

国家机械工业委员会统编

中级锻压工工艺学

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

本书内容包括：锻造材料及其加热、自由锻造、胎模锻造、模型锻造、锻造工艺规程的编制、高合金钢和有色金属的锻造、企业管理基本知识。

本书由第二重型机器厂贾金堂编写，四川省机械研究设计院谢露、曾雅存、张有明等同志审稿。

中级锻压工工艺学

国家机械工业委员会统编

责任编辑：王 斌 责任校对：申春香
封面设计：林胜利 方芬 版式设计：张世琴
责任印制：张俊民

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本787×1092¹/₃₂·印张11·字数242千字

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印数00,001-22,000·定价：4.00元

ISBN 7-111-01147-3/TG 288

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材149种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力的培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真吸取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善、更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前 言

第一章 锻造材料及其加热.....1

第一节 钢及有色金属.....1

第二节 下料方法.....26

第三节 燃料的燃烧过程.....32

第四节 加热对钢的组织 and 性能的影响.....37

第五节 加热产生的缺陷及防止方法.....50

第六节 钢的加热规范.....57

复习题.....84

第二章 自由锻造、胎模锻造及模型锻造.....85

第一节 锻造设备.....85

第二节 锻件工艺分析.....155

第三节 模具及其安装调试与维护保养.....196

第四节 大型锻件的锻造工艺方法.....203

第五节 胎模锻造的特点及胎模种类.....215

第六节 工模具用料选择及其热处理.....220

第七节 锻件的质量检验.....224

复习题.....237

第三章 锻造工艺规程的编制.....239

第一节 锻造工艺规程的内容.....239

第二节 锻造工艺规程编制实例.....256

复习题.....289

第四章 高合金钢和有色金属的锻造.....290

第一节	高合金钢的锻造特点	290
第二节	高速钢的锻造	293
第三节	不锈钢的锻造	304
第四节	高温合金的锻造	308
第五节	有色合金的锻造	315
复习题		330
第五章	企业管理基本知识	332
第一节	工人岗位责任制	332
第二节	班组作业计划	335
第三节	质量管理	338
第四节	文明生产管理	341
第五节	经济管理	341
复习题		342

第一章 锻造材料及其加热

锻造材料主要有碳素钢、合金钢、有色金属及其合金。锻造工艺与金属材料有着密切, 关系的从锻造温度的确定、锻造设备的选择、锻件质量的判定, 直到整个工艺过程的安排, 都与金属材料有关。所以, 要掌握锻造工艺, 必须了解锻造材料的牌号、性能、内部组织、材料的管理、金属材料在锻造前加热的有关知识。这样, 就能够更好地处理生产中发生的问题, 提高生产效率、提高锻件质量、降低锻件成本。

第一节 钢及有色金属

钢的分类和表示方法已在《初级锻压工工艺学》作了介绍, 这里着重介绍钢的牌号表示方法, 钢及有色金属的机械性能, 钢锭的结构, 钢锭及钢坯的缺陷等。

一、钢的牌号表示方法

1. 我国钢牌号的表示方法 有关我国钢牌号的表示方法已在《初级锻压工工艺学》中作了介绍, 这里不再重复。

2. 苏联钢牌号的表示方法 苏联钢牌号是按其国家标准[ГОСТ]颁布制定的。其表示方法原则上基本与我国相似。表示钢号时中国与苏联合金元素的符号不同对照表见表1-1。

(1) 普通碳素结构钢 有CT0、CT1……CT7等。

表1-1 表示钢号时中国与苏联合金元素的符号对照表

元素 名称	碳	硅	锰	氮	铬	磷	镍	钼	钨	钒	钛	铌	钴	铜	铝	硼	滚珠钢 代号	高速钢 代号
中国	C	Si	Mn	N	Cr	P	Ni	Mo	W	V	Ti	Nb	Co	Cu	Al	B	G	—
苏联	У	С	Г	А	Х	П	Н	М	В	Ф	Т	Б	К	Д	Ю	Р	Ш	Р

