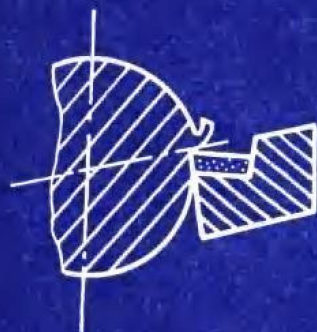


★ 职工高等工业专科学校教材

金属工艺学

符以忍 主编



高等教育出版社

内 容 简 介

本书是根据一九八三年十一月原教育部审订的职工高等工业专科学校机械类专业《金属工艺学教学大纲》(草案)编写的教材。

全书分两篇。第一篇是讲课教材(40学时),内容包括:金属材料及其性质、铸造、锻压、焊接、金属切削加工、工艺路线和产品设计工艺性等;第二篇是实习教材(两周),内容包括:铸工、锻工、焊工和机工等。

本书可作为职工高等工业专科学校、业余工业大学机械类、近机类专业“金属工艺学”课程的教材,也可供非机类和企业管理类专业参考使用。

责任编辑 李肇荣

职工高等工业专科学校教材

金属工艺学

蒋以忍 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

水利电力出版社印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 18.75 字数 430 000

1987年4月第1版 1987年4月第1次印刷

印数 00 001—7 620

书号 15010·0846 定价 2.75 元

编写说明

本书是根据一九八三年十一月原教育部审订的职工高等工业专科学校机械类专业《金属工艺学教学大纲》(草案)编写的,供各职工大学、业余大学等机械类和近机类各专业作为教材使用,亦可供工科非机类和企业管理类专业参考使用。

编写时考虑了职工大学主要是培养高等专科水平第一线的应用技术人才,因此选材上力求在掌握基础理论、基本知识和基本技能的基础上着重于应用能力的培养,尽量反映现代科学技术在工厂的实际应用。

根据职工学员特点和职工大学的具体情况,实习教材结合车间生产实际编写,自成体系,可相对独立。教学中要先实习后讲课,亦可实习和讲课穿插进行,并可根据各自条件将实习和讲课部分中的某些内容作些调整。暂时没有实习条件或实习条件较差的学校,可将实习和讲课内容结合起来教学。

为使实习和讲课的内容互相衔接、减少重复,编写时实习和讲课教材由同一人执笔。全书由开封空分设备厂职工大学刘荣(第二、七章)、江苏省无锡市电子仪表工业局职工大学周炳安(第三、八章)、江苏省苏州市轻工业局第二职工大学李中和(第五章§5-1~4、第十章)、沈阳黎明机械制造公司职工工学院侯玉山(第四、九章)、蒋以忍(绪论、第一章、第五章§5-5~8、第六章)等编写,由蒋以忍主编。

本书承蒙南京工学院韩克筠、湖北第二汽车制造厂职工大学何伟儒、青岛四方机车车辆厂职工大学高葆工和上海第三钢铁厂职工大学徐静贤审阅,并由韩克筠和何伟儒任主审。编写本书过程中,各位审阅老师做了大量工作,提出了很多积极建议,特此致谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免会有不足和错误之处,恳切希望各位读者提出批评指正,以便再版时改正。

编 者

一九八五年十二月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 讲课教材

第一章 金属材料及其性质	3
--------------------	---

§ 1-1 金属材料的性能	3
§ 1-2 金属的结晶和合金的结构	7
§ 1-3 钢和铸铁	12
§ 1-4 有色金属合金	25
§ 1-5 金属材料的热处理	29
作业和思考题	31

第二章 铸造	33
--------------	----

§ 2-1 合金的铸造性能	33
§ 2-2 常用合金铸件的生产	37
§ 2-3 铸件结构的工艺性	48
§ 2-4 铸造工艺的制定	56
§ 2-5 特种铸造	63
§ 2-6 铸造生产机械化和专业化	67
作业和思考题	69

第三章 锻压	71
--------------	----

§ 3-1 金属的塑性变形	72
§ 3-2 自由锻造	77
§ 3-3 模锻	83
§ 3-4 板料冲压	93
§ 3-5 压力加工技术的应用和锻压生产的专业化	99
作业和思考题	103

第四章 焊接	105
--------------	-----

§ 4-1 熔焊	105
§ 4-2 压焊	117
§ 4-3 钎焊	121
§ 4-4 焊接热过程	123
§ 4-5 常用金属的焊接	127
§ 4-6 焊接结构设计	131
作业和思考题	133

第五章 金属切削加工	139
------------------	-----

§ 5-1 金属切削加工基础知识	140
§ 5-2 车削加工	149
§ 5-3 钻、镗削加工	158
§ 5-4 铣削加工	164

§ 5-5 刨、插和拉削加工	169
§ 5-6 磨削加工	173
§ 5-7 特种加工	179
§ 5-8 圆柱齿轮齿形的加工	180
作业和思考题	186

第六章 工艺路线和产品设计的工艺性	188
-------------------------	-----

§ 6-1 工艺路线和机械加工工艺规程	188
§ 6-2 零件结构的工艺性	197
§ 6-3 产品设计的工艺性	202
作业和思考题	206

第二篇 实习教材

概述	207
----------	-----

第七章 铸工	209
--------------	-----

§ 7-1 型砂	209
§ 7-2 造型和制芯	211
§ 7-3 铸铁的熔炼、浇注和清理	224
§ 7-4 铸件质量及其检验	226

第八章 锻工	230
--------------	-----

§ 8-1 金属的加热和冷却	230
§ 8-2 自由锻造操作	233
§ 8-3 冲压操作	241

第九章 焊工	243
--------------	-----

§ 9-1 手工电弧焊	243
§ 9-2 气焊与气割	248
§ 9-3 焊接件质量及其检验	254

第十章 机工	258
--------------	-----

§ 10-1 钳工	258
§ 10-2 车工	271
§ 10-3 钻工	282
§ 10-4 铣工	284

附录 I 金属切削机床型号组成表	294
------------------------	-----

表 I-1 机床的类及分类代号	294
表 I-2 机床通用特性代号	294
表 I-3 部分机床组别划分表	294
表 I-4 部分机床主参数及折算系数	295

