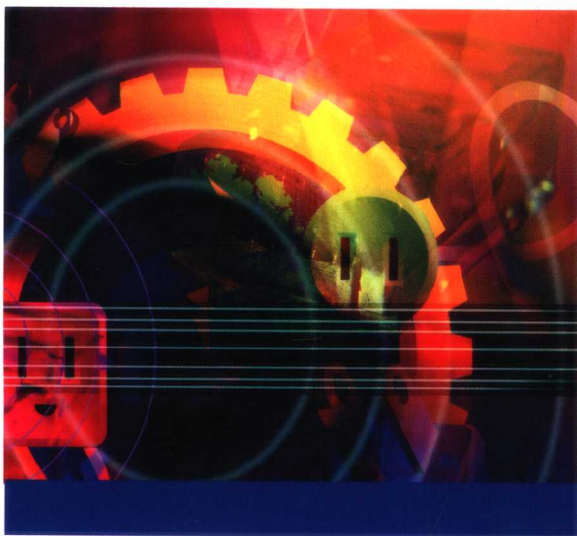


职业技能鉴定培训读本

高级工

锻造工

魏汝梅 主编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

职业技能鉴定培训读本（高级工）

锻 造 工

魏汝梅 主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

锻造工/魏汝梅主编. —北京: 化学工业出版社,
2004. 8

职业技能鉴定培训读本(高级工)

ISBN 7-5025-5982-5

I. 锻… II. 魏… III. 锻造-职业技能鉴定-教材
IV. TG31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 061045 号

职业技能鉴定培训读本 (高级工)

锻 造 工

魏汝梅 主编

责任编辑: 张兴辉 周国庆 姚晓敏

责任校对: 顾淑云 战河红

封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社

工业装备与信息工程出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京红光印刷厂印刷

北京红光印刷厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 13¼ 字数 349 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5982-5/TH·219

定 价: 28.00 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

《职业技能鉴定培训读本（高级工）》编委会

主 任 申尧民

委 员 （按姓氏笔画排序）

申尧民 刘勃安 关昱华 杨金展

李 固 张 宪 张利平 张增泰

陈志杰 郑惠萍 徐允长 魏汝梅

前 言

在科技突飞猛进、知识日新月异的今天，国际经济和科技的竞争越来越围绕人才和知识的竞争展开。工程技术是科学技术和实际应用之间的桥梁。随着社会和科学技术的发展，工程技术的范围不断扩大，手段日益丰富更新，但其强烈的实践性始终未变。在工程技术人才中，具有丰富实际经验的技术工人是不可或缺的重要组成部分。近年来技术工人队伍严重缺乏，已引起广泛重视。为此，教育部启动了“实施制造业和服务业技能型紧缺人才培养工程”。从2002年下半年起，国家劳动和社会保障部实施“国家高技能人才培养工程”，并建立了“国家高技能人才（机电项目）培养基地”。这是落实党中央、国务院提出“科教兴国”战略方针的重要举措，也是我国人力资源开发的一项战略措施。这对于全面提高劳动者素质，培育和发展劳动力市场，促进培育与就业结合，推行现代企业制度，深化国有企业改革，促进经济发展都具有重要意义。

《劳动法》第八章第六十九条规定：“国家规定职业分类，对规定的职业制定职业技能标准，实行职业资格证书制度，由经过政府批准的考核鉴定机构负责对劳动者实施职业技能考核鉴定”。《职业教育法》第一章第八条明确指出：“实施职业教育应当根据实际需要，同国家制定的职业分类和职业登记标准相适应，实行学历文凭、培训证书和职业资格证书制度”。职业资格证书是表明劳动者具有从事某一职业（或复合性职业）所必备的学识和技能的证明，它是劳动者求职、任职、开业的资格凭证，是用人单位招聘、录用劳动者的主要依据，也是境外从业与就业、对外劳务合作人员办理

