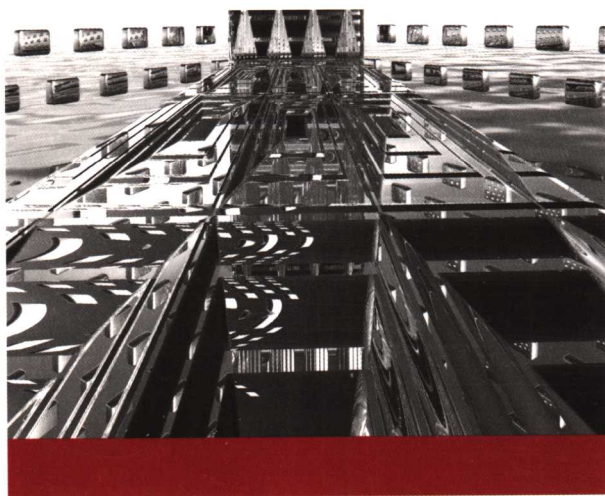


高等职业技能操作与实训教材

锻造工

宁海霞 汪浩 编



Chemical Industry Press



化学工业出版社
教材出版中心

高等职业技能操作与实训教材

锻 造 工

宁海霞 汪 浩 编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

锻造工/宁海霞,汪浩编. —北京:化学工业出版社,
2005.11

(高等职业技能操作与实训教材)

ISBN 7-5025-7913-3

I. 锻… II. ①宁…②汪… III. 锻造-高等学校:
技术学院-教材 IV. TG31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 138858 号

高等职业技能操作与实训教材

锻 造 工

宁海霞 汪 浩 编

责任编辑:高 钰 陈 丽

文字编辑:张燕文

责任校对:李 林

封面设计:潘 峰

*

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
化学工业出版社印刷厂印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 7 $\frac{3}{4}$ 字数 212 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7913-3

定 价:14.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

根据高职高专教育培养目标的要求,高职教育强调教学以实践技能、实用训练为主,高职机械工程类及相近专业培养的是满足工业和工程生产第一线的掌握现代机械制造技术的高等工程应用型人才。《锻造工》是与高职高专“机械制造基础”、“工程材料与材料成形基础”和“机械制造技术”等课程配套的实习实训教学用书。

本书在原有教学体系改革的基础上进一步从“工程化—技能化”着手,为学生在机械制造工艺技术应用能力的培养方面打好实践基础,使其具备必要的操作技能和一定的工程素质。目前,多数高职高专实训课程的教学及考核都与相关的技能认证挂钩,学生通过实习实训后应获得相关的职业技能证书,毕业后能直接成为生产第一线的高级技术型、工艺型应用人才,从而提高了学生的就业竞争力,更加符合社会市场的需要。

本书参照劳动和社会保障部职业技能鉴定中心组织编写的《职业技能鉴定指导》和《职业技能鉴定教材》,对锻造工的专业知识和技能操作要求,以该工种初级工及中级工的考核内容为主要依据,结合高职高专教学的实习实训要求,有针对性地按知识要求和技能要求组织内容,并附有权权威部门编写的部分专业工种技能考核试题,以便学生完成实习实训后参加技能鉴定考核。

本书由苏州市职业大学宁海霞、汪浩、罗晋平编写,江苏大学戈晓岚主审。

由于时间仓促,水平有限,不妥之处在所难免,恳望读者提出宝贵意见,给予批评指正。

编者

2005年9月

内 容 提 要

本书是根据高职高专教育培养目标的要求以及《职业技能鉴定教材—锻造工》一书编写的。

本书以锻造工种初级工、中级工的考核内容为主要依据,内容包括锻造材料、锻造基本理论、锻造材料的加热方法、常用锻造设备、典型锻造工艺、锻造操作方法、锻件的质量检测等。

本书结合高职高专本专业课程的理论教学,强化技能操作实践知识,对理论教学中涉及的基础知识适当删减和简化,以避免重复。本书同时附有权威部门编写的部分专业工种技能考核试题。

