

机械工人职业技能培训教材

初级

锻造工技术

机械工业职业技能鉴定指导中心 编

理论技能尽在其中



机械工业出版社

初级锻造工技术

机械工业职业技能鉴定指导中心 编



机械工业出版社

本书是机械工业部统编的《机械工人职业技能培训教材》之一。是按《工人技术等级标准》和国家《职业技能鉴定规范》(考核大纲)的要求,由中国第二重型机械集团公司承担编写的。主要内容包括初级锻造工应具有的相关专业基础知识、锻造材料及其加热、自由锻、胎模锻、模锻及锻造工的安全技术等。

本书除作为初级锻造工职业技能培训教材外,并可供有关技术人员和技工学校学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

初级锻造工技术/机械工业职业技能鉴定指导中心编.

—北京:机械工业出版社,1999.6

机械工人职业技能培训教材

ISBN 7-111-06731-2

I.初... II.机... III.锻造-工艺-技术培训-教材

IV.TG316

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第14259号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码:100037)

责任编辑:李铭杰 版式设计:张世琴 责任校对:罗凤书

封面设计:姚毅 责任印制:何全君

北京第二外国语学院印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999年10月第1版第1次印刷

850mm×1168mm^{1/32}·10.375印张·271千字

0 001—4 000册

定价:17.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

前 言

这套教材及试题库是为了与原劳动部、机械工业部联合颁发的机械工业《职业技能鉴定规范》配套，为了提高广大机械工人的职业技能水平而编写的。

三百六十行，各行各业对从业人员都有自己特有的职业技能要求。从业人员必须熟练地掌握本行业、本岗位的职业技能，具备一定的包括职业技能在内的职业素质，才能胜任工作，把工作做好，为社会做出应有的贡献，实现自己的人生价值。

机械制造业是技术密集型的行业。这个行业对其职工职业素质的要求比较高。在科学技术迅速发展的今天，更是这样。机械行业职工队伍的一半以上是技术工人。他们是企业的主体，是振兴和发展我国机械工业极其重要的技术力量。技术工人队伍的素质如何，直接关系到行业、企业的生存和发展。在市场经济条件下，企业之间的竞争，归根结底是人才的竞争。优秀的技术工人是企业各类人才中重要的组成部分。企业必须有一支高素质的技术工人队伍，有一批技术过硬、技艺精湛的能工巧匠，才能保证产品质量，提高生产效率，降低物质消耗，使企业获得经济效益；才能支持企业不断推出新产品去占领市场，在激烈的市场竞争中立于不败之地。

机械行业历来高度重视技术工人的职业技能培训，重视工人培训教材等基础建设工作，并在几十年的实践中积累了丰富的经验。尤其是在“七五”和“八五”期间，先后组织编写出版了《机械工人技术理论培训教材》149种，《机械工人操作技能培训教材》85种，以及配套的习题集、试题库和各种辅助性教材共约700种，基本满足了机械行业工人职业培训的需要。上述各类

教材以其行业针对性、实用性强，职业工种覆盖面广，层次齐备和成龙配套等特点，受到全国机械行业工人培训、考核部门和广大机械工人的欢迎。

1994年以来，我国相继颁布了《劳动法》、《职业教育法》，逐步推行了职业技能鉴定和职业资格证书制度。我国的职业技能培训开始走上了法制化轨道。为适应新形势的要求，进一步提高机械行业技术工人队伍的素质，实现机械、汽车工业跨世纪的战略目标，我们在组织修改、修订《机械工人技术理论培训教材》，使其以新的面貌继续发挥在行业工人职业培训工作中的作用的同时，又组织编写了这套《机械工人职业技能培训教材》和《技能鉴定考核试题库》，共87种，以更好地满足行业和社会的需要。