(2) 优质碳素结构钢 有08、20、35、45、60等，含锰(Γ)较高的优质碳素结构钢，在钢号后面加“ Γ ”，如40 Γ 、50 Γ 等。

(3) 碳素工具钢 有Y7、Y8……Y12等，含锰较高者，在钢号后面加“ Γ ”，如Y12 Γ 等。

(4) 合金结构钢 这种钢除用俄文字母代表合金元素符号外，其它表示方法的原则与我国基本相同。

3. 美国钢牌号的表示方法 美国常用AISI和SAE标准的牌号表示方法。

(1) 结构钢 用四位数字表示牌号。前两位数字表示钢材含有哪些合金元素，后两位数字表示平均含碳量（按万分之几表示）。具体表示如下：

10××—碳素钢 如1040表示含碳量为0.40%的碳素结构。

11××、12××为易切削钢。13××为锰合金钢。2×××为镍合金钢，2后面一位数字含镍百分数。3×××为镍铬钢，3后面一位数字用来区分不同的镍铬钢。40××是钼钢，4×××是含其它合金元素的钼钢。4后面的一位数用来区分其它合金成分的各种含钼钢。5×××是铬锰钢，5后面的一位数字表示含铬的百分数（取近似值）。6×××是铬钒钢。8×××是低镍铬钼钢。92××是硅锰弹簧钢，9×××为镍铬钼钢。

(2) 工具钢、高速钢、不锈钢、耐热钢 高速工具钢用“T”作为代号，T后面的数字表示不同的牌号。如T1表示的钢号相当于W18Cr4V。

合金工具钢中的H代表热作工具钢，其后数字表示不同牌号，如H21表示相当于3Cr2W8V的钢；用D表示高碳高铬

钢，D3相当于Cr12(A1S1)或相当于Cr12MoV(SAE)；用L表示低合金工具钢，如L6相当于5CrNiMo等。

碳素工具钢“W1”代表水淬碳素工具钢，代号后标明了含碳量。如W1-1.2C表示含碳量为1.2%的碳素工具钢，W1-0.8C表示含碳量0.8%的碳素工具钢，

不锈钢用三位数字表示，第一位表示钢的类型，其它二位只表示序号。

4. 联邦德国钢牌号的表示方法 联邦德国以DIN工业标准钢号表示。有DIN17006系统和DIN17007系统两种，这里仅介绍被广泛应用的DIN17006系统。

DIN17006钢号由三部分组成：①表示钢的强度或化学成分的主体部分；②冠在主体前面表示冶炼方法或原始特性的缩写字母；③附在主体后面的代表保证范围的数字和处理状态的缩写字母。

(1) 按照材料强度的表示方法 这种表示方法的钢号主体由“St”字母和随后的抗拉强度(N/mm²)下限数值组成。必要时在主体部分前后再标以表1-2所列的各种字母或数字。例如：

MASt45.6N——表示耐时效的平炉钢，其抗拉强度不小于456N/mm²，保证屈服点及冲击韧性的经正火的钢。

(2) 按照化学成分的表示方法 这种方法又可分为碳素钢、低合金钢和高合金钢三种类型。

1) 碳素钢：主体是由碳素符号“C”和随后的表示平均含碳量万分之几的数字组成。如：

C35. C35N——表示平均含碳量为0.35%的调质钢，后者“N”表示经正火的。

C35N50——表示经正火的，含碳0.35%的调质钢，其

表1-2 DIN标准各种字母或数字

冶炼方法 (代表字母)	原始特性 (代表字母)	主体部分	保证范围 (代表数字)	处理状态 (代表字母)
B—贝氏炉钢 E—电炉钢(一般的) I—感应电炉钢 L—电弧炉钢 M—平炉钢 PP—熟铁 T—托马氏钢 W—转炉代用钢 B—碱性 Y—酸性	A—耐时效的 G—含酸高的磷和 (或)硫 H—半镇静浇注的 K—含较低的磷和 (或)硫 Q—可冷敏的 R—镇静浇注的 S—可熔焊的 V—沸腾浇注 Z—可拉伸的	按照材料强度 主体符号“st” 抗拉强度下限 按照化学成分 碳素符号 含碳量 合金元素符号 合金含量或 前置字母“X” 含碳量 合金元素符号 合金含量	1—屈服点 2—弯曲或顶锻试验 3—冲击韧性 4—屈服点和弯曲或顶 锻试验 5—弯曲和顶锻试验及 冲击韧性 6—屈服点及冲击韧性 7—屈服点和弯曲或顶 锻试验及冲击韧性 8—高温强度或蠕变强 度 9—电气特性(或磁性) 无数字—弯曲或顶锻试 验(每炉一个试样)	A—经回火的 B—经处理获得最好的可 切削性 E—经渗碳淬火的 C—经软化退火的 H—经淬火的 HF—表面经火焰淬火的 HJ—表面经高频感应淬 火的 K—经冷加工(冷轧、冷 拉)的 N—经正火的 NT—经渗氮的 U—未经处理的 V—经调质的