本书可作为高职高专院校机械工程及材料类专业实习实训教材,也可作为各类职业技术学校锻造工学生或技术工人考核鉴定前的参考用书和复习资料。

目 录

第 1 篇 基础知识篇

第 1 章 锻造材料	1
1.1 锻造材料的基本知识	1
1.2 金属材料的热膨胀性	9
1.3 钢锭和钢坯的缺陷	11
1.4 锻造下料	17
第 2 章 金属塑性变形理论基础	22
2.1 金属的软化过程	22
2.2 金属塑性变形的分类	25
2.3 金属塑性变形的基本定律	26
2.4 影响金属塑性变形的因素	29
2.5 热变形对金属组织和性能的影响	37
第 3 章 锻造材料的加热	40
3.1 锻造材料加热方法与加热用燃料	40
3.2 锻造加热炉	41
3.3 钢的加热温度的确定	44
3.4 加热温度的测定	55
3.5 加热对钢的组织 and 力学性能的影响	58
3.6 加热对钢的导热性和外形尺寸的影响	65
3.7 加热产生的缺陷与防止方法	66
3.8 锻件的冷却知识	70
第 4 章 锻造设备	72
4.1 常用锻压设备的性能参数、工作原理和调整方法	72
4.2 锻造加热设备与辅助设备	85
第 5 章 典型锻件的锻造工艺	93
5.1 典型自由锻件自由锻工艺	93

5.2 典型模锻件模锻工艺	94
---------------------	----

第2篇 工作技能篇

第6章 自由锻造和模型锻造的工艺流程	97
6.1 自由锻造	97
6.2 模型锻造	110
6.3 胎模锻造工艺分析	114
6.4 大型锻件的锻造方法	124
6.5 锻模预热、安装及维护	128
6.6 锻造工模具用材	131
第7章 锻造工艺规程的编制	135
7.1 自由锻锻件图的绘制方法	135
7.2 锻造比的计算	138
7.3 坯料质量的计算	140
7.4 拟定锻造工序方案的基本知识	142
7.5 锻造设备及工具的选择	147
7.6 确定火次及加热、冷却规范	151
第8章 高合金钢和有色金属的锻造	152
8.1 高合金钢的锻造	152
8.2 高速钢的锻造	153
8.3 不锈钢的锻造	161
8.4 高温合金的锻造	165
8.5 有色金属的锻造	167
第9章 锻件的质量检测及缺陷产生原因	179
9.1 锻件常用检测方法	179
9.2 自由锻造锻件的主要缺陷及产生原因	193
第10章 锻造操作	197
10.1 自由锻造	197
10.2 模型锻造	203
10.3 胎模锻造	211
附录I 锻造工实习实训技能鉴定考核试题	213
知识考核模拟试卷(一)	213
知识考核模拟试卷(二)	217

锻造工操作技能考核样题	221
附录Ⅱ 中华人民共和国工人技术等级标准——锻造工	228
第一部分 初级锻造工	228
初级锻造工知识要求	228
初级锻造工技能要求	229
初级锻造工工作实例	229
第二部分 中级锻造工	230
中级锻造工知识要求	230
中级锻造工技能要求	231
中级锻造工工作实例	231
第三部分 高级锻造工	232
高级锻造工知识要求	232
高级锻造工技能要求	233
高级锻造工工作实例	233
附录Ⅲ 中华人民共和国职业技能鉴定规范——锻造工	234
初级锻造工鉴定要求	234
中级锻造工鉴定要求	234
高级锻造工鉴定要求	235
参考文献	236

第 1 篇

基础知识篇

第 1 章 锻 造 材 料

1.1 锻造材料的基本知识

锻造所用材料主要是工业用钢，此外还有部分有色金属。

1.1.1 工业用钢

1.1.1.1 钢的分类

工业用钢品种繁多，为了便于生产、管理、选用和研究，必须对钢进行分类和编号，常用的分类方法如下。

(1) 按化学成分划分 工业用钢可分为碳素钢（简称碳钢）和合金钢两大类，碳素钢是指含碳量小于 2.11% 并含有少量 S、P、Si、Mn 等杂质的铁碳合金，合金钢是在碳素钢中有意识地加入一种或几种合金元素以改善其性能的钢。

碳钢按含碳量可分为低碳钢 ($C < 0.25\%$)、中碳钢 ($0.25\% \leq C \leq 0.60\%$) 和高碳钢 ($C > 0.60\%$)。