附录 II 常用切削加工硬质合金的种类、 牌号、性能提高方向和用途	296
--	-----

绪 论

机器制造厂中通常是先用铸造、锻压或焊接的方法,将金属材料制成零件毛坯,再经切削加工制成零件。在制造零件的过程中为了获得和改善材料的某些性能还要热处理。最后将零件装配成机器。

“金属工艺学”是研究金属材料及其性质和金属加工工艺的一门综合性的技术基础课程。它的内容极其广泛,从金属材料及其选用、零件毛坯的制备、机械加工的工艺方法和所用设备、热处理,到机器的装配,涉及到机器生产的全过程。这些知识是机械工程技术人員所必须具备的。

“金属工艺学”是在生产实践中发展起来的学科,它是一门既古老、而又充满活力的学科。远在商代(公元前 1562~1066 年)我国就有了冶铸青铜的技术,春秋时代就应用铸铁技术。到战国时代已经有了高明的制剑技术,说明那时就已有冶铸、锻造和热处理等原始技术。七世纪的唐朝已经应用了锡焊和银焊。八世纪已有了手工操作的车床,到明朝就出现了很多简单的切削加工设备。清初(1668 年)曾用马作动力使用直径近二丈的嵌片铣刀铣削天文仪的大铜环,并用同样的方法进行磨削。明朝宋应星所著《天工开物》一书,就记载有冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等各种金属加工方法,这是世界上关于金属工艺学的最早著作之一。

随着科学技术的发展,新材料、新工艺以及新技术的出现和应用,不断地充实、丰富和发展着课程的内容。

新金属材料的应用以及非金属材料的采用,将加深和扩大对材料及其加工方法和加工性的研究领域。新工艺、新技术诸如用挤压和粉末冶金方法制造零件,在原有工艺原理上采用了新的加工方法;电蚀加工工艺等在去屑加工上的应用,则突破了传统的工艺原理和方法,使金属工艺有了新的发展。数控技术、成组技术和计算机技术的应用,使发展金工技术又有了新的内容和工具。各门学科和工业的发展对金属工艺提出了新的需求,促使金属工艺学不断发展。

“金属工艺学”之所以充满活力,主要是因为它是人们从事各种物质生产所不可缺少的基础生产知识学科。随着科学技术和社会生产向着新的深度和广度开拓,金属工艺学的内容也愈来愈丰富,并不断更新。

“金属工艺学”课程使学生第一次全面地接触生产实际知识,了解机械制造的全过程。它将引导学生运用所学的基础知识来研究机械零件制造中的实际生产问题,使之初步具有机械零件设计和制造工艺方面的能力;同时又为以后学习机械设计和机械制造工艺类课程打下必要的理论和实践基础。因此它在教学中具有从技术基础到专业的承前启后的重要作用。

本课程的任务是使学生掌握常用金属材料的性质及其加工工艺的基本知识,具体要求是:

1. 了解常用金属材料的一般性质和应用范围;
2. 了解各种主要加工方法的基础工艺知识,所用设备和工具的工作原理、大致结构;

• 1 •

3. 进行机械工程的基本技能训练;
4. 具有选择机器零件的材料、毛坯和加工方法的初步能力;
5. 了解零件结构工艺性的基本知识。

金属工艺学是一门实践性很强的课程。课程内容分为实习教学和课堂教学两大部分。先进行实习教学,在实习的基础上,对各工艺的基本理论、综合性和规律性的知识以及有关新的工艺技术等问题在课堂上讲解和说明。学习时要注意基本理论和实践知识的结合。

机器零件制造是一个完整的过程,应从实际生产的全过程中去学习和掌握每一种具体的加工方法。实习后要按实习要求和内容写出实习报告,课堂教学后要按每章的作业和思考题完成作业,逐步锻炼撰写技术报告和分析问题、解决问题的能力。

第一篇 讲课教材

第一章 金属材料及其性质

金属材料是制造机器零件最主要的材料。这是因为它既具有满足机器零件使用要求的机械、物理和化学性能;又具有制造时所需的工艺性能。

机械制造业中所用的金属材料以合金为主,很少使用纯金属。

设计机器零件时,要根据零件的使用要求,考虑材料的主要性能和经济性,合理地选用材料。

§ 1-1 金属材料的性能

机器零件根据它的不同作用,要求制造材料具有相应的机械、物理和化学性能。一般情况下机械性能是主要的。

一、机械性能

机械性能是指材料在外力作用下表现出来的力学特性,如强度、塑性、硬度、韧性等。

(一) 强度和塑性

将金属材料制成图 1-1a 所示的标准拉伸试样,在材料试验机上作拉伸试验,使试样受轴向静拉力载荷。试样受力后就产生变形,长度伸长,截面积缩小(图 1-1b)。随着拉力的增加,试样伸长量亦增加,直到拉断为止。把试样从开始拉伸到拉断时所受的拉力 F 与所对应的伸长量 Δl 绘成曲线(图 1-2),此曲线叫拉伸曲线。拉伸曲线可以反映出金属材料在拉伸过程中的弹性变形、塑性变形和强度等的力学特性。

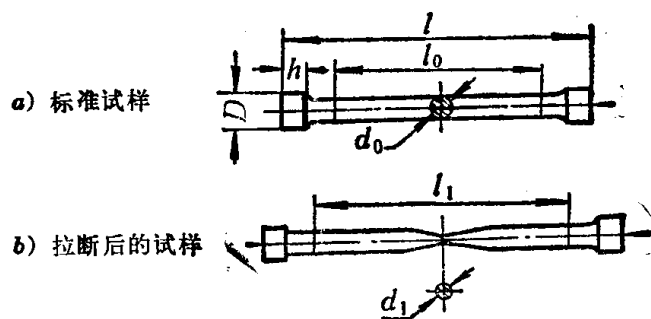


图 1-1 标准拉伸试样

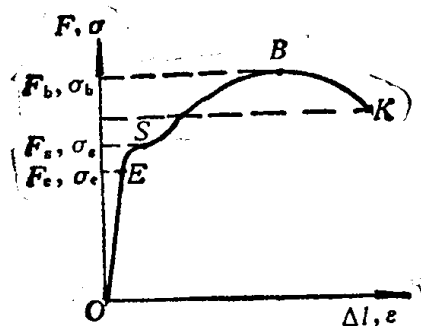


图 1-2 拉伸曲线与应力-应变曲线

在拉伸图中, OE 是直线, 对应 E 点的外力是 F_e 。当外力 $F \leq F_e$ 时, 外力 F 和伸长量 Δl 成正比; 外力去掉后, 伸长量亦消失, 试样恢复到原来的长度。材料受外力作用时产生变形, 外力去掉后能恢复到原来形状的性能叫弹性。这种随外力的消失而消失的变形叫弹性变形。