抗拉强度不低于 500N/mm^2 。

2) 低合金钢：它的钢号主体是由表示含碳量万分之几的数字、合金元素符号和表示合金元素含量值的数字组成。合金元素符号是采用国际化学元素符号,并按其含量的多少,依次排列;当含量相同时,则按字母顺序排列。合金元素含量值的表示方法见表1-3。

表1-3 低合金元素含量值的表示方法

合 金 元 素	平均含量的%乘以
Cr Co Mn Ni Si W	4
Cu Al Mo Nb Ta Ti V	10
C N P S	100

从表1-3中求得的数值以四舍五入法化为整数,例如:

15Cr3——表示平均含碳量0.15%、含铬0.75%的铬钢。其中碳按百分之几表示。铬含量 $0.75\% \times 4 = 3\%$ 。

3) 高合金钢：高合金钢的钢号冠以字母“X”,随后是表示钢平均含碳量万分之几的数字,和按含量多少依次排列的合金元素符号;最后是标明各主要合金元素含量的平均百分值(按四舍五入法化为整数)。例如:

X10Cr18Ni9Ti2——表示含Co10%、Cr18%、Ni9%、Ti2%的不锈钢。

5. 日本钢号的表示方法 就常用的日本工业标准JIS所颁布的钢号为例介绍如下:

日本钢的所有牌号都冠以S,各类钢的表示如下:

(1) 普通钢 牌号形式为S+字母+数字,字母表示钢材种类,数字表示抗拉强度 σ_s 。如SS41表示 $\sigma_s > 41$ 的普通

结构钢用轧材。SM××表示焊接用轧材。SB××表示锅炉用轧材，……等。

(2) 碳素结构钢 钢号形式为S××C,其中××表示含碳量为万分之几。如S10C表示含碳量为0.1%的碳素结构钢。

(3) 合金结构钢 牌号表示方法为：在字母S后面用英文字母表示所含的合金元素，钢号末尾为顺序号。如SNC2中，SNC表示镍铬钢，数字2表示顺序号；SNCM8中，SN CM表示镍铬钼钢，数字8表示顺序号，SCr4中，SCr表示铬钢，数字4表示顺序号。

(4) 工具钢 SK×表示碳素工具钢，“×”表示钢号序号。如SK3为3号碳素工具钢。SKD×、SKS×、SKT×表示合金工具钢，“×”表示钢号序号；SKH×表示高速钢，“×”表示钢号序号。

(5) 其它高合金钢及特殊钢 以SUS表示不锈钢，其后面的数字表示顺序号。如SUS21表示不锈钢，数字21表示顺序号，SUS相当于中国钢号1Cr13。SUS43表示不锈钢耐酸钢，数字43是顺序号，相当于中国钢号Cr18Ni11Nb。

以SEH表示不锈钢中耐热不起皮钢，数字表示顺序号。如：

SEH1——耐热不起皮钢，数字为顺序号，相当于中国钢号4Cr9Si2。

二、金属材料的机械性能

金属材料的机械性能包括强度、塑性、冲击韧性、硬度等指标。强度又包括抗拉强度和屈服强度；塑性又包括延伸率和断面收缩率。现分别介绍如下：

1. 强度 强度是指材料在载荷作用下抵抗变形和断裂的能力。

金属材料的强度大小，可以通过强度试验来测定。金属材料的强度越高，说明它抵抗载荷作用的能力越大。强度的代号用 σ 表示，强度的单位为 N/mm^2 (或 Pa)。强度 σ 的计算公式为：

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

式中 F ——外力 (N)；

A_0 ——试样的原横截面面积 (mm^2)。

材料所受载荷的强度有抗拉强度 (σ_b)、抗弯强度 (σ_{bb})、抗压强度 (σ_{bs})、抗扭强度和抗剪强度五种。最常用的是抗拉强度。抗拉强度与其它强度之间有一定的换算关系，通过材料的抗拉强度值，可以近似地计算出其它强度的值。