《机械工人职业技能培训教材》是依据原机械工业部、劳动部联合颁发的机械工业《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》编写的，包括18个机械工业通用工种。各工种均按《职业技能鉴定规范》中初、中、高三级“知识要求”（主要是“专业知识”部分）和“技能要求”分三册编写，适合于不同等级工人职业培训、自学和参加鉴定考核使用；对多个工种有共同要求的“基本知识”如识图、制图知识等，另编写了公共教材，以利于单科培训和工人自学提高。试题库分别按工种和学科编写。

本套教材继续保持了行业针对性强和注重实用性的特点，采用了国家最新标准、法定计量单位和最新名词、术语；各工种教材则更加突出了理论和实践的结合，将“专业知识”和“操作技能”有机地融于一体，形成了本套教材的一个新的特色。

本套教材是由机械工业相对集中和发达的上海、天津、江苏、山东、四川、安徽、沈阳等地区机械行业管理部门和中国第一汽车集团公司等企业组织有关专家、工程技术人员、教师、技师和高级技师编写的。在此，谨向为编写本套教材付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢！教材中难免存在不足和错误，诚恳希望专家和广大读者批评指正。

机械工业职业技能鉴定指导中心

目 录

前言

第一章 基础知识	1
第一节 金属材料的物理、力学性能	1
第二节 锻件的冷却和热处理	8
第三节 专业数学计算	17
第四节 传动基本知识	32
复习思考题	52
第二章 锻造材料及其加热	53
第一节 锻造材料	53
第二节 锻造加热	64
复习思考题	93
第三章 自由锻和胎模锻	94
第一节 自由锻设备及工具	94
第二节 自由锻基本知识	138
第三节 自由锻基本工序	149
第四节 胎模锻	183
第五节 常见锻件缺陷及消除方法	184
复习思考题	186
第四章 模锻	187
第一节 模锻设备及辅助设备	187
第二节 模锻方法的分类和工艺过程	231
第三节 一般锻模的使用与维护知识	266
第四节 典型模锻件的锻造	295
第五节 模锻件缺陷产生原因及消除方法	303
复习思考题	308
第五章 锻造工安全技术	310

第一节 锻造工操作安全技术	310
第二节 锻造设备及辅助设备使用的安全技术	312
第三节 锻造工自我安全保护方法	318
复习思考题	321

第一节 锻造工操作安全技术	310
第二节 锻造设备及辅助设备使用的安全技术	312
第三节 锻造工自我安全保护方法	318
复习思考题	321

第一章 基础知识

培训要求 了解金属材料的物理、力学性能及锻件冷却和热处理知识；掌握锻件生产的基本计算；了解与锻造工有关的机械传动知识。

第一节 金属材料的物理、力学性能

一、金属材料的分类

金属材料是现代工业、农业、国防、科技等部门使用最广泛的材料，也是锻造生产最主要的原材料。在自然界已发现的元素之中，金属元素要占 4/5，是非金属元素的好几倍。金属材料也就是由金属元素或以金属元素为主要原料，并具有金属特性的工程材料。它包括纯金属和合金两大部分。金属是指具有良好的导电性和导热性，有一定强度和塑性，并具有特殊光泽的物质。如铁、铜和铝等。而合金是指一种金属元素与其他元素熔合而成的具有金属特性的物质。