合金钢按合金元素总含量（以 Me 表示）可分为低合金钢 ($Me < 5\%$)、中合金钢 ($5\% \leq Me \leq 10\%$) 和高合金钢 ($Me > 10\%$)。

(2) 按质量划分 根据钢中有害杂质元素 S、P 含量的多少来评定，可分为普通钢 ($S \leq 0.050\%$, $P \leq 0.045\%$)、优质钢 ($S \leq 0.035\%$, $P \leq 0.035\%$) 和高级优质钢 ($S \leq 0.020\%$, $P \leq 0.030\%$)。

(3) 按用途划分 可分为结构钢、工具钢和特殊性能钢。结构钢主要用于制造各种机械零件和工程构件，一般属于低、中碳钢和低、中碳合金钢。工具钢主要用于制作各种刀具、模具和量具等，

一般属于高碳钢和高碳合金钢。特殊性能钢指具有某种特殊物理或化学性能的钢，如不锈钢、耐磨钢、耐热钢等。

此外，按冶炼方法不同可分为平炉钢、转炉钢和电炉钢。按冶炼时脱氧程度不同又可分为沸腾钢（脱氧不完全）、镇静钢（脱氧较完全）和半镇静钢（脱氧程度介于沸腾钢和镇静钢之间）。

1.1.1.2 常用钢的牌号及性能

(1) 碳素钢

① 普通碳素结构钢 其牌号由代表钢材屈服点的汉语拼音首位字母、屈服点值、质量等级符号、脱氧方法符号四个部分按顺序组成。质量等级共有四级，分别以 A ($S \leq 0.050\%$, $P \leq 0.045\%$)、B ($S \leq 0.045\%$, $P \leq 0.045\%$)、C ($S \leq 0.040\%$, $P \leq 0.040\%$)、D ($S \leq 0.035\%$, $P \leq 0.035\%$) 表示。脱氧方法符号分别用 F 表示沸腾钢、b 表示半镇静钢、Z 表示镇静钢、TZ 表示特殊镇静钢。通常钢号中 Z 和 TZ 可省略。例如，Q235-A.F，其中 Q 为钢材屈服点的汉语拼音首位字母；235 表示其 $\sigma_s \leq 235\text{MPa}$ ；A 表示质量等级为 A 级；F 表示为沸腾钢。

② 优质碳素结构钢 其牌号用两位数字表示，这两位数字具体表示钢中含碳量的万分之几。例如 45 钢，表示平均含碳量为 0.45% 的优质碳素结构钢。若钢中含锰量较高 ($0.7\% \leq \text{Mn} \leq 1.2\%$) 时，在牌号后面加上锰的化学元素符号，如 20Mn、65Mn 等。

常用的优质碳素结构钢的牌号有 08F 钢、20 钢、35 钢、40 钢、45 钢等，用于制造齿轮、连杆、轴类等重要零件。

③ 碳素工具钢 其牌号用“T+数字+质量级别”的方法来表示，T 为碳素工具钢的汉语拼音字首，其后数字表示其平均含碳量的千分之几，如为高级优质钢，则在数字后面加符号 A 表示。例如，T8 表示平均含碳量为 0.8% 的优质碳素工具钢，而 T8A 则表示平均含碳量为 0.8% 的高级优质碳素工具钢。

碳素工具钢主要用来制造刀具、模具和量具。这类钢要求高硬度和高耐磨性，因此其含碳量在 0.65%~1.35% 之间，全都属于优质级或高级优质的高碳钢。

(2) 合金钢

① 合金结构钢 我国合金结构钢的牌号采用“两位数字+元素符号+数字”的表示方法。前面两位数字表示平均含碳量的万分之几，合金元素符号后面的数字表示其含量的百分数。当合金元素平均含量为 $0.8\% \sim 1.5\%$ 时，只标出元素符号，而不标出数字；当其平均含量大于或等于 1.5 、大于或等于 2.5 、大于或等于 3.5 等时，则在元素符号后面相应标出 2 、 3 、 4 等。如 40Cr 钢，表示平均含碳量为 0.4% ，平均含铬量小于 1.5% 。