(1) 抗拉强度及其计算 抗拉强度又叫做强度极限，它是指试样受到最大拉力时所产生的应力。就是表示金属材料在破坏前可以承受的最大应力。计算公式如下：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中 σ_b ——抗拉强度 (N/mm^2)；

F_b ——最大拉力 (N)；

A_0 ——试样的原横截面面积 (mm^2)。

σ_b 越大，表示该金属抵抗破裂的能力越大，则强度就越高。

(2) 屈服强度及其计算 屈服强度又叫做屈服极限，是指试样受到屈服载荷时所产生的应力。屈服强度计算公式如下：

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中 σ_s ——屈服强度 (N/mm²);
 F_s ——屈服载荷 (N);
 A_0 ——试样的原横截面面积 (mm²)。

σ_b 和 σ_s 是金属材料的重要指标,用它们来表示金属的强度。

钢的强度与其含碳量成正比关系,随着含碳量的增加,其强度将不断提高,见表1-4。

表1-4 钢的 σ_b 、 σ_s 、 δ_s 、 ψ 与含碳量的关系

含碳量(%)	抗拉强度 σ_b (N/mm ²)	屈服强度 σ_s (N/mm ²)	延伸率 δ_s (%)	断面收缩率 ψ (%)
0.15	380	230	27	55
0.30	500	300	21	50
0.45	610	360	16	40
0.60	690	410	12	35
0.75	1100	900	7	30

2. 塑性 金属材料在载荷的作用下,产生永久变形而不破坏的能力,叫做塑性。这种永久变形叫做塑性变形。锻造生产就是利用金属材料具有塑性的特性。

一般来说,大多数钢的塑性都较好,可以采用较大的变形量进行轧制和锻造。合金钢的塑性较差,在轧制或锻造时,变形量不能选择得太大,以免引起钢材破裂。金属材料的塑性越好。在外力作用下产生塑性变形的能力就越大。

金属材料的塑性可通过对试样进行拉伸试验来测定。它用长度延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 这两个指标来表示。