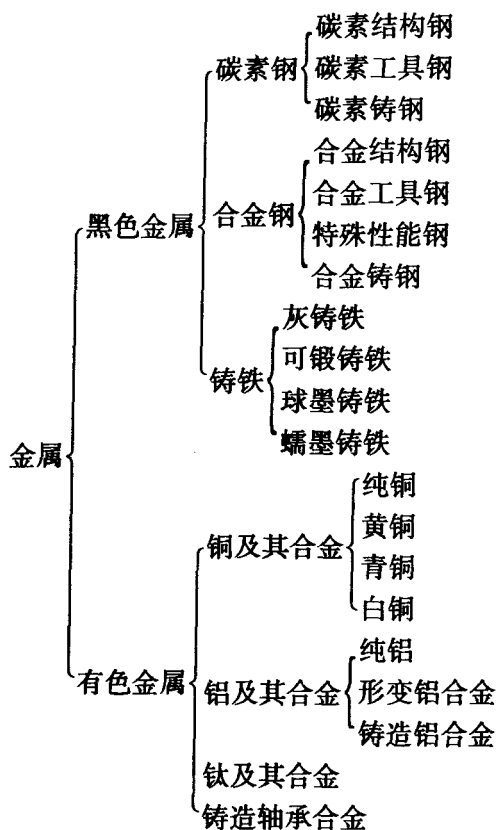
金属材料，尤其是钢铁材料在国民经济的各个领域里都有着重要的作用，其用途极为广泛，并能适应生产和科技发展的需要。这是由于它具有比其它材料优越的性能，比如物理性能、力学性能和工艺性能等。根据金属的颜色不同，通常把金属分为黑色金属和有色金属两大类。

1. 黑色金属 以铁或以铁为主而形成的物质称为黑色金属。如生铁、钢等。

2. 有色金属 除黑色金属以外的其它金属与合金称为有色金属。如铜、铝和钛及其合金等。

金属材料是现代机械制造业的基本材料，广泛应用于制造各种机器设备、工具、兵器和生活用品。在机械制造业中，常用的

金属材料有：



二、金属的物理性能

机械工业生产中使用的金属材料种类很多，为了能正确地加工和合理地选用金属材料，就必须充分了解和掌握金属的各项性能。金属的性能主要分为使用性能和工艺性能两方面。使用性能包括物理、化学和力学性能等；工艺性能主要包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。首先介绍金属的物理性能。

金属的物理性能是指金属在固态下所表现出来的一系列物理现象，是金属固有的属性。其中金属的密度、熔点、导热性和热

膨胀性等对锻造工艺有很大的影响。

1. 密度 密度是指金属单位体积的质量。其表达式见式(1-1)。

$$\rho = m/V \quad (1-1)$$

式中 ρ ——金属的密度 (kg/m^3);

m ——金属的质量 (kg);

V ——金属的体积 (m^3)。

不同的金属具有不同的密度,当体积相同时,密度越大,其质量就越大,金属的密度与它所制成的设备的自重和效能有直接关系。在机器制造业中,一般取密度小于 $5 \times 10^3 \text{kg}/\text{m}^3$ 的金属称为轻金属,将密度大于 $5 \times 10^3 \text{kg}/\text{m}^3$ 的金属称为重金属。

在实际生产中,常用密度公式计算大型机械零件的质量。在航天航空领域中,密度更是选用材料的关键性能指标之一。

2. 熔点 金属由固态熔化成液态时的温度称为熔点。也就是金属的固态和液态可以平衡共存的温度。各种纯金属都有固定的熔点。合金的熔点是随其成分的改变而变化的。如纯铁的熔点是 1538°C ,而钢和生铁都是铁碳合金,由于含碳量不同,熔点也就不同。金属的凝固点与其熔点相同。

熔点对于金属及合金的冶炼、铸造、锻造和焊接等是重要的工艺参数。常将熔点高 (700°C 以上) 的金属称为难熔金属,如钨、钼、钒等;将熔点低 (700°C 以下) 的金属称为易熔金属,如锡、铅、铋等。

3. 导热性 金属传导热量的性能称为导热性。是热量传导的一种基本方式。常用热导率 λ 表示。热导率越大,金属的导热性越好。

常用金属中导热性最好的是银,其次是铜和铝。导热性是金属重要的性能之一,在制定锻压、焊接、铸造和热处理工艺时,必须考虑材料的导热性,防止金属在加热和冷却过程中形成过大的内应力,以免材料发生变形和破坏。