合金结构钢根据用途，又可分为下列几种类别。

a. 低合金结构钢 又称普通低合金钢，是在普通碳素钢（含碳量 $\leq 0.2\%$ ）的基础上加入少量（ $\leq 3\%$ ）合金元素制成的，其很多性能（特别是力学性能）优于普通碳钢。由于含碳量低，低合金结构钢有良好的塑性、韧性和焊接性，耐蚀性也比碳钢好，但冷冲压性能较差。目前广泛应用于桥梁、船舶、车辆、化工设备和农业机械中。其主要牌号有 16Mn 、 15MnVN 、 09MnNb 等。

b. 合金渗碳钢 其含碳量在 $0.10\% \sim 0.25\%$ 之间，主加元素为铬（ $< 0.3\%$ ）、锰（ $< 2\%$ ）、镍（ $< 4.5\%$ ）、硼等，辅加元素为少量钼、钨、钒、钛等碳化物形成元素，最终热处理常采用渗碳+淬火+低温回火。其主要牌号有 20Cr 、 20MnVB 、 20CrMnTi 、 $20\text{Cr}2\text{Ni}4$ 、 $18\text{Cr}2\text{Ni}4\text{W}$ 等，主要用于制造既承受冲击载荷作用，表面又受强烈磨损的零件，如变速齿轮、齿轮轴、活塞销等。

c. 合金调质钢 其含碳量一般为 $0.27\% \sim 0.50\%$ ，主加元素为锰、硅、铬、镍、硼，辅加元素为钨、钼、钛、钒等碳化物形成元素，最终热处理一般是采用调质处理，其主要牌号有 40Cr 、 35CrMo 、 30CrMnSi 、 40CrMnMo 等。合金调质钢主要用于制造承受较大交变载荷与冲击载荷的重要零件，如发动机曲轴、传动齿轮、汽车后桥半轴等。

d. 合金弹簧钢 其含碳量一般在 $0.45\% \sim 0.70\%$ 之间，主加合金元素为锰、硅、铬等，辅加元素为少量的钼、钨等，最终热处理常采用淬火+中温回火。其主要牌号有 $55\text{Si}2\text{Mn}$ 、 $60\text{Si}2\text{Mn}$ 、

50CrVA 等。合金弹簧钢主要用于制造汽车、机车、拖拉机上的板弹簧或圆弹簧及气阀、安全阀等耐热弹簧。

e. 滚动轴承钢 其含碳量高达 $0.95\% \sim 1.15\%$ ，铬是其基本元素，含量在 $0.40\% \sim 1.65\%$ 之间，最终热处理一般是淬火 + 低温回火。目前我国应用最广的轴承钢是 GCr15 和 GCr15SiMn，其平均含铬量以千分之几表示。前者用于制造中、小型轴承，后者用于制造较大型轴承，也可用来制造各种工具（刀具、冷冲模、量具）及性能要求与滚动轴承相似的耐磨零件。

② 合金工具钢 我国合金工具钢牌号表示法与合金结构钢相似，只有含碳量的表示法不同。当其平均含碳量大于或等于 1.0% 时，则含碳量不标出；当其平均含碳量小于 1.0% 时，则牌号前的数字表示含碳量的千分之几；但高速钢例外，其平均含碳量小于 1.0% 也不标出。合金元素的表示法与合金结构钢相同。例如 CrMn 钢表示平均含碳量大于或等于 1.0% ，平均含铬、锰量均小于 1.5% 的合金工具钢；9SiCr 表示平均含碳量为 0.9% ，平均含硅、铬量均小于 1.5% 的合金工具钢；而 W18Cr4V 则表示平均含碳量为 $0.7\% \sim 0.8\%$ ，含钨、铬、钒量分别为小于 18.5% 、 4.5% 、 1.5% 的高速工具钢。此外，由于合金工具钢都属于高级优质钢，故不再在牌号中标出 A。

合金工具钢按用途一般分为刀具钢、模具钢和量具钢。

a. 合金刀具钢 一般包括低合金工具钢和高速工具钢。

i. 低合金工具钢 在碳素工具钢的基础上加入少量 ($<5\%$) 合金元素（硅、铬、锰、钨、钒等），最终热处理采用淬火 + 低温回火，一般硬度为 $60 \sim 64\text{HRC}$ 。常用的牌号有 Cr2、9SiCr、CrWMn、9Mn2V 等。低合金工具钢可制作尺寸较大、形状复杂、受力大的刀具，如板牙、丝锥、铰刀等，但不能制作高速切削的刀具。

ii. 高速工具钢 简称高速钢，因它制作的刀具使用时，比低合金工具钢允许有更高的切削速度而得名。高速钢红硬性可达 600°C ，即在刃部切削温度达 600°C 时仍保持高硬度 ($>60\text{HRC}$)，并在切削时长期保持刃口锋利，所以又称“锋钢”。