ES 段是曲线。当 $F > F_s$ 时,外力去掉后试样不能完全恢复到原来的长度。外力消失后留下来的不能恢复的变形叫塑性变形。材料在外力作用下产生塑性变形而不致引起破坏的性能叫塑性。

当外力 $F = F_s$ 拉伸曲线到 S 点时,虽然外力不再增加,但试样继续伸长,图中出现水平段。这种现象叫做材料的屈服, S 点叫屈服点。材料屈服后试样开始产生明显的塑性变形,它是金属材料从弹性状态转向塑性状态的标志。

对应 B 点的外力 F_b 最大。当 $F = F_b$ 时,试样将在某截面处出现局部变细的缩颈现象,以后变形便集中在缩颈附近,因为截面积缩小,继续变形所需的外力也就下降。至 K 点时,试样在缩颈处断裂(图 1-1b)。对应 B 点的拉力 F_b 是试样在拉断前所能承受的最大拉力。

拉伸图与试样的尺寸有关。为了进行比较,通常用试样的原始截面积 A_0 去除拉力 F 得到的应力 σ ($\sigma = \frac{F}{A_0}$) 和用试样的计算长度 l_0 去除绝对伸长 Δl 得到的应变 ε ($\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$) 来代替 F 和 Δl ,由此绘成的曲线叫应力-应变曲线,它和拉伸曲线具有相同的形式。

从应力-应变图上,可以得出衡量金属材料机械性能的下列指标:

1. 强度 强度是金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。按照作用力性质的不同,可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等。在工程上常用来表示强度的指标有屈服极限和强度极限。

屈服极限是金属材料发生屈服现象时的应力,它标志材料抵抗微量塑性变形的能力,以 σ_s 表示^①:

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

式中 F_s 是试样屈服时的载荷, N ; A_0 是试样原始截面积, mm^2 。

强度极限是金属材料在拉断前所能承受的最大应力,以 σ_b 表示:

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

式中 F_b 是试样在断裂前承受的最大载荷, N 。

机器零件和结构件,常因过量的塑性变形而失效。一般零件不允许发生塑性变形,所以屈服极限是绝大多数零件设计时的主要依据,是评定金属材料的重要机械性能指标。强度极限简称强度,它是零件设计和选材的主要依据之一,也是金属材料的重要机械性能指标。

2. 塑性 塑性是金属材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力。塑性指标常用延伸率 δ 和截面收缩率 ψ 来表示:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

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

^① 对于没有明显屈服点的材料,规定以产生 0.2% 塑性变形时的应力作为屈服极限,以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

式中 l_1 表示试样拉断后的计算长度, mm; A_1 表示断口处的截面积, mm^2 。

δ 和 ψ 愈大, 表示材料的塑性愈好。良好的塑性是金属材料进行压力加工的必要条件。

标准试样有长试样 ($l_0 = 10d_0$) 和短试样 ($l_0 = 5d_0$) 两种, 同一材料试样长短不同时, 其延伸率 δ 不相同, 材料手册上分别以 δ_{10} 和 δ_5 表示。 $\delta_5 = (1.2 \sim 1.5)\delta_{10}$ 。截面收缩率 ψ 则不受试样长短的影响。

(二) 硬度

材料的软硬是一个相对概念。金属材料抵抗更硬物体压入其表面的能力叫硬度。硬度常用布氏硬度试验和洛氏硬度试验来测定。

布氏硬度试验法测定硬度时, 是用一定直径 D 的淬硬钢球或硬质合金球, 以相应的试验压力 F 均匀平稳地垂直压入被测金属表面 (图 1-3), 经规定的保持压力时间后卸除试验力, 用压痕球形表面积去除试验力所得的商作为硬度的指标, 叫布氏硬度, 以 HB 表示。

$$HB = \frac{F}{A} \quad \text{kgf/mm}^2$$

式中 F 为试验力, kgf; A 为压痕球面积, mm^2 ;
当 F 的单位用 N 时, 则

$$HB = 0.102 \times \frac{F}{A}$$

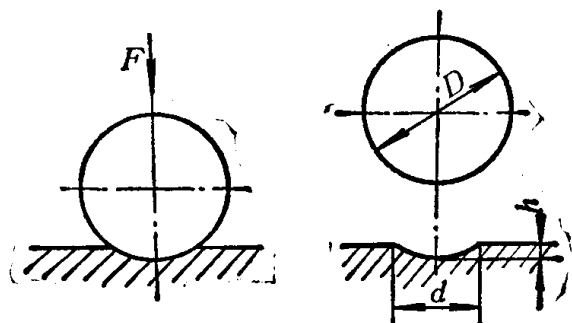


图 1-3 布氏硬度试验示意图

由于球直径 D 和试验力 F 都是定值, 根据 D 和压痕直径 d 就可求出压痕球面积 A , 所以试验时只要用放大镜测出压痕直径 d , 就可按预制的表格查得 HB 值。布氏硬度一般只标出大小不注明单位。生产上亦有直接标出压痕直径 d 作为布氏硬度的。

用钢球作压头时, 布氏硬度用 HBS 表示, 适用于布氏硬度值在 450 以下的材料。如测定退火、正火、调质钢, 铸铁和有色金属等的硬度。

用硬质合金球作压头时, 布氏硬度用 HBW 表示, 适用于布氏硬度值在 650 以下的材料。

硬度表示法是符号 HBS 或 HBW 之前为硬度值, 符号后面按球直径、试验力和试验力保持时间 (10~15 秒不标注) 表示试验条件。如:

120 HBS 10/1000/30 表示用直径 10 mm 的钢球, 在 1000 kgf 试验力作用下保持 30 秒测得的布氏硬度值为 120。

500 HBW 5/750 表示用直径 5mm 的硬质合金球, 在 750 kgf 试验力作用下保持 10~15 秒后测得的布氏硬度值为 500。

布氏硬度试验比较准确, 但不能测太薄的试样, 试样厚度至少应为压痕深度 h (图 1-3) 的 10 倍。

洛氏硬度试验法测定硬度时, 也是用一定的载荷将压头压入试样表面, 不同的是根据压痕深度经过数学处理作为硬度的指标, 以 HR 表示。

实际生产中洛氏硬度值可直接由洛氏硬度计的刻度盘上读出。读数愈大, 硬度愈高。由于

压头和载荷的不同,洛氏硬度一般分三种标度:HRA、HRB和HRC。其中以HRC和HRA最为常用。

HRC和HRA是用120°的金刚石圆锥体做压头,C刻度加载150 kgf,A刻度加载60 kgf。它们可以试验硬度很高的材料,而且压痕很小,几乎不损伤被测表面。HRC常用以检测淬硬的钢零件和工具的硬度,HRA则用于检测硬质合金等高硬度材料的硬度。

用洛氏硬度计测量硬度比较简单、迅速,可测薄试样和硬材料,但不及布氏硬度试验准确。布氏硬度和洛氏硬度可用试验得出的特制表格进行对照。

由试验方法可知,硬度是表示金属材料在局部范围内抵抗弹性变形、塑性变形的能力,所以强度高的材料一般硬度也高。对于普通碳素钢和低合金钢,强度 σ_b 和硬度HB间有近似关系 $\sigma_b \approx 3.43 HB$,据此可以根据HB粗略地估算材料的强度 σ_b 。

重要零件和零件表面都有硬度要求,硬度高的表面耐磨性亦好。

(三) 冲击韧性

金属材料抵抗冲击载荷的能力,叫冲击韧性。

有些机器零件和工具如连杆、曲轴、活塞杆、冲模等,在工作时要受到冲击载荷的作用。瞬时外力冲击作用所引起的应力和应变要比静载荷引起的大得多。对这些零件,如仍用静载荷作用下的强度指标作为设计和选材的依据,就不能保证零件工作时安全可靠,对此,必需考虑冲击韧性。

冲击韧性通常用摆锤冲击试验来测定,它是以材料受一次冲击破坏时单位面积上所吸收的冲击功表示的,试验原理如图1-4所示。

试验时将做有U形切口的标准试样,安放在冲击试验机的支座上,把重量为 $W(N)$ 的摆锤由高度为 $H_1(m)$ 处自由落下冲断试样。摆锤冲断试样所做的功 $W(H_1-H_2)(J)$ 除以试样切口处的截面积 $A(cm^2)$,即得材料的冲击韧性,以 a_{KU} 表示。

$$a_{KU} = \frac{W(H_1 - H_2)}{A} \quad J/cm^2$$

式中 H_2 为摆锤冲断试样后的回摆高度。

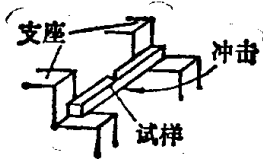
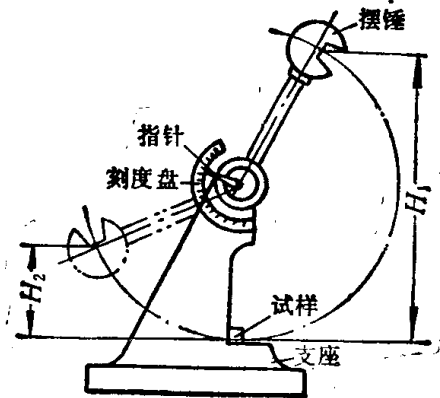


图 1-4 摆锤冲击试验示意图

实际工作的零件,绝大多数情况是受小能量多次冲击的作用。因此较正确的衡量材料受冲击载荷的抗力指标应该采用小能量多次冲击的抗力,不该是受一次冲击破坏时得出的冲击韧性值。但由于 a_{KU} 值的试验简便,工程上仍以 a_{KU} 值作为选材的参考。

(四) 疲劳强度

有些机器零件如轴、齿轮、弹簧等，在工作过程中受到方向、大小反复变化的交变应力的作用。在交变应力长期作用下，材料会在远小于强度极限 σ_b ，甚至小于屈服极限 σ_s 的应力下断裂，这种现象叫材料的疲劳。

金属材料在无数次重复交变载荷作用下而不致引起断裂的最大应力，叫疲劳强度。一般钢材以经受 10^7 次，有色金属经受 10^8 次应力循环而不断裂时的最大应力作为疲劳强度。应力循环对称时，疲劳强度以 σ_{-1} 表示。

二、金属材料的物理、化学和工艺性能

金属材料的物理性能主要有熔点、比重、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。

零件的用途和制造时使用的工艺方法不同，对于材料物理性能的要求也有所不同。有些零件，例如航空器上的零件，为了减轻自重，需要采用比重小的材料，这时强度和比重的比值（称为比强度）就具有特别重要的意义。

熔点、热膨胀性和导热性等对于铸造、锻压和焊接工艺有很大的影响。电机和电器上某些零件还要考虑到材料的导电性和磁性等。

化学性能主要指在室温或高温时抵抗各种化学作用的能力，如耐酸性、耐碱性和抗氧化性等。这对于在腐蚀介质中或在高温下工作的零件甚为重要。

工艺性能是指材料能够适应加工工艺要求的能力，它是材料物理、化学和机械性能的综合反映。按工艺方法的不同分为可铸性、可锻性、可焊性和可切削性等，这些将在有关工艺中分别介绍。

§ 1-2 金属的结晶和合金的结构

一、金属的晶体结构

固态物质可分为晶体和非晶体两类。晶体中组成物质的基本质点——原子（分子或离子）在空间作有规则的排列；非晶体则不是。如：玻璃、沥青和松香等是非晶体；金刚石、石墨和所有的固态金属都是晶体。

