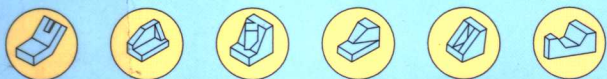
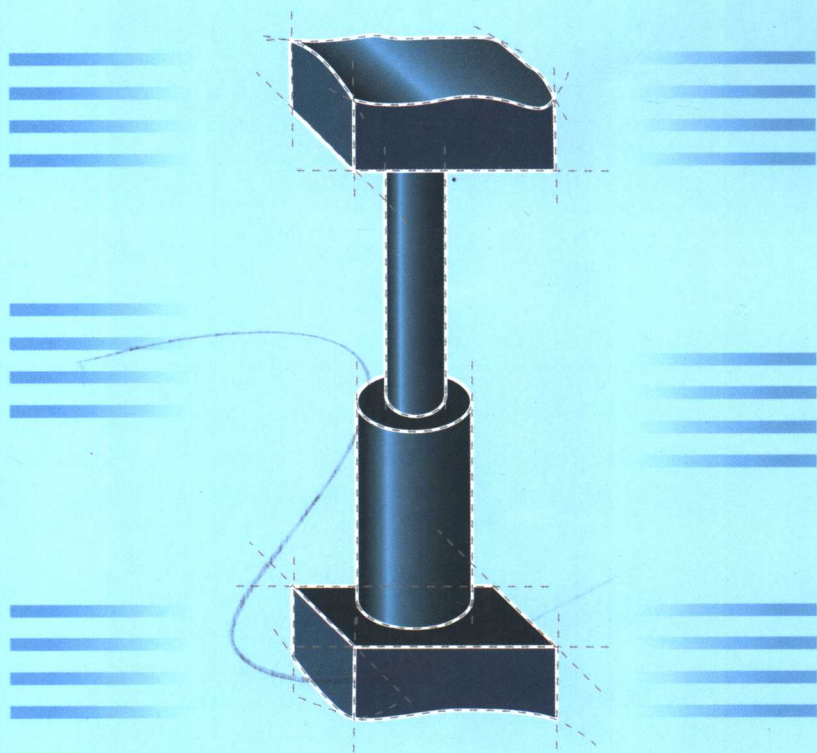


21世纪高等院校规划教材

材料成形技术基础

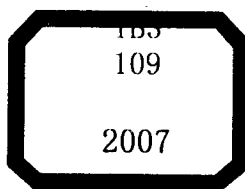
孙广平 迟剑锋 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

21 世纪高等院校规划教材



材料成形技术基础

孙广平 迟剑锋 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

全书共分5章,内容包括:钢铁材料基础、铸造、金属压力加工、焊接和高分子材料与成形等。本书较为系统地论述了各种成形方法的基本原理、工艺、特点和应用,以及合理地进行零件结构设计的工艺原则,同时对有关新工艺、新技术和新方法也做了简要介绍。

本书可作为高等学校机械类、工业企业管理类、材料类各专业教材,也可作为职工大学、电视大学相关专业的教材,并可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形技术基础/孙广平,迟剑锋编著. —北京:国防工业出版社,2007.1

21世纪高等院校规划教材

ISBN 7-118-04907-7

I. 材... II. ①孙... ②迟... III. 工程材料—成型—高等学校—教材 IV. TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第153971号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100044)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本787×1092 1/16 印张13 $\frac{3}{4}$ 字数314千字

2007年1月第1版第1次印刷 印数1—4000册 定价23.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

本书是为了适应高等学校工科学技术基础课程的要求,根据学科发展和教学改革的要求,结合作者多年的实际教学经验,并总结吸取了各校教学改革的经验编写的。

本书以基础知识为重点,拓宽了专业知识面,强调基础和应用的统一,突出技术的应用,特别是加工工艺,注意对各种成形方法进行必要的归纳、拓宽与加深,也注意了与相关课程的分工和衔接。在选材和体系结构上,注重基本理论与实际生产的联系,旨在便于教学,使学生通过本课程的学习,掌握合理选择毛坯和零件的加工方法,培养分析、判断零件结构工艺性的能力,为学习其它有关课程及以后从事机械设计和制造方面的工作奠定必要的基础。

本书内容共分5章,包括钢铁材料基础、铸造、金属压力加工、焊接和高分子材料与成形等,并对有关的新工艺、新技术做了扼要介绍。

本书可作为高等学校机械类、工业企业管理类、材料类各专业教材,也可作为职工大学、电视大学相关专业的教材,并可供有关技术人员参考。本书内容讲授学时以30学时~40学时为佳,可根据培养学生的实际需要,进行适当的选取。学习本课程前,应进行必要的工程训练实习。