高速钢的含碳量为 0.75%~1.65%，加入的合金元素有钨、铬、钼、钒、钴等。高速钢最终热处理的特点是淬火温度非常高（1200~1300℃），回火温度也很高（560℃），且要进行三次回火。常用高速工具钢的牌号有 W18Cr4V、W18Cr4V2Co 等，主要用来制作车刀、刨刀、钻头、齿轮铣刀、插齿刀等。

b. 合金模具钢 根据模具的工作条件不同，合金模具钢可分为冷作模具钢和热作模具钢。

i. 冷作模具钢 用于制造使金属在冷态下变形的模具，如冷冲模、冷挤压模、拉丝模等。最常用的专用冷作模具钢是 Cr12 型钢，其含碳量为 1.45%~2.30%，含铬量为 11%~13%。Cr12 型钢的常用牌号为 Cr12 和 Cr12MoV，最终热处理是淬火和低温回火。由于冷作模具钢的性能要求与合金刀具钢基本相近，故尺寸较小或形状不太复杂的模具也可用低合金工具钢制造，如 9SiCr、CrWMn、9Mn2V 等。此外，高速工具钢也可用于制造冷冲模、冷挤压模等。

ii. 热作模具钢 用来制造经加热的固态或液态金属在压力下成形的模具，其含碳量在 0.3%~0.6%，属于中碳钢，最终热处理是淬火后中温回火或高温回火。常用的压铸模具钢的牌号有 3Cr2W8V、4CrSi、4CrW2Si 等，而常用的热锻模具钢牌号有 5CrMnMo 和 5CrNiMo。

c. 合金量具钢 最常用的量具用钢为碳素工具钢和低合金工具钢，其热处理基本与刀具钢一样。碳素工具钢（如 T10A、T12A）只用于制作尺寸小、形状简单、精度要求低的量具，如量规、模套等。低合金工具钢（如 9SiCr、CrWMn、GCr15 等）则常用于制造高精度或形状复杂的精密量具，如塞规、块规等。

③ 特殊功能钢

a. 不锈钢 是指能抵抗大气腐蚀或酸、碱介质腐蚀的合金钢，它们主要用于制作耐蚀性和抗氧化性要求很高的各种零件、化工设备及管道等。按组织状态主要分为铁素体不锈钢（常用牌号为 0Cr13Al、1Cr17、00Cr27Mo 等）、马氏体不锈钢（常用牌号为 1Cr13、2Cr13 等）和奥氏体不锈钢（常用牌号为 0Cr18Ni9、

2Cr18Ni9 等) 三大类。按元素组成划分, 不锈钢主要有两种类型, 即铬不锈钢和铬镍不锈钢。

i. 铬不锈钢 常用铬不锈钢的牌号有 1Cr13、2Cr13 和 3Cr13 等, 通称 Cr13 型不锈钢。含碳量较低的 1Cr13 和 2Cr13 钢, 具有良好的抗大气、海水、蒸汽等介质腐蚀的能力, 塑性和韧性很好, 适用于制造在腐蚀条件下工作、承受冲击载荷的零件。含碳量较高的 3Cr13 钢, 经淬火后低温回火, 得到马氏体组织, 其硬度可达 50HRC 左右, 用于制造弹簧、轴承、医疗器械及在弱腐蚀条件下工作、承受冲击载荷的零件。

ii. 铬镍不锈钢 常用的铬镍不锈钢的牌号有 0Cr19Ni9、1Cr18Ni9 等, 通称 18-8 型不锈钢。这类钢经热处理后, 其耐蚀性、塑性和韧性都较 Cr13 型不锈钢好, 主要用于制造在强腐蚀介质中工作的设备, 如吸收塔、储槽、管道和容器等。