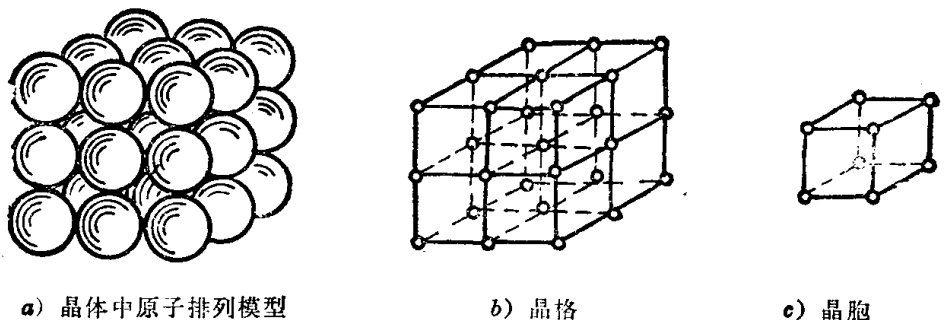


图 1-5 晶体中原子排列示意图

晶体(图1-5a)中，若把原子看成一个点，它们在空间有规则的排列就可用假想线连结各点而

成的一个空间格子来表示。这个空间格子叫晶格(图 1-5b),反映该晶格排列特点的最小单元叫晶胞(图 1-5c)。

不同的晶格表示不同的排列规则和晶体结构,常见的晶格有下面三种基本类型。

1. 体心立方晶格 这种晶格的晶胞是一个立方体,原子排列在立方体的中心和各结点上(图 1-6a)。具有此晶格的金属有铬、钼、钨和 α 铁(温度在 912°C 以下的纯铁)等。

2. 面心立方晶格 这种晶格的晶胞也是一个立方体,原子排列在立方体各面的中心处和各结点上(图 1-6b)。具有此晶格的金属有铝、铜、镍和 γ 铁(温度在 $912\sim 1394^{\circ}\text{C}$ 时的纯铁)等。

3. 密排六方晶格 这种晶格的晶胞是一个六方柱体,原子排列在六方柱体的各结点上 and 上、下底面的中心处,在上、下底面的中间还有三个原子(图 1-6c)。具有此晶格的金属有镁、锌和铍等。

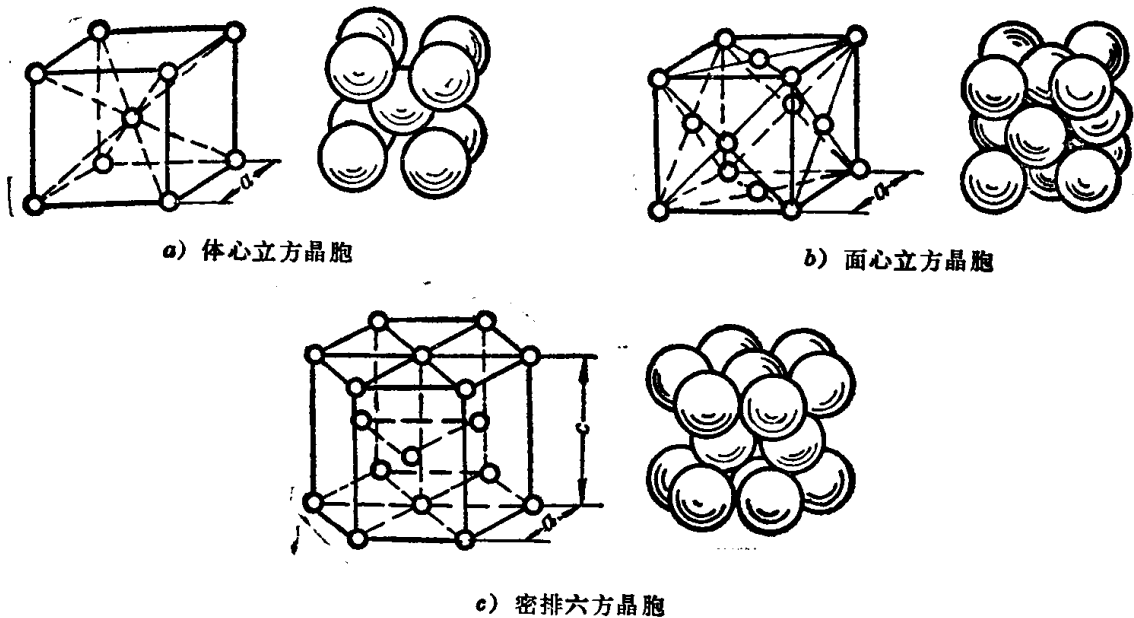


图 1-6 晶格类型示意图

不同晶胞原子排列的紧密程度是不同的,面心立方晶格和密排六方晶格最紧密,体心立方晶格次之。

晶胞中各棱边的长度叫晶格常数,其大小以 $\text{\AA}$ (埃)来度量($1\text{\AA} = 10^{-8}\text{cm}$),晶格常数可以反映晶胞的大小。晶胞中各个方位的原子平面叫晶面。不同方位的晶面原子排列的紧密程度是不一样的,因而单个晶体在不同的方向上性质有差异,形成各向异性。

晶体中原子在其平衡位置作热运动,温度愈高,原子活动能力愈强。

二、金属的结晶过程

金属从液态冷凝成固态时,原子由无规则状态转变成有规则排列,这个过程叫结晶。

纯金属的结晶是在一定温度下进行的,结晶过程可用由热分析法得出的温度随时间变化的冷却曲线来表示(图 1-7)。结

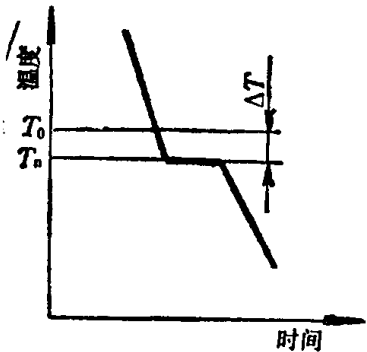


图 1-7 金属的冷却曲线

晶时由于放出凝固热,温度保持不变,曲线上出现水平段。结晶完后,温度又继续下降,从图中曲线还可看出,金属从液体冷却到理论结晶温度 T_0 以下时才开始结晶,这种现象叫过冷。理论结晶温度 T_0 与实际结晶温度 T_n 之差 ΔT 叫过冷度。过冷度的大小与冷却速度有关,冷却速度愈快,过冷度愈大。

金属结晶时,一些原子因过冷便按该金属晶体的固有排列规则自发地形成一些细小的结晶核心(晶核),这种过程叫自发成核。液态金属中夹杂的一些未熔化细小微粒也能成为晶核,叫非自发成核。随后液态金属中的原子就以晶核为中心按一定的几何形状不断排列起来,使晶核生长成晶体。