本书另附有复习题与作业题,共11次作业。习题部分贯彻课程教学基本要求,利于学生加深对课程基本内容的理解,巩固所学知识,培养分析问题和解决问题的能力。习题部分编拟了部分判断题、选择题及填空题,旨在发挥标准化题型容量大、覆盖面广、便于检测和培养学生分析判断能力等特点,使学生在似是而非的论点中经受考验,加深对基本概念的理解;同时也为了使熟悉“材料成形技术基础试题库”的各类题型,以适应“材料成形技术基础”课程试题的测验。

本书是在参考苏玉林等主编、迟剑锋等主编的相关教材的基础上重新编写的。本书得到了吉林大学教材建设基金的资助。

由于水平所限,书中难免存在不少缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

2006.10

目 录

第1章 钢铁材料基础	1	2.4 铸造工艺图的制定	41
1.1 纯铁及铁碳合金	1	2.4.1 浇注位置与分型面的选择	42
1.1.1 纯铁的晶体结构及其结晶	1	2.4.2 工艺参数的选择	44
1.1.2 铁碳合金状态图	4	2.4.3 铸造工艺图举例	46
1.1.3 化学成分对碳素钢性能的影响	8	2.5 零件的铸造结构工艺性	47
1.1.4 钢的分类与牌号	9	2.5.1 零件的壁厚与壁的连接	47
1.2 钢的热处理	11	2.5.2 零件的外形与内腔	51
1.2.1 钢在加热和冷却时的组织转变	12	2.6 特种铸造	55
1.2.2 钢的退火与正火	15	2.6.1 熔模铸造	55
1.2.3 钢的淬火与回火	16	2.6.2 金属型铸造	56
第2章 铸造	18	2.6.3 压力铸造	58
2.1 铸造工艺基础	18	2.6.4 离心铸造	59
2.1.1 液态合金的充型	18	2.6.5 真空实型铸造	60
2.1.2 铸件的凝固	20	2.6.6 各种铸造方法的选择	61
2.1.3 铸件的收缩	21	第3章 金属压力加工	62
2.1.4 合金的偏析	26	3.1 金属压力加工工艺基础	64
2.1.5 铸件中的气孔	26	3.1.1 金属塑性变形的实质	64
2.2 常用合金铸件的生产	27	3.1.2 金属塑性变形的基本规律	65
2.2.1 铸铁件的生产	27	3.1.3 塑性变形后金属的组织 and 性能	66
2.2.2 铸钢件的生产	35	3.1.4 常用金属的锻造性能	70
2.2.3 非铁合金铸件的生产	36	3.2 自由锻	72
2.3 砂型铸造	38	3.2.1 自由锻设备	73
2.3.1 砂型铸造的工艺过程	38	3.2.2 自由锻的基本工序	73
2.3.2 造型	39	3.2.3 自由锻工艺规程的制定	76
2.3.3 砂芯	41	3.2.4 零件的自由锻结构工艺性	78

3.2.5 胎模锻	78	4.4.4 非铁金属的焊接	139
3.3 模锻	83	4.5 焊接结构设计	140
3.3.1 锤上模锻	83	4.5.1 焊接结构材料的选择	140
3.3.2 曲柄压力机上模锻	89	4.5.2 焊接方法的选择	141
3.3.3 平锻机上模锻	90	4.5.3 焊接接头形式的选择	142
3.3.4 摩擦压力机上模锻	92	4.5.4 焊接结构工艺性	143
3.3.5 锻造工艺方案的选择	93	4.5.5 焊缝符号的表示方法	145
3.3.6 其它压力加工方法	94	第5章 高分子材料与成形	148
3.4 板料冲压	96	5.1 高分子材料基础	148
3.4.1 冲压设备	96	5.1.1 聚合物分子链的结构	148
3.4.2 板料冲压的基本工序	96	5.1.2 聚合物的凝聚态	149
3.4.3 冲模的分类和结构	102	5.1.3 聚合物的分子运动特点 和物理状态	151
3.4.4 板料冲压件结构 工艺性	103	5.1.4 高分子材料的分类	153
第4章 焊接	107	5.1.5 高分子材料的添加剂	155
4.1 金属熔化焊工艺基础	108	5.2 高分子材料成形工艺基础	157
4.1.1 焊接电弧	108	5.2.1 聚合物的流变性	157
4.1.2 熔化焊的冶金特点	108	5.2.2 成形对聚合物结晶和分子 取向的影响	163
4.1.3 焊接接头的金属组织及 性能	110	5.2.3 聚合物的降解和交联	166
4.1.4 焊接应力、变形及裂纹	112	5.3 高分子材料的成形方法	167
4.2 常见熔化焊方法	116	5.3.1 注射成形	167
4.2.1 手工电弧焊	117	5.3.2 挤出成形	172
4.2.2 埋弧自动焊	121	5.3.3 压制成形	175
4.2.3 气体保护焊	124	5.3.4 中空吹塑成形	175
4.3 压力焊、钎焊及其它 焊接方法	126	5.3.5 橡胶加工成形	177
4.3.1 压力焊	126	5.4 塑料制品的结构设计	177
4.3.2 钎焊	130	5.4.1 壁厚与壁的连接	178
4.3.3 其它焊接方法	131	5.4.2 塑料制品表面的设计	179
4.4 常用金属材料的焊接	135	5.4.3 孔与螺纹的设计	181
4.4.1 金属材料的焊接性	135	5.4.4 其它设计	181
4.4.2 钢的焊接	136	5.4.5 塑料制品的尺寸精度及 表面质量	183
4.4.3 铸铁的焊补	138	作业1 钢铁材料基础	185

