e 为试样在弹性伸长范围内承受的最大拉伸力，单位 N； S_0 为试样的原始截面积，单位 mm^2 。

弹性极限是表征在拉伸力作用下，金属抵抗开始塑性变形的能力。

2. 屈服点

屈服点是试样屈服时承受的拉应力，用符号 σ_s 表示。其计算公式为：

$$\sigma_s = F_s / S_0 (\text{MPa})$$

式中， F_s 为试样屈服时承受的拉伸力，单位 N； S_0 为试样的原始截面积，单位 mm^2 。

对没有明显屈服现象的金属材料，难以测定其 σ_s ，国标规定以产生 0.2% 残余塑性变形时的拉应力作为条件屈服极限，用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服极限或条件屈服极限是表征在拉伸力作用下，金属抵抗明显塑性变形的能力。

3. 抗拉强度

抗拉强度是试样断裂前承受的最大拉应力，用符号 σ_b 表示。其计算公式为：

$$\sigma_b = F_b / S_0 (\text{MPa})$$

式中， F_b 为试样拉断前承受的最大拉伸力，单位 N； S_0 为试样的原始截面积，单位 mm^2 。

抗拉强度是表征在拉伸力作用下，金属抵抗断裂的能力。

金属的强度愈高，其承载能力愈强，愈有利于节省金属材料。

1.1.3 塑性

在外力作用下，金属断裂前产生塑性变形的能力称为塑性。常用的塑性指标是伸长率和断面收缩率。

1. 伸长率

试样拉断后，标距长度的伸长量与原始标距长度的百分比称为伸长率，用符号 δ 表示。其计算公式为：

$$\delta = [(l - l_0) / l_0] \times 100\%$$

式中， l_0 、 l 分别为试样原始标距长度和拉断后的标距长度。

2. 断面收缩率

试样拉断后，颈缩处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率，用符号 ψ 表示。其计算公式为：

$$\psi = [(S_0 - S) / S_0] \times 100\%$$

式中， S_0 、 S 分别为试样的原始横截面积和拉断后颈缩处的最小横截面积。

金属材料的伸长率和断面收缩率愈大，其塑性愈好。塑性好的金属，因断前可产生大量的塑性变形，故不仅易于对其进行轧制、锻造和冲压，还有利于提高零件工作的安全性。

1.2 冲击韧性和疲劳抗力

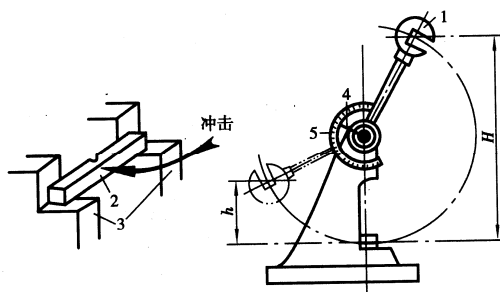
上述拉伸试验，作用于金属上的试验力是从零缓慢增至最大值的，这种试验称为静力试验。在工程中，某些零件承受的外力并非静力，而是冲击力或循环力。通过静力试验测得的性能（如强度、塑性），一般不能代表在冲击力和循环力作用下的性能。金属在冲击力和循环力作用下测得的性能，主要是冲击韧性和疲劳抗力。

1.2.1 冲击韧性

快速作用于零件的外力称为冲击力。在冲击力作用下，金属抵抗断裂的能力称为冲击韧性。

金属的冲击韧性指标在摆锤式冲击试验机（如图 1-3 所示）上，采用冲击试验法测定。先将被测金属制成带 U 型（或 V 型）缺口的标准冲击试样（如图 1-4 所示），再将试样放在试验机支座的支撑面上，缺口背向摆锤冲击方向，然后将重量为 G 的摆锤举至一定高度 H_1 ，最后摆锤自由落下将试样冲断，并反向摆至一定高度 H_2 。于是，以试样在一次冲断时所吸收的功即冲击吸收功 A_K ，作为冲击韧性的指标，单位为 J。其计算公式为：

$$A_K = G (H_1 - H_2)$$



1—摆锤；2—试样；3—支座；4—指针；5—表盘

图 1-3 摆锤式冲击试验

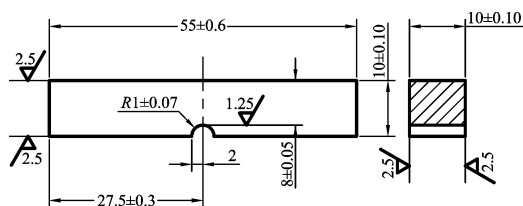


图 1-4 冲击试样（U 型缺口）

试验时， A_K 值可从试验机刻度盘上直接读出。我国习惯上以冲击韧度 a_k 作为冲击韧性指标，单位 J/cm^2 。其计算公式为：