晶核生长成晶体时,沿不同的方向生长速度是不一样的,它主要沿着生长线速度最大的方向发展,形成晶轴。晶轴长大时,在其上又生长出许多小晶轴,发展成为树枝状晶体。

晶核生长成晶体的同时,新的晶核又继续形成,它们也同样要长成晶体。开始,各晶核的生长不受约束,当它们长大到与相邻的晶体接触时,生长就停止了。当长大的晶体都互相接触、液态金属全部凝固时,结晶过程就完成了。所以,金属的结晶过程实质上就是晶核的不断形成和长大的过程。图 1-8 是结晶过程示意图。

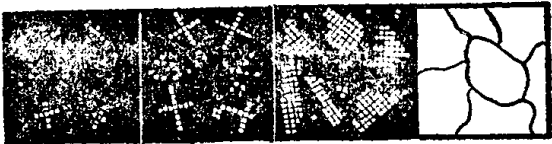


图 1-8 结晶过程示意图

金属中由每个晶核生长成的晶体叫晶粒,晶粒之间的接触面叫晶界。由于晶粒各方位的生长条件不同,每个晶粒的外形是不规则的。因此,金属晶体是由许多大小、外形和晶格排列方向各不相同的晶粒所组成的多晶体。

实际金属的晶体不但是多晶体,而且晶体内部的结构也不象理想的那样完整,是有缺陷的。常见的缺陷有点缺陷、线缺陷和面缺陷。一般点缺陷是:晶格空位和有间隙原子。线缺陷是指在晶格中有一列或数列原子发生了错排(位错)而形成的缺陷。面缺陷则如在晶界处原子排列不规则产生的缺陷等。晶体在其缺陷处均有明显的晶格畸变,使金属的机械性能发生变化。

由单个晶粒组成的晶体叫单晶体。单晶体具有各向异性,多晶体具有伪等向性。

晶粒的粗细对于金属的机械性能有很大的影响。晶粒细的金属强度较高,塑性亦好。结晶时,液态金属中形成的晶核愈多,长成的晶粒就愈细。故可用增大冷却速度(过冷度)或将某些高熔点物质的微粒加入熔融的金属内以增加晶核的方法细化晶粒,改善机械性能。

三、金属的同素异晶转变

纯铁在 912°C 以下具有体心立方晶格,叫 α 铁;在 912~1394°C 间具有面心立方晶格,叫 γ 铁。此外,在 1394°C 以上直到熔化前又呈体心立方晶格,为了与 α 铁相区别,叫 δ 铁。图 1-9 是纯铁的冷却曲线。

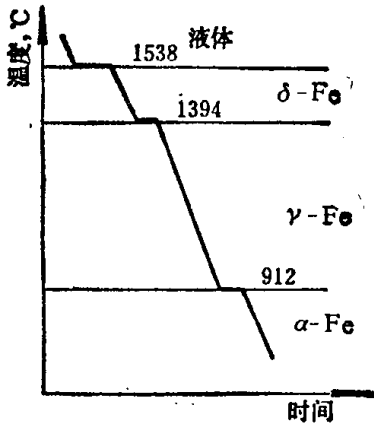


图 1-9 纯铁的冷却曲线

固态金属在不同的温度范围内,能以不同晶格类型存在的性质叫同素异晶性。在固态时改变晶格类型的过程叫同素异晶转变。

同素异晶转变时原子要重新排列,类似液态金属的结晶,所以也是一种结晶过程,叫二次结晶或重结晶。

由于不同的晶格原子排列的紧密程度不同,所以铁在同素异晶转变时体积要发生变化。铁的同素异晶性将影响到钢,这是钢能进行热处理的主要根据。

具有同素异晶性的金属,除铁外,还有锡、钛、锰等为数不多的几种金属。

四、合金的结构

合金是以一种金属为基,加入其它金属或非金属,经熔炼而成的具有金属特性的材料。如最常用的碳素钢和铸铁就是以铁为基的铁碳合金。

组成合金的元素叫组元,简称元。铁碳合金中的铁和碳都是组元。按组元的个数,合金可分为二元合金,三元合金和多元合金等。如黄铜是由铜和锌组成的二元合金,硬铝是由铝、铜和锌组成的三元合金,保险丝是由锡、铋、镉和铅组成的四元合金等。

合金的结构比纯金属复杂,它要由各组元在结晶时的相互作用而定。各组元相互作用后可以形成化合物、固溶体和机械混合物三种基本组成物。

1. 化合物 它是各组元的原子按一定的整数比化合而成的金属化合物。例如铁碳合金中的渗碳体就是铁和碳组成的化合物 Fe_3C 。

金属化合物具有与各组元晶格截然不同的特殊晶格,有比各组元高的熔点、硬度和脆性。如铁的硬度 $\text{HBS}=80$,以石墨形式存在的碳硬度 $\text{HBS}=3$,而由它们形成的化合物渗碳体的硬度则达 $\text{HBS}=800$ 。

在合金中,稳定的化合物也可以看成是一个组元。

2. 固溶体 溶质溶解在溶剂中形成的溶液,可叫液溶体。有些合金组元在液态时可以互相溶解,凝结成固态时也具有互相溶解的能力。如碳和许多元素的原子能溶解在铁的晶格里,这时铁是溶剂,碳和别的元素是溶质。这种溶质原子溶入溶剂晶格里而仍保持溶剂晶格类型的金属晶体,叫固溶体。

固溶体中,溶质原子溶入溶剂晶格的间隙中形成的固溶体叫间隙固溶体(图 1-10a),取代溶剂晶格上的原子形成的固溶体叫置换固溶体(图 1-10b)。

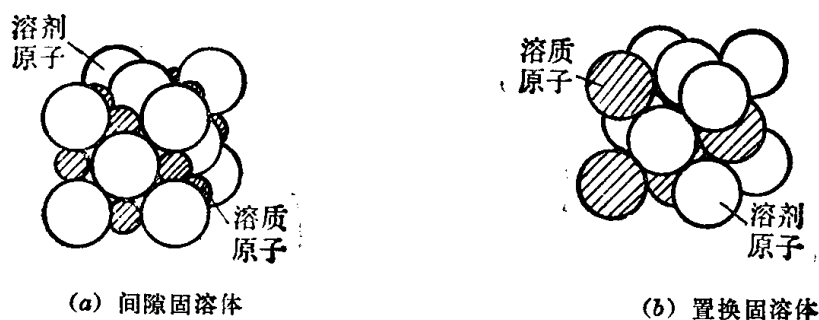


图 1-10 间隙固溶体和置换固溶体示意图

置换固溶体中溶质能以任何比例溶入溶剂中的叫无限固溶体,否则叫有限固溶体。有限固溶体的溶解度有一个限度,且此限度通常总是随着温度的降低而下降的。间隙固溶体的溶解度

总是有限的。

由于溶质原子和溶剂原子的大小不一,性质不同,形成固溶体后会使原来溶剂的晶格发生畸变,晶格常数也发生变化。原子直径相差愈大,畸变也愈大。晶格畸变会使金属晶体塑性变形的阻力增加,使固溶体的强度和硬度比纯金属高,这种现象叫固溶强化。