一般金属的导热性比纯金属差些。在制造散热器、热交换器

与活塞等零件时，要选用导热性好的金属。金属的导热性和熔点对加热工艺都有影响。

4. 热膨胀性 金属热胀冷缩的性能称为热膨胀性。其大小用线 [膨] 胀系数 α_l 或体 [膨] 胀系数 α_v 来表示。线 [膨] 胀系数的计算见式 (1-2)。

$$\alpha_l = \frac{l_2 - l_1}{l_1 \Delta t} \quad (1-2)$$

式中 α_l ——线 [膨] 胀系数 (1/K 或 1/°C)；

l_1 ——膨胀前长度 (m)；

l_2 ——膨胀后长度 (m)；

Δt ——温度变化量 $\Delta t = t_2 - t_1$ (K 或 °C)。

体 [膨] 胀系数约为线 [膨] 胀系数的三倍。在实际工作中应考虑热膨胀的影响，例如在制订铸、锻、焊及热处理工艺时，必须考虑材料的热膨胀影响，以减少工件的变形和开裂；在热态测量锻件的尺寸或确定胎、模具模膛的尺寸时，也必须注意热膨胀的影响，以减少测量误差；在铺设钢轨时，两轨衔接之处应留有一定空隙，以便在长度方向有膨胀余地；在切削加工中，要防止因金属热膨胀性不同引起的测量误差。

5. 导电性 金属传导电流的性能称为导电性。常用电阻率 ρ 表示，单位是 $\Omega \cdot m$ 。电阻率越小，导电性就越好。几乎所有金属都能导电，但能力有大小，其中以银为最好，铜和铝次之。合金的导电性能比纯金属差。导电性好的金属适于做电器材料，导电性差的金属适于做电热和电阻元件。

6. 磁性 金属能导磁的性能称为磁性。具有导磁能力的金属都能被磁铁吸引。根据金属在磁场中受到磁化程度的不同，可分为铁磁性材料（如铁、钴等）、顺磁性材料（如锰、铬等）和抗磁性材料（如铜、锌等）三类。铁磁性材料在外磁场中能强烈地被磁化，顺磁性材料在外磁场中只能微弱地被磁化，抗磁性材料能抗拒或削弱外磁场对材料本身的磁化作用。

工程上实用的强磁性材料是铁磁性材料，可用于制造变压

器、电动机、测量仪表等。在切削加工时，可用磁性铁架固定百分表、千分表及其划针等，以调整和测量工件。在磨削加工时，可用磁性工作台来固定被加工的工件。还可以用磁性吸盘吊运钢锭和废钢等。有些金属的磁性并非固定不变，将随温度的改变而变化。如铁在 770℃ 以上就无磁性。铁磁性材料当温度升高到一定数值时，磁畴被破坏，变为顺磁体，这个转变温度称为居里点——磁性转变点。铁的居里点是 770℃。常用金属的物理性能见表 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 λ ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	线胀系数 $\alpha_l(0 \sim 100^\circ\text{C})$ /($\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)	电阻率 $\rho(0^\circ\text{C})$ /($10^{-6}\Omega\cdot\text{cm}$)
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℃)
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℃)	5.1
镍	Ni	4.5×10^3	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℃)	37	185(20℃)

三、金属的力学性能

任何机械零件工作时都受到外力的作用，在机械设备、工具的设计和制造中，选用金属材料时也多以力学性能为主要依据。所以认识和掌握金属的力学性能是十分重要的。

1. 基本概念

(1) 力学性能 所谓力学性能是指金属在外力作用时表现出

来的性能。

(2) 载荷 金属在加工及其使用过程中所受的外力称为载荷。也称负载或负荷。

按载荷作用的性质不同，一般可分为静载荷和动载荷。

1) 静载荷 指大小、方向不随时间变化的载荷。

2) 动载荷 指大小、方向分别或同时随时间而变化的载荷。动载荷中包括冲击载荷（很短时间或突然施加的载荷）、疲劳载荷（一定循环次数或呈周期性变化的载荷）和惯性载荷等。