技能水平公证的有效证件。

根据这一形势，化学工业出版社组织吉化集团公司、河北科技大学、天津大学、天津军事交通学院等单位有关人员，根据2000年3月2日国家劳动和社会保障部部长令（第6号）发布的就业准入的相关职业（工种），组织编写了一套《职业技能鉴定培训读本（高级工）》（以下简称《读本》），包括《工具钳工》、《检修钳工》、《装配钳工》、《管工》、《铆工》、《电焊工》、《气焊工》、《维修电工》、《仪表维修工》、《电机修理工》、《汽车维修工》、《汽车维修电工》、《摩托车维修工》、《车工》、《铣工》、《刨插工》、《磨工》、《镗工》、《铸造工》、《锻造工》、《钣金工》、《加工中心操作工》、《热处理工》、《制冷工》、《气体深冷分离工》、《防腐蚀工》、《起重工》、《锅炉工》等28种，以满足高级工培训市场的需要。本套《读本》的编写人员为生产一线的工程技术人员、高级技工，以及长期指导生产实习的专家等，具有丰富的实践和培训经验。

这套《读本》是针对高级技术工人和操作工而编写的，以《国家职业标准》和《职业技能鉴定规范》为依据，在内容上以中级作为起点，但重点为高级，注重实践性、启发性、科学性，做到基本概念清晰，重点突出，简明扼要，对基本理论部分以必须和够用为原则，突出技能、技巧，注重能力的培养。并从当前高级技工队伍素质的实际出发，努力做到理论与实际相结合，深入浅出，通俗易懂；面向生产实际，强调实践，书中大量实例来自生产实际和教学实践；在强调应用、注重实际操作技能的同时，反映新知识、新技术、新工艺、新方法的应用和发展。

本书为《职业技能鉴定培训读本（高级工）》之一。依据《国家职业标准》的要求，主要介绍了高级锻造工所必须掌握的基本知识和技能，内容包括：锻造的基本理论；材料要求；自由锻、模锻等方法的工艺过程、操作及应用；高合金钢与有色合金的锻造；以

及一些新型的特种锻造工艺和方法。

本书可作为高级锻造工的培训教材，也可供企业技术工人提高专业知识和工作技能参考。

由于编者水平所限，编写时间仓促，书中难免有缺点、错误，敬请读者指正。

编者

2004 年 5 月



第 1 章 基础知识	1
1.1 锻造概论	1
1.1.1 锻造分类	1
1.1.2 锻造的特点	1
1.1.3 锻造加工适用范围	2
1.2 金属材料的性能	2
1.2.1 金属的物理性能	2
1.2.2 金属的化学性能	3
1.2.3 金属的力学性能	3
1.3 金属材料的构造与铁碳状态图	8
1.3.1 金属的结晶	10
1.3.2 合金的构造	13
1.3.3 铁碳合金状态图简介	15
1.4 锻造用金属材料	19
1.4.1 锻造用钢	19
1.4.2 钢锭与钢坯	25
1.4.3 锻造用有色金属	26
1.5 钢的热处理	30
1.5.1 退火与正火	31
1.5.2 淬火与回火	32
1.5.3 钢的表面处理	36
1.6 钢的火花鉴别与硬度测定	37
1.6.1 钢的火花鉴别	37
1.6.2 硬度测定	44
第 2 章 金属塑性变形理论基础	47
2.1 金属塑性变形实质	47

2.1.1	金属材料在受力后的变形过程	47
2.1.2	单晶体金属的塑性变形	48
2.1.3	多晶体金属的塑性变形	52
2.2	塑性变形对金属组织和性能的影响	55
2.2.1	塑性变形对金属性能的影响	55
2.2.2	塑性变形金属组织的变化	55
2.2.3	形变织构	57
2.2.4	形变内应力	57
2.3	变形金属在加热时组织和性能的变化	58
2.3.1	回复、再结晶	58
2.3.2	再结晶后的晶粒长大	59
2.3.3	再结晶温度	60
2.3.4	再结晶退火后的晶粒度	62
2.4	金属与合金的热变形加工	64
2.4.1	冷加工变形与热加工变形	64
2.4.2	热加工对金属材料组织和性能的影响	65
2.4.3	锻造比	67
2.5	锻压工艺基础	70
2.5.1	剪应力定律	71
2.5.2	金属在塑性变形时存有弹性变形	71
2.5.3	体积不变规则	72
2.5.4	最小阻力定律	72
2.6	可锻性	74
2.6.1	金属的化学成分和组织对可锻性的影响	74
2.6.2	加工条件的影响	75
2.6.3	应力状态的影响	77
2.6.4	提高金属可锻性的主要途径	78
第3章	材料准备和锻前加热	79
3.1	下料	79
3.1.1	剪切	79
3.1.2	冷折法	80
3.1.3	锯切	81
3.1.4	砂轮切割	81