3. 机械混合物 当组成合金的组元在固态下既不溶解,也不形成化合物时,它们便按一定的重量比以混合的方式存在,形成各组元晶体的机械混合物。混合物中各组元保持着它们原来的晶体结构和性能。

机械混合物既可以是纯金属、固溶体或化合物各自的混合物,也可以是它们之间的混合物。机械混合物的性能取决于各组元晶体的形状、大小和分布状况,它通常比单一固溶体有更高的强度和硬度,但塑性不如单一固溶体好。

五、二元合金状态图的概念

合金的结晶过程比纯金属的结晶过程要复杂得多。纯金属的结晶是在一定温度下进行的,它的结晶过程用冷却曲线就可表示。合金的结晶大多在某一温度范围内进行,合金的成分不同,温度范围也不一样,因此其结晶过程多用由各冷却曲线绘成的状态图来分析。今以形成机械混合物的铅、锡二元合金为例说明之。

将铅、锡两种金属配制成不同成分的合金,用实验作出它们的冷却曲线,找出它们结晶时的温度范围(图 1-11 左、右)。先看合金 3,它的成分是 88.8%Pb 和 11.2%Sb,冷却到 251.2°C 时开始结晶。结晶特点是同时从液态合金中结晶出铅和锡的晶体①,形成机械混合物。从液态合金中同时结晶出两种晶体的反应叫共晶反应,共晶反应的产物叫共晶体。共晶反应时,温度不变,冷却曲线上出现水平段。

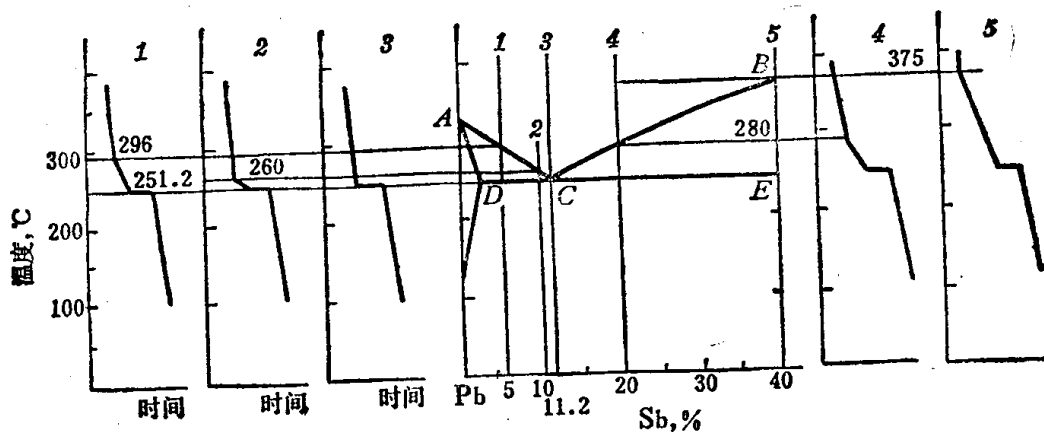


图 1-11 铅锡二元合金的冷却曲线和状态图

成分为 90%Pb 和 10%Sb 的合金 2,冷却到 260°C 时开始结晶,先析出铅晶体。由于铅晶体的析出,剩余合金中含铅量就减少,直至冷却到 251.2°C,铅成分减到共晶成分时,剩余液态合金发生共晶转变,生成共晶体。结晶完了,固态合金中就有铅晶体和铅锡的共晶体两种晶体。

① 实际上,这里结晶出来的是固溶体,而不是铅和锡的纯晶体。下文同此。

成分为 95%Pb 和 5%Sb 的合金 1 与 2 类似, 仅是开始结晶的温度不同, 是 296°C。

成分为 80%Pb 和 20%Sb 的合金 4, 冷却到 280°C 时先析出锑晶体。由于锑的析出, 剩余合金中的含铅量就增加, 直至冷却到 251.2°C, 铅成分增至共晶成分时, 剩余液态合金发生共晶转变, 生成共晶体。结晶完了, 固态合金中就有锑晶体和铅锑的共晶体两种晶体。

成分为 60%Pb 和 40%Sb 的合金 3 与 4 类似, 仅是开始结晶的温度不同, 是 375°C。

把各冷却曲线上得出的开始结晶温度点和终止结晶温度点(这些结晶转变点叫临界点)标在温度-成分坐标图上, 各开始结晶温度点的连线 ACB 线和各终止结晶温度点的连线 DCE 线组成了说明铅锑二元合金的成分、温度和结晶组织之间变化规律的状态图(图 1-11 中)。图中 C 点叫共晶点。

合金中具有相同化学成分, 相同结晶构造, 并由明显的分界面隔开的各个均匀的组成部分叫做相。图 1-11 上 ACB 线表示各种不同成分的铅锑合金开始结晶时的温度线, 叫液相线。液相线以上为成分均匀的液态合金。DCE 线表示结晶完了时的温度线, 叫固相线。固相线以下为合金晶体, 视成分不同分别为铅晶体和铅锑共晶体; 铅锑共晶体; 锑晶体和铅锑共晶体。液相线和固相线间则为液相和固相并存区, 分别为铅晶体和液态合金; 锑晶体和液态合金。