按载荷的作用方式不同可分为拉伸载荷、压缩载荷、剪切载荷、扭转载荷和弯曲载荷等五种，如图 1-1 所示。

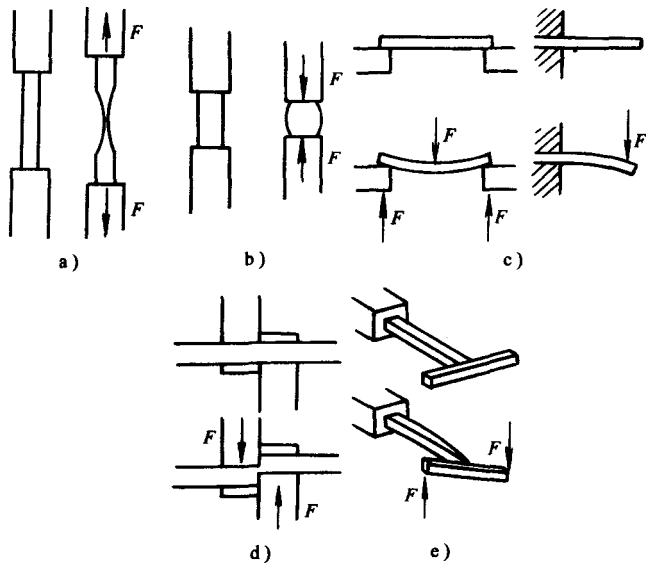


图 1-1 载荷的形式

a) 拉伸载荷 b) 压缩载荷 c) 弯曲载荷 d) 剪切载荷 e) 扭转载荷

(3) 变形 金属受到不同载荷的作用而发生的几何形状和尺寸的变化称为变形。一般可分为弹性变形和塑性变形两种。

1) 弹性变形 随载荷的卸除而消失的变形。

2) 塑性变形 随载荷的卸除而不能消失的变形。又称永久变形。

(4) 内力 在载荷的作用下, 金属内部会产生与载荷相对抗的力, 此抗力称为内力。

(5) 应力 单位截面积上的内力称为应力。其计算见式 (1-3)。

$$\sigma = F/A \quad (1-3)$$

式中 σ ——应力 (Pa);

F ——载荷 (N);

A ——横截面积 (m^2)。

2. 常用指标 力学性能的基本指标主要包括强度、塑性、硬度、冲击韧度和疲劳强度等。

(1) 强度 是指金属在静载荷的作用下, 抵抗塑性变形和断裂的能力。通常用应力来表示其大小, 它是金属材料的主要力学性能指标。一般多以抗拉强度作为判别金属强度高低的最基本指标。材料在拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度。用符号 σ_b 表示。

(2) 塑性 金属材料在断裂前产生塑性变形的能力称为塑性。具有良好塑性的金属材料, 有利于进行锻压、冷冲和冷拔等压力加工成形。衡量塑性的指标有断面伸长率和断面收缩率, 分别用 δ 和 φ 表示。

(3) 硬度 金属抵抗其它更硬物体压入其表面的能力称为硬度。它表示金属抵抗表面局部变形和破坏的能力, 因此是金属强度的又一种表现形式。常用硬度有布氏硬度和洛氏硬度两种。

(4) 冲击韧度 金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力称为冲击韧度。用符号 a_k 表示。

(5) 疲劳强度 金属材料在一定次数重复的疲劳载荷作用下 (钢在 $10^6 \sim 10^7$ 次、有色金属经受 $10^7 \sim 10^8$ 次) 而不被破坏的最大应力, 称为疲劳强度, 用符号 σ_{-1} 表示。力学性能常用指标及其含义见表 1-2。