b. 耐热钢 在高温下具有抗氧化性能和较高强度的钢称为耐热钢。耐热钢可分为抗氧化钢与热强钢两类。

i. 抗氧化钢 是在高温下有较好的抗氧化能力, 并具有一定强度的钢。这类钢主要用于长期在高温下工作, 但强度要求不高的零件, 常用的抗氧化钢有 4Cr9Si2、1Cr13SiAl 等。

ii. 热强钢 是在高温下具有良好抗氧化能力, 并有较高的高温强度的钢, 常用的有 15CrMo、4Cr14Ni14W2Mo 等。15CrMo 钢是典型的锅炉用钢, 可以制造长期工作在 300~500℃ 的零件。4Cr14Ni14W2Mo 钢可以制造 600℃ 以下的工作零件, 如汽轮机叶片、大型发动机排气阀等。

c. 耐磨钢 主要用于承受严重磨损和强烈冲击的零件, 如车辆履带、破碎机颚板和球磨机衬板等, 因此, 要求耐磨钢具有良好的韧性和耐磨性。

高锰钢是目前最重要的耐磨钢, 其牌号主要是 ZGMn13。高锰钢通过塑性变形而产生强烈的加工硬化, 从而提高了工件的硬度, 使工件不易磨损, 从而提高其耐磨性。

除上述应用外, 高合金钢还在模具、量具制造中被采用。常用的高合金冷作模具钢有 Cr12、Cr12MoV 等, 高合金热作模具钢有

5Cr4W5Mo2V、3Cr2W8V等。在量具制造中，为了获得高的尺寸稳定性和高硬度、高耐磨性及足够的韧性、良好的耐蚀性，可选用4Cr13、9Cr18等高合金不锈钢。

1.1.2 有色金属

锻造生产中常用的有色金属为铜及铜合金、铝及铝合金和钛及钛合金等。

1.1.2.1 铜及铜合金

(1) 纯铜 又称紫铜，密度为 8.96g/cm^3 ，熔点为 1083°C ，无磁性。纯铜具有良好的导电性、导热性及抗大气腐蚀性，是重要的导电材料，广泛用于电工导体、防磁器械及传热体（如锅炉、制氧机中的冷凝器、热交换器等）。纯铜的强度低，塑性很好，具有良好的压力加工性能和焊接性能，易于冷、热加工成形。

工业纯铜按杂质的含量分为 T1、T2、T3 和 T4 四个牌号。T 为铜的汉语拼音字首，其后的数字越大，纯度越低。如 T1 的含铜量为 99.95%，而 T4 的含铜量为 99.50%，其余为杂质含量。

(2) 黄铜 是以锌为主要合金元素的铜合金。通常把铜锌二元合金称为普通黄铜；若加入了某些其他元素，则称复杂黄铜或特殊黄铜。特殊黄铜可分为锡黄铜、铅黄铜、铝黄铜等。

可压力加工的普通黄铜的牌号用“H+两位数字”来表示，H 为黄铜的第一个汉语拼音字母，后面数字为平均含铜量。例如 H70 表示平均含铜量为 70% 的普通黄铜。特殊黄铜的牌号用“H+主加元素符号（锌除外）+数字-数字”来表示，前面的数字表示平均含铜量，后面的数字表示其他元素（锌除外）的平均含量。例如 HPb59-1 表示平均含铜量为 59%、平均含铅量为 1%（余量为锌）的铅黄铜。

(3) 青铜 人类最早应用的青铜是一种铜锡合金，但现在工业上把以铝、硅、铍、锰、铅等元素为主的铜合金均称为青铜。压力加工青铜的牌号用“Q+主加元素符号+数字-数字”来表示，Q 为青铜的第一个汉语拼音字母，前面数字表示主加元素的平均含量，后面数字表示其他元素的平均含量。例如 QSn4-3 表示含锡量为 4%、含锌量为 3%、余量为铜的锡青铜。

1.1.2.2 铝及铝合金

(1) 纯铝 银白色的金属，密度为 2.72g/cm^3 ，熔点为 660°C ，导电性、导热性良好，在大气中有良好的耐蚀性，但不能耐酸、碱、盐的腐蚀。纯铝的强度和硬度很低，但塑性很高，可以冷、热变形加工。