二元合金的状态图有各种不同类型, 上述的仅是形成机械混合物的一类。

§ 1-3 钢 和 铸 铁

一、铁碳合金

钢和铸铁是工业上应用最广泛的金属材料, 它们都是含碳量不同的铁碳合金。

由于铁是具有同素异晶特性的金属, 在固态时铁和碳可以形成化合物、固溶体以及它们的混合物, 所以铁碳合金的结晶过程和状态图比较复杂。下面简述其基本知识。

(一) 铁碳合金的基本组织

铁碳合金的基本组织有铁素体、奥氏体、渗碳体和珠光体等四种。

1. 铁素体 铁素体是碳溶于 α 铁中形成的固溶体, 常用 F 表示。碳在 α 铁中的溶解度很小, 0°C 时几乎为零, 727°C 时最大为 0.02%。因此, 铁素体的性质与纯铁相近, 强度、硬度较低, 塑性、韧性很好 ($\sigma_b = 250$ MPa, $HBS = 80$, $\delta = 50\%$)。

2. 奥氏体 奥氏体是碳溶于 γ 铁中形成的固溶体, 常用 A 表示。碳在 γ 铁中的溶解度较在 α 铁中大, 727°C 时为 0.77%, 1148°C 时最大为 2.11%。稳定的奥氏体在钢内存在的最低温度是 727°C。它的硬度不很高 ($HBS = 160 \sim 200$), 塑性很好, 是绝大多数钢种在高温下进行压力加工时所要求的组织。

3. 渗碳体 渗碳体是铁和碳形成的稳定化合物 Fe_3C , 常用 C 表示。它是由 93.31% 的铁和 6.69% 的碳化合而成的。渗碳体的结构复杂, 有很高的硬度 ($HBW = 800$), 塑性极小 ($\delta \approx 0$), 是一个硬而脆的组织。

渗碳体在钢中起强化作用, 钢中含碳量高, 渗碳体就多, 钢的强度、硬度增高, 塑性、韧性降

低。渗碳体在一定条件下能分解成铁和石墨。

4. 珠光体 珠光体是由同时析出的铁素体和渗碳体组成的机械混合物,常用 P 表示。由于珠光体是由硬的渗碳体片和软的铁素体片相间组成的混合物,故其机械性能介于渗碳体和铁素体之间,它的强度较好($\sigma_b=800\text{MPa}$),硬度适中($\text{HBS}=230$),塑性较低($\delta=12\%$)。

普通碳素钢在室温下的组织就是由铁素体加珠光体,渗碳体加珠光体或全部由珠光体组成的。

(二) 铁碳合金状态图

图 1-12 是左上角已经简化了的铁碳合金状态图。图中仅画出含碳量小于 6.69% 的合金部分。含碳量 6.69% 时,铁和碳形成稳定的化合物 Fe_3C ,它可以作为一个合金组元,故该图又可看成是 Fe 和 Fe_3C 的状态图。状态图中含碳量大于 2.11% 的铁碳合金叫生铁,含碳量在 0.02~2.11% 之间的叫钢,含碳量小于 0.02% 的叫工业纯铁。

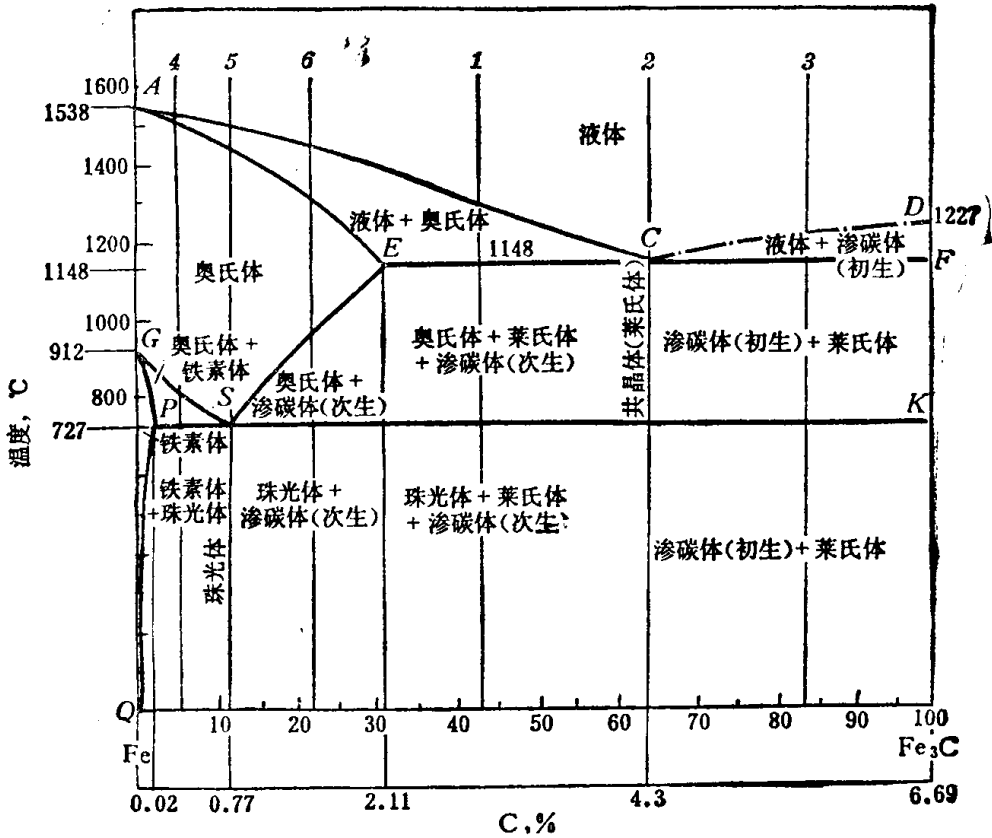


图 1-12 铁碳合金状态图

由于铁有同素异晶转变,所以铁碳合金有从液态初次结晶成固态,再由固态二次结晶转变成另一种晶格的过程。

先看由液态合金结晶成固态合金的初次结晶过程。

图中 ACD 线是液相线, $AE CF$ 线是固相线。 C 点是共晶点,它的成分是含碳 4.3%, 温度是 1148°C 。共晶体是含碳量 2.11% 的奥氏体和渗碳体的机械混合物,叫莱氏体,常用 L_d 表示。

共晶点 C 的右边到 F 点是含碳量大于 4.3% 的部分,如合金 3, 结晶时先从液态中结晶出渗碳体,冷却到 CF 线时发生共晶转变,结晶完了,得到渗碳体和莱氏体的组织。这部分生铁叫过