表 1-2 常用的力学性能指标及其含义

力学性能	性能指标	含 义
强 度	抗拉强度 σ_b	试样拉断前承受的最大标称拉应力 拉伸过程中, 力不增加(保持恒定)仍能继续伸长(变形)时的应力 规定残余伸长率达0.2%时的应力
	屈服点 σ_s	
塑 性	伸长率 δ	标距的伸长与原始标距的百分比 缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比
	断面收缩率 ψ	
硬 度	布氏硬度值 HBS (HBW)	球形压痕单位面积上所承受的平均压力 HRC = 100 - e } 用洛氏硬度相应标尺刻度满 HRB = 130 - e } 量程残余压痕深度增量 (e) HRA = 100 - e } 之差计算的硬度值 正四棱锥形压痕单位面积上所承受的平均压力
	C 标 R 洛氏硬度值 HRC	
	B 标 R 洛氏硬度值 HRB	
	A 标 R 洛氏硬度值 HRA	
	维氏硬度值 HV	
韧 性	冲击韧度 α_k	冲击试样缺口处单位横截面积上的冲击吸收功
抗疲劳性	疲劳强度 σ_{-1}	对称循环时, 在指定循环基数(例 10^7)下的中值疲劳强度

第二节 锻件的冷却和热处理

一、锻件的冷却

锻件或锻坯从终锻温度冷至室温的过程称为锻件的冷却, 也称锻后冷却。它是锻造生产中的重要环节之一, 也是影响锻件质量的重要因素。正确地加热和合理的锻造可以获得高质量的锻件, 但因冷却不当, 有可能使锻件发生变形弯曲, 表面硬度过高和无法进行切削加工, 严重时甚至使锻件产生裂纹、白点而使锻件报废, 尤其对于高合金钢和大型锻件的锻后冷却更为重要。锻件的冷却按锻件的化学成分和其截面尺寸大小以及原材料质量等, 可以采用很多不同的冷却方法。冷却方式选择不当, 就会影响锻件质量。

1. 锻件冷却的缺陷

(1) 冷却裂纹 锻件冷却不当, 在各种应力综合作用下, 当

应力超过锻件强度时就会产生裂纹。主要的应力有锻后残余应力、温度应力和组织应力。

1) 锻后残余应力 在锻造过程中, 由于锻件各部分的变形温度、变形速度和变形程度都不同, 即锻件内部的应变和温度分布都是很不均匀的, 因而使金属内部产生相互作用的内应力。这些内应力在锻后不可能全部及时地被消除, 从而部分留存在锻件中, 成为残余应力。

2) 温度应力 冷却时, 总是外层金属先冷却, 体积发生收缩, 对内部金属产生压力, 而内部金属冷得慢些, 其收缩小于外层, 阻碍外层金属收缩, 使外层金属受拉力。这种外层金属受拉力而内部金属受压应力的现象称为温度应力。

3) 组织应力 在锻件的冷却过程中, 内部组织也会随温度的变化而发生转变, 由于不同的组织结构有不同的体积, 所以金属的体积将随着温度的变化而改变。因为温度分布的不均匀, 组织结构转变的先后次序也不同, 为此, 体积的变化也不均匀, 从而产生内应力, 即组织应力。例如奥氏体转变为珠光体时, 体积增加 1% 左右, 就会产生组织应力。

(2) 产生白点 用钢锭锻制的锻件, 冷却不当会在锻件的内部产生白点。白点是锻件冷却时产生的一种十分危险的缺陷, 主要是由于钢中的氢和组织应力共同作用的结果。白点在锻件的断面上表现为细微的脆性裂纹, 表面呈银白色, 其形状接近圆形和椭圆形, 使锻件力学性能急剧下降, 引起脆性断裂。对于白点敏感的钢, 例如马氏体和珠光体合金钢热处理时, 减少组织应力 and 防止白点就成为主要任务之一。而对于白点不敏感的钢, 例如奥氏体和莱氏体钢或钢液经真空处理, 氢含量降至 2×10^{-6} 以下者, 在冷却时基本上不会产生白点。

(3) 表面硬度过高和钢材变脆 当锻件的冷却速度过快时, 其内部的组织转变不一致, 冷却速度快的表面层会产生硬度过高的组织。对于过共析钢, 在 700°C 以上缓慢冷却时, 容易生成二次网状渗碳体, 使钢变脆, 在以后的热处理和其它加工过程中容