作业 2	铸造工艺基础	188	作业 8	模锻与板料冲压	202
作业 3	常用合金铸件的生产	190	作业 9	熔化焊工艺基础与	
作业 4	砂型铸造工艺	192		焊接方法	205
作业 5	特种铸造与零件的铸造		作业 10	金属焊接性与焊接	
	结构工艺性	195		结构设计	208
作业 6	金属压力加工工艺基础	197	作业 11	高分子材料与成形	210
作业 7	自由锻	199	参考文献		212

第 1 章 钢铁材料基础

钢铁材料因为具有优良的使用性能和工艺性能,而成为制造金属结构、机械零件和工具的最主要材料。使用性能是指材料在使用过程中所应具备的性能,主要有力学性能、物理性能和化学性能等。力学性能是指材料在外力(或称载荷)的作用下,所表现出的性能,主要有强度、硬度、塑性和韧性等;物理性能主要有密度、熔点、导电性、导热性和磁性等;化学性能主要有耐酸性、耐碱性和抗氧化性等。工艺性能是指材料是否易于加工以获得优质产品的性能,主要有铸造性、可锻性、焊接性、机械加工性等,它们实质上是材料的力学、物理和化学等性能在成形和加工过程中的综合反映。钢铁材料的这些性能与其化学成分、组织结构有关。

1.1 纯铁及铁碳合金

各种金属材料的性能,是由其化学成分和内部组织结构所决定的。因此,要了解金属材料的性能,首先必须了解其内部组织结构。

1.1.1 纯铁的晶体结构及其结晶

固态物质按组成物质的最小质点(原子)排列的特点分为两大类:晶体和非晶体。晶体中,内部原子排列是有规律的,按一定次序做周期性排列。一般情况下,固态金属都是晶体。通过 X 射线衍射,可以分析晶体内部原子的排列规律。图 1-1(a)所示为室温下的纯铁内部结构示意图。为了便于分析和描述铁原子排列的规律,把每个原子抽象成一个点,这些点用假想线条连接起来就得到一个空间格架。这种用线条连接起来的空间格架称为晶格,如图 1-1(b)所示。由于铁原子重复排列的规律性,把代表晶格排列规律的最基本的几何单元叫做晶胞,如图 1-1(c)所示。晶胞中各棱边的长度叫做晶格常数,其大小以 $\text{\AA}$ (埃)来度量($1 \text{\AA} = 10^{-8} \text{cm}$)。

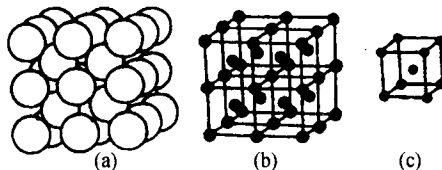


图 1-1 体心立方晶格结构示意图

(a) 内部结构; (b) 晶格; (c) 晶胞。

材料的性能除与元素的种类有关外,还与晶格的结构、晶格常数等有关。

1. 纯铁的晶体结构

1) 体心立方晶格

纯铁在 $1538^{\circ}\text{C} \sim 1394^{\circ}\text{C}$ 或 912°C 以下,具有体心立方晶格结构。体心立方晶格的晶