3.1.5	气割	81
3.2	燃料与燃烧	81
3.2.1	燃料	81
3.2.2	燃料的燃烧	84
3.3	锻前加热	86
3.3.1	加热方法	86
3.3.2	钢在加热时的性能变化	90
3.3.3	锻造温度范围的确定	98
3.3.4	金属的加热规范	100
3.3.5	少氧化化加热	112
第4章	自由锻	118
4.1	概述	118
4.2	自由锻工序与锻件分类	119
4.2.1	自由锻工序	119
4.2.2	自由锻件分类及基本工序选用	120
4.3	自由锻基本成形的分析	126
4.3.1	墩粗	126
4.3.2	拔长	133
4.3.3	冲孔	139
4.3.4	扩孔	141
4.4	自由锻锤	144
4.4.1	空气锤	145
4.4.2	蒸汽-空气自由锻锤	152
4.5	锻造液压机	159
4.5.1	液压机工作原理、特点及基本参数	159
4.5.2	液压机的动力装置	162
4.5.3	液压机本体结构	165
4.5.4	主要辅助装置	171
4.6	自由锻工艺规程的编制	174
4.6.1	锻件图的制订	174
4.6.2	坯料质量和尺寸的确定	176
4.6.3	确定锻造工序	178
4.6.4	自由锻设备能力选定	178

4.6.5 自由锻工艺规程编制举例	179
4.7 自由锻件锻造工艺举例	183
4.7.1 大型自由锻件的锻造工艺	183
4.7.2 其他类型锻件锻造工艺实例	191
4.8 胎模锻造	195
4.8.1 胎模锻的特点	195
4.8.2 胎模分类	196
第5章 模锻	198
5.1 概述	198
5.1.1 模锻分类	198
5.1.2 模锻生产优缺点	198
5.2 锤上模锻	199
5.2.1 模锻件分类	200
5.2.2 模锻锤	202
5.2.3 模锻件图设计	208
5.2.4 锻模模膛及其设计基本知识	217
5.2.5 锻模材料及锻模使用维修	251
5.3 其他设备上模锻	253
5.3.1 热模锻曲柄压力机上模锻	253
5.3.2 螺旋压力机上模锻	263
5.4 模锻后续工序	269
5.4.1 切边与冲孔	269
5.4.2 校正与精压	271
第6章 锻件的冷却和热处理	275
6.1 锻件的冷却	275
6.1.1 锻件冷却常见缺陷产生原因及防止	275
6.1.2 锻件的冷却方法	277
6.1.3 锻件的冷却规范	278
6.2 锻件热处理	278
6.2.1 中小锻件热处理	279
6.2.2 大型锻件热处理	279
6.3 锻件的清理	281
6.3.1 化学清理	281