(1) 延伸率及其计算 试样在拉力作用下,会产生塑性变形,使长度增加,断面面积缩小,最后被拉断后,其伸

长量与原来长度的比值，用百分数表示。延伸率计算公式如下：

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

式中 δ ——试样的延伸率（%）；

ΔL ——试样相对伸长量（mm）；

L_0 ——试样原来的长度（mm）；

L_1 ——试样拉伸后的长度（mm）。

（2）断面收缩率及其计算 试样的断面收缩和试样的长度增加是同时发生的，试样拉伸后横截面积的收缩量与其原横截面面积之比，用百分数表示。断面收缩率的计算公式如下：

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\%$$

式中 ψ ——试样的断面收缩率（%）；

A_0 ——试样的原横截面面积（mm²）；

A_1 ——试样被拉伸后横截面面积（mm²）；

ΔA ——试样横截面面积收缩量（mm²）。

δ 和 ψ 用来表示金属的塑性。 δ 和 ψ 的数值越大，说明金属的塑性越好；反之，即说明金属的塑性越差，脆性越大。

钢的塑性与钢的含碳量成反比，含碳量增加，塑性降低，见表1-4。

钢的强度和塑性还与温度有关。一般来说，温度越高，塑性越好、强度越低。所以，为了提高钢材的塑性，锻造前都要进行加热。

3. 冲击韧性 金属材料抗冲击载荷的能力，称为冲击韧

性。

金属材料冲击韧性的大小，是以冲断试样时，在试样单位面积上所消耗的最大功来表示的，冲击韧性在专用的冲击韧性试验机上进行测定，其标准试样见图1-1。

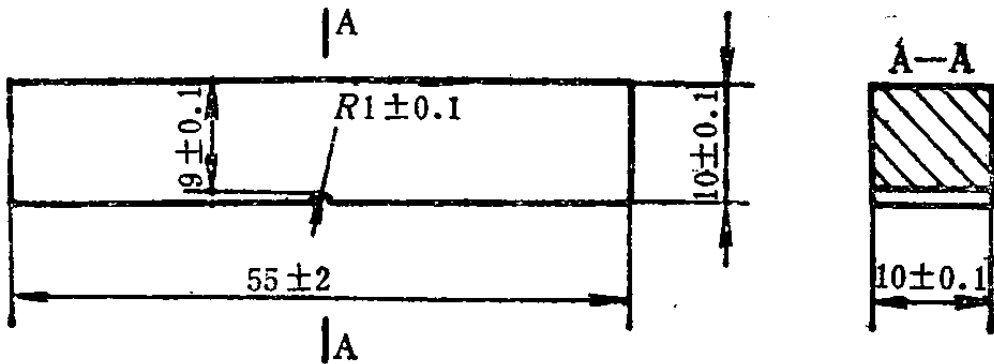


图1-1 冲击韧性的标准试样

试验时，把标准试样放在试验机架对称的两点中间，使试样的缺口背向摆锤的冲击方向，见图1-2，然后把摆锤抬到一定高度 H ，摆锤由高处落下，将试样击断，并自由回升到高度 h ，根据摆锤的重量和冲击前后的高度差可以计算出冲击试样消耗的功。计算公式如下：

$$A_K = m(H - h)$$

式中 H ——冲击摆锤在冲击前的高度 (m)；

h ——冲断试样后摆锤自由上升高度 (m)。

m ——冲击摆锤重量 (N)；

A_K ——冲击功 (J)。

冲击韧性 a_K 的计算公式为：

$$a_K = \frac{A_K}{A_1}$$

式中 A_1 ——试样缺口处横截面面积 (cm²)；

a_K ——冲击韧性 (J/cm²)。

4. 硬度 金属材料对更硬物体压入的抵抗能力，称为硬度。硬度表示金属的坚硬程度，是金属重要的机械性能指标。常用的硬度试验方法有：布氏硬度试验、洛氏硬度试验和维氏硬度试验三种。

(1) 布氏硬度试验 布氏硬度试验是用一定直径的淬硬钢球，在一定的载荷 (F) 作用下，压入试件表面，保留一定时间后去除载荷，试件表面便留下一个钢球压痕，见图 1-3。

压痕越小，材料硬度越大，压痕越大，硬度越小。

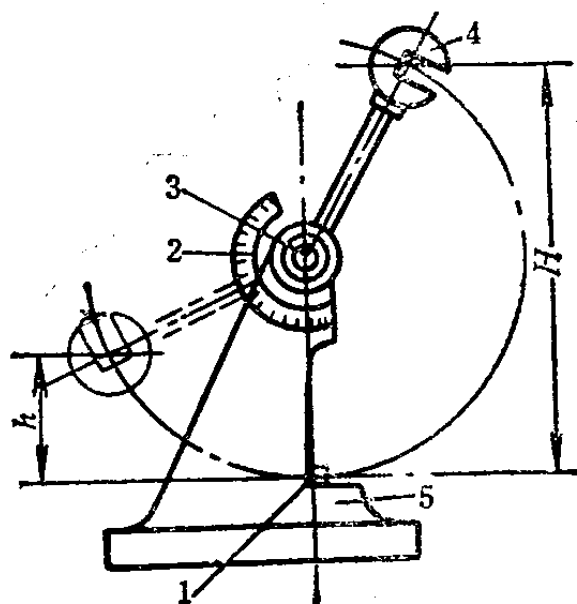


图1-2 冲击试验示意图

1—试样 2—刻度盘 3—指针 4—冲击摆锤 5—机架

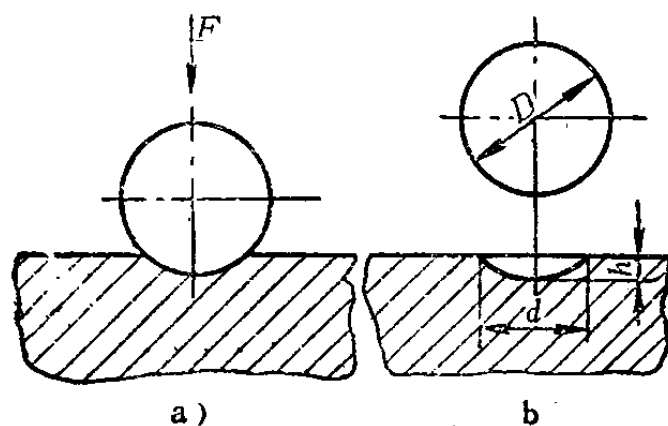


图1-3 布氏硬度测定过程示意图

通常以载荷 F 与压痕面积 A 的比值，称作布氏硬度，用“HBS” (HBW) 来表示。

布氏硬度的单位习惯上不标出，只写硬度数值。如HB