胞是一个长、宽、高相等的立方体,在立方体的八个顶角上和立方体的中心各有一个原子,这种晶胞称之为体心立方晶胞,如图1-1(c)所示。

2) 面心立方晶格

纯铁在 $912^{\circ}\text{C} \sim 1394^{\circ}\text{C}$ 时,具有面心立方晶格结构。面心立方晶格的晶胞也是一个立方体,除在立方体的八个顶角各有一个原子外,在立方体的六个面的中心也各有一个原子,如图1-2所示。这种晶胞称之为面心立方晶胞。具有面心立方晶格的纯铁塑性很好。

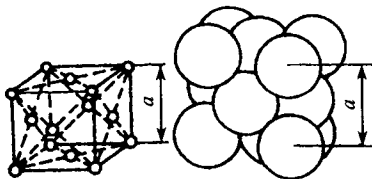


图1-2 面心立方晶胞

必须指出,晶格中的原子并非静止不动,而是按一定的振幅在振动着,振幅随温度的升高而增大,原子活动能力也就增强。

2. 纯铁的一次结晶

1) 结晶

液态金属冷却到凝固温度时,原子由无序状态转变为按一定的几何形状做有序排列的过程叫做一次结晶,简称结晶。

纯铁的一次结晶,是在一个恒定温度下进行的。

纯铁的平衡结晶温度,亦称理论结晶温度,用 T_0 表示。高于此温度便发生熔化,低于此温度才能进行结晶。实际结晶温度用 T_n 表示,它总是低于理论结晶温度。液态纯铁冷却到理论结晶温度以下才开始结晶的现象叫做过冷。理论结晶温度与实际结晶温度之差称为过冷度,用 ΔT 表示,即 $\Delta T = T_0 - T_n$ 。

纯铁的实际结晶温度可用热分析的方法测定。首先将纯铁熔化,然后以极缓慢的速度进行冷却。在冷却过程中,每隔一定时间记录一次温度,将记录的数据绘制成图1-3所示的冷却曲线,即纯铁的温度随时间变化的曲线。从冷却曲线看出,曲线上出现了一个水平线段,这是由于纯铁结晶时,放出的结晶潜热补偿了它向环境散失的热量,使温度保持不变,所以曲线上出现了一个水平线段。结晶结束后,温度又下降,即固态纯铁的冷却。

冷却速度愈慢,实际结晶温度愈接近理论结晶温度。过冷度 (ΔT) 是与冷却速度密切相关的。冷却速度愈快,实际结晶温度便愈低,过冷度就愈大;反之,冷却速度愈慢,则过冷度愈小,如图1-3所示的 ΔT_1 、 ΔT_2 。

2) 结晶过程

随着温度的下降,液态纯铁原子活动能力逐渐减小,当温度降低到结晶温度以下时,一方面,在液态纯铁内部,有一些原子自发地聚集在一起,并按其固有规律排列起来,形成规则排列的原子集团而成为结晶的核心,这种核心叫做自发晶核;另一方面,液体中一些外来的微细的固态质点也可能成为晶核,这叫做异质晶核。当晶核出现后,液态纯铁的原子就以它为中心,按一定的几何形状不断地向它聚集,促使晶核不断长大。在原有晶核长

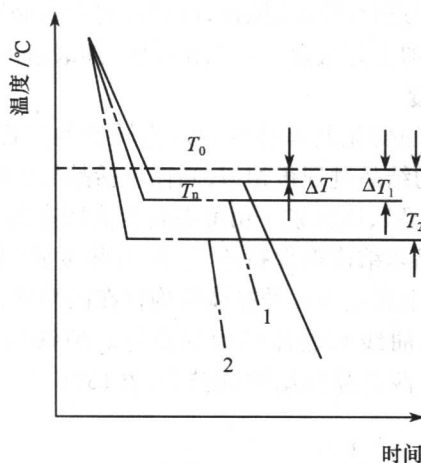


图 1-3 纯铁一次结晶时的冷却曲线示意图

大的同时,液态纯铁中新的晶核仍陆续产生,而且也不断长大,这样就有许多晶核同时在不同程度地长大。各个小晶体都是按自己的方位自由地生长,当它们长大到与相邻的晶体互相抵触时,这个方向的长大便停止了,当全部晶体都长大到各个方向互相抵触时,液态纯铁耗尽,结晶过程也就完成了。最后便形成许多外形不规则、大小不等、排列方向不相同的小晶体。由每个晶核长成的形状不规则小晶体叫做晶粒。晶粒与晶粒之间的接触面(或交界面)叫做晶界。图 1-4 为纯铁一次结晶过程示意图。