6.3.2	滚筒清理	282
6.3.3	喷砂(丸)清理	282
6.3.4	抛丸清理	283
6.3.5	振动清理	283
6.4	锻件检验	283
6.4.1	锻件几何形状与尺寸的检验	285
6.4.2	锻件表面质量检验	285
6.4.3	锻件内部缺陷和组织检验	288
6.4.4	锻件力学性能试验	291
6.4.5	化学成分检验	291
第7章	高合金钢与有色合金的锻造	292
7.1	合金结构钢和合金工具钢锻造	292
7.1.1	可锻性和锻造比	292
7.1.2	锻造工艺特点	293
7.2	高速钢和 Cr12 型模具钢锻造	295
7.2.1	高速钢锻造	296
7.2.2	Cr12 型模具钢锻造	303
7.3	不锈钢锻造	305
7.3.1	概述	305
7.3.2	不锈钢的锻造特点	306
7.3.3	不锈钢的锻后冷却与热处理	307
7.4	高温合金锻造	308
7.4.1	概述	308
7.4.2	可锻性	309
7.4.3	锻造工艺特点	311
7.4.4	锻后冷却与热处理	313
7.5	铝合金和镁合金的锻造	314
7.5.1	铝合金的锻造	314
7.5.2	镁合金的锻造	317
7.6	铜合金和钛合金的锻造	319
7.6.1	铜合金锻造	319
7.6.2	钛合金的锻造	322
第8章	特种锻造工艺	328

8.1 精密模锻	328
8.1.1 概述	328
8.1.2 精密模锻设计及工艺特点	329
8.2 挤压	330
8.2.1 概述	330
8.2.2 挤压的设计与工艺特点	333
8.3 辊轧工艺	335
8.3.1 辊锻	335
8.3.2 横轧工艺	337
8.3.3 环形件轧制（扩孔工艺）	341
8.3.4 齿轮轧制	343
8.4 径向锻造	343
8.4.1 原理	344
8.4.2 径向锻造工艺	345
8.4.3 径向锻造的优点与应用	345
8.5 粉末锻造	346
8.5.1 粉末锻造的工艺过程	346
8.5.2 粉末锻造的特点与应用	348
8.6 摆动碾压	349
8.6.1 摆动碾压的工作原理	349
8.6.2 摆动碾压的特点与应用	350
8.7 超塑性成形	352
8.7.1 概述	352
8.7.2 超塑性成形工艺与锻件图	353
8.7.3 超塑性成形的特点与应用	356
8.8 高速锤锻造	357
8.8.1 概述	358
8.8.2 高速锤的工作原理与特点	358
8.8.3 高速锤锻造的工艺特点	359
8.8.4 锻件分类与成形方法	361
8.8.5 变形能量计算	362
附录	364
附录 1 部分碳钢及合金钢各国牌号对照	364

附录 2	部分变形高温合金钢各国牌号对照	377
附录 3	变形铝合金、镁合金、钛合金、铜合金各国牌号对照	379
附录 4	自由锻件机械加工余量与公差	382
附录 5	台阶和凹挡的锻出条件和法兰的最小锻出宽度	396
附录 6	锤上模锻件模锻斜度数值表	399
参考文献		400