(2) 铝合金 根据化学成分及加工方法的不同，一般将铝合金分为铸造铝合金和形变铝合金两大类。下面仅就形变铝合金加以介绍。

按 GB/T 16474—1996 规定，形变铝合金牌号采用四位字符表示，即用 $2\times\times\times\sim 8\times\times\times$ 表示。牌号的第一位数字是依主要合金元素 Cu、Mn、Si、Mg、Mg+Si、Zn、其他元素的顺序来表示形变铝合金的组别；第二位字母表示原始纯铝的改型，如字母是 A，则表示为原始纯铝；最后两位数字用来区分同一组中不同的铝合金。例如 2A11 表示以铜为主要元素的形变铝合金。

根据主要的性能特点和用途，形变铝合金主要分为以下四类。

① 防锈铝合金 这类合金属于铝-锰系或铝-镁系合金。这类合金不能进行时效强化，一般采用冷变形方法来提高其强度。防锈铝合金的塑性和焊接性很好，但切削加工性较差，主要用于制造各种高耐蚀性的薄板容器、防锈蒙皮、管道、窗框等受力小、质轻的制品与结构件。常用的牌号有 3A21、5A02、5A05 等。

② 硬铝合金 这类合金属于铝-铜-镁系三元合金。其强度、硬度显著提高，但耐蚀性较差，可加入适量的锰来改善耐蚀性，也可采用在硬铝表面包一层纯铝或包覆铝，以提高其耐蚀性。硬铝合金主要用来制造飞机上常用的铆钉、骨架、飞机翼肋、翼梁等受力构件。常用的牌号有 2A01、2A10、2A11、2A12 等。

③ 超硬铝合金 这类合金属于铝-铜-镁-锌系四元合金。超硬铝合金的抗拉强度可达 600MPa ，其比强度已相当于超高强度钢，故名超硬铝。超硬铝的耐蚀性较差，常用包铝法来提高耐蚀性。超硬铝合金主要用于制作受力大的结构零件，如飞机起落架、大梁、加强框、桁条等。目前最常用的超硬铝牌号是 7A04。

④ 锻造铝合金 这类合金多数为铝-铜-镁-硅系四元合金，元素种类虽较多，但含量少，因而有良好的热塑性，适于锻造。其力

学性能与硬铝相近，主要用于制造航空及仪表工业中各种形状复杂、受力较大的锻件或模锻件，如各种叶轮、框架、支杆等。其常用的牌号有 2A50、2A14 等。

1.2 金属材料的热膨胀性

1.2.1 常用锻造材料的线胀系数

(1) 线胀系数的计算 金属热胀冷缩的性能称为热膨胀性，简称热胀性。它是金属的诸多物理性能之一，常用金属的线胀系数见表 1-1。

表 1-1 常用金属的物理性能

金属名称	符号	密度 $\rho(20^{\circ}\text{C})$ /(kg/m^3)	熔点 / $^{\circ}\text{C}$	热导率/[W /($\text{m} \cdot \text{K}$)]	线胀系数 α_1 ($0 \sim 100^{\circ}\text{C}$)/ $10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$	电阻率 / $10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$
银	Ag	10.49×10^3	960.8	418.6	19.7	1.5
铜	Cu	8.96×10^3	1083	393.5	17	1.67~1.68(20°C)
铝	Al	2.7×10^3	660	221.9	23.6	2.655
镁	Mg	1.74×10^3	650	153.7	24.3	4.47
钨	W	19.3×10^3	3380	166.2	4.6(20°C)	5.1
镍	Ni	8.9×10^3	1453	92.1	13.4	6.84
铁	Fe	7.87×10^3	1538	75.4	11.76	9.7
锡	Sn	7.3×10^3	231.9	62.8	2.3	11.5
铬	Cr	7.19×10^3	1903	67	6.2	12.9
钛	Ti	4.508×10^3	1677	15.1	8.2	42.1~47.8
锰	Mn	7.43×10^3	1244	4.98(-192°C)	37	185(20°C)

一个物体有长、宽、高三个方向的尺寸，同时受热膨胀。表中列出的是线胀系数，用 α_1 表示。体胀系数约为线胀系数的三倍。线胀系数的计算式为

$$\alpha_1 = \frac{(L_2 - L_1)}{L_1 \Delta t}$$

式中 α_1 ——线胀系数， K^{-1} 或 $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；

L_1 ——膨胀前长度，mm；

L_2 ——膨胀后长度，mm；