第1章 基础知识

1.1 锻造概论

通过外力的作用，使金属产生塑性变形，获得具有一定形状、尺寸和力学性能的毛坯或零件的加工方法称锻压。

常见的锻压生产方式有轧制、拉拔、挤压、锻造、冲压等。其中锻造生产在工业生产中具有很重要的地位，广泛应用在工矿、交通等行业中。

1.1.1 锻造分类

锻造分自由锻造和模型锻造两大类。它们都是通过金属体积的转移和分配来获得毛坯的加工方法。为使金属有较好的塑性和便于加工，一般都在热态下加工，故常称为热锻。

自由锻是金属坯料在上、下砧铁间受到压力产生塑性变形的加工方法。

模锻（或称模型锻）是将金属坯料放在锻模模膛内，在压力作用下，使金属在模膛内变形的加工方法。

随着生产技术的发展，锻造中也引入轧、挤等方法，如用辊锻方法生产连杆、用挤压方法生产汽阀、转向轴等，这样既扩展了锻造领域也提高了生产率。

1.1.2 锻造的特点

锻造制成的毛坯和零件应用广泛，它主要具有以下特点。

① 金属材料经过锻造后，可改善组织，提高力学性能。铸态材料经过锻造、轧制或挤压后，可使铸态组织的一些缺陷（如气

孔、缩孔等)压合,晶粒细化,性能提高。

② 锻造加工主要依靠金属在塑性状态下的体积转移,不需要切除金属,因此锻件的材料利用率较高、流线分布合理,使工件强度提高。

③ 模型锻造、挤压、辊轧等加工制得的零件具有力学性能好、表面光洁、精度高、刚度大,且容易实现机械化、自动化,具有较高的生产率。

但锻造生产是使金属在固态下流动成形,因此,变形量不能太大,工件形状不能太复杂;而且锻压设备和模具等的投资较大;其中自由锻件表面质量稍差,生产率也较低。

1.1.3 锻造加工适用范围

锻造产品广泛应用于国民经济各行各业中,如机械、电子、交通运输、矿山、动力装备及军工产品中。主要有以下几方面的应用:

- ① 受力复杂,承受重载、动载的重要零件,如大部分机器中的主轴、曲轴、传动轴、齿轮、连杆等;
- ② 工具、模具上的主要零件,如各类模块、导柱、拉杆等;
- ③ 军工器械,如炮筒、枪械及其他零件等。

1.2 金属材料的性能

金属材料的性能主要有使用性能、工艺性能等。

使用性能包括物理性能、化学性能和力学性能。而工艺性能是指金属材料在进行某种加工方法时的难易程度及适应性,如铸造性能、可锻造、可焊性、可切削性等,本章主要阐述使用性能。

1.2.1 金属的物理性能

金属的物理性能包括密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性等。现分述如下。

(1) 密度 单位体积的质量称密度。其单位为 g/cm^3 。

(2) 导热性 物体传导热量的性能叫导热性,以热导率 λ 表

示, 其单位为 $W/(m \cdot ^\circ C)$ 。热导率越大材料的导热性就越好。金属材料在加热和冷却过程中, 由于坯料(或锻件)的表面和心部的温度不同, 其体积具有不同的膨胀和收缩, 从而产生内部应力, 当内应力大于金属强度极限时, 坯料就会产生破裂。材料导热性越差, 在加热和冷却时, 其内、外温差就越大, 使坯料易产生破裂。故对导热性差的金属材料, 其加热和冷却应缓慢。

(3) 热膨胀性 物体在加热时体积膨胀的性能。一般用线膨胀系数表示, 单位为 $^\circ C^{-1}$, 即物体温度升高 $1^\circ C$ 所增长的长度与原有长度之比。热锻件图的尺寸和锻模模膛的尺寸即以线膨胀系数为依据去计算的。另外, 在坯料和锻件的加热和冷却时, 也要考虑物体的热膨胀性, 避免产生缺陷。

(4) 导电性 物体传导电流的性能称为导电性, 以电阻率表示, 单位为 $\Omega \cdot mm^2/m^2$ 。电阻率越小, 电导性越好。

1.2.2 金属的化学性能

金属的化学性能是指材料在常温和高温下抵抗各种介质侵蚀的能力, 也称化学稳定性。在具体评价金属材料的化学稳定性时, 常分为抗氧化性和耐腐蚀性。

抗氧化性是指金属材料抵抗高温氧化性气氛腐蚀作用的能力。

耐腐蚀性根据金属材料工作介质不同, 又可分为耐锈性、耐蚀性和耐碱性等。耐锈性是指金属材料在大气中的耐腐蚀性。

抗氧化性和耐腐蚀性通常以腐蚀速度为主要指标。在以深度法表示腐蚀速度时, 一般用 mm/a (年腐蚀深度) 作为单位。

1.2.3 金属的力学性能

金属材料在外力作用下所表现的性能称力学性能。主要的力学性能指标有强度、塑性、硬度、韧性等。这些指标是零件设计、材料选择、工艺加工以及材料检验的主要依据。

1.2.3.1 强度

强度是金属材料在外力作用下, 抵抗变形和断裂的能力。

测定材料强度时, 先将金属材料制成如图 1-1 (a) 所示的标准试样, 然后将试样装夹在拉力试验机上, 在试样两端缓慢地加轴向