图 1-4 纯铁一次结晶过程示意图

综上所述,纯铁的一次结晶可分为两个阶段,即晶核形成和晶核长大,纯铁的一次结晶过程就是晶核不断形成和长大的过程。实验证明,这个形核和长大过程是一切晶体结晶的普遍规律。

3) 细化晶粒的方法

在通常情况下,纯铁一次结晶以后形成了许多晶粒,这种由许多晶粒组成的晶体称多晶体,工业上使用的金属材料大多数都是多晶体,如图 1-5 所示。纯铁一次结晶后其晶粒的大小(或粗细)对其力学性能影响很大,晶粒愈细力学性能愈好,因此,一般都希望得到细晶粒的金属。

在工业生产中,细化晶粒的方法有多种。

(1) 加快冷却速度,即增大过冷度,以提高自发晶核的形成率,如金属型铸造比砂型铸造能够获得较细晶粒的铸件。

(2) 孕育处理,即向液态金属中加入某些固态质点,以起到外来晶核的作用,从而达到细化晶粒的目的,称孕育处理(或称变质处理)。

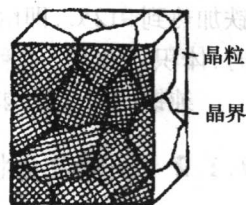


图 1-5 多晶体示意图

(3) 金属在结晶过程中进行震动或搅拌,以破碎树枝状晶体,从而增加晶核的数量。对于固态下金属,某些加工方法也可以细化晶粒,如锻造加工、热处理等。

3. 纯铁的同素异构转变

金属在固态时,随温度的变化其晶体结构发生转变的过程,叫做金属的同素异构转变。这一转变与液态金属的结晶过程很相似,同样包括晶核形成和晶核长大两个阶段,故又叫做二次结晶(或称重结晶),以区别于由液态转变为固态的一次结晶。

多数金属在结晶后的晶体结构都保持不变,但有些金属(如铁、锡、钛、锰等)的晶体结构,却因温度而异。一种金属能以几种晶体结构存在的性质,叫做同素异构性。

图 1-6 是纯铁的冷却曲线和晶体结构的变化。纯铁结晶为固态后,继续冷却到 1394℃ 和 912℃ 时先后发生两次晶体结构的转变。在 1394℃ ~ 1538℃ 之间,纯铁具有体

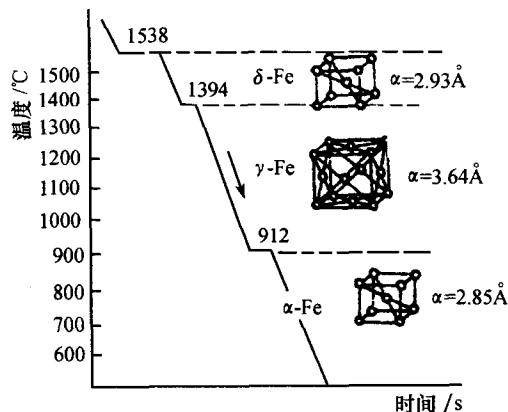
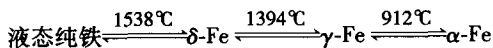


图 1-6 纯铁的冷却曲线

心立方晶格,称为 δ -Fe; 在 912℃ ~ 1394℃ 之间,纯铁为面心立方晶格,称为 γ -Fe; 在 912℃ 以下时,纯铁为体心立方晶格,称为 α -Fe。这些转变表示如下:



(体心立方晶格) (面心立方晶格) (体心立方晶格)

纯铁在同素异构转变时,有体积变化。从原子的排列情况来看,面心立方晶格中的铁原子排列得比较紧密,所以在质量相同的条件下, γ -Fe 的体积比 α -Fe 要小。如将一块纯铁加热到 912℃,即由 α -Fe 变为 γ -Fe,这时体积要缩小;反之,将 γ -Fe 冷却转变为 α -Fe 时,体积会增大。这种体积的变化,会造成内应力。

纯铁的同素异构转变可以细化晶粒,也是钢铁材料进行热处理的重要依据。

1.1.2 铁碳合金状态图

铁碳合金状态图是用实验方法做出的温度-成分坐标图,如图 1-7 所示。因为碳的质量分数大于 6.69% 的铁碳合金,在工业上没有实用的意义,所以图中横坐标仅标出碳的质量分数小于 6.69% 的合金部分。当碳的质量分数为 6.69% 时,铁和碳形成的 Fe_3C , 可以看做是合金的一个组元,因此,这个状态图实际上是 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 的状态图,它是研究钢和生铁的成分、温度与组织之间关系的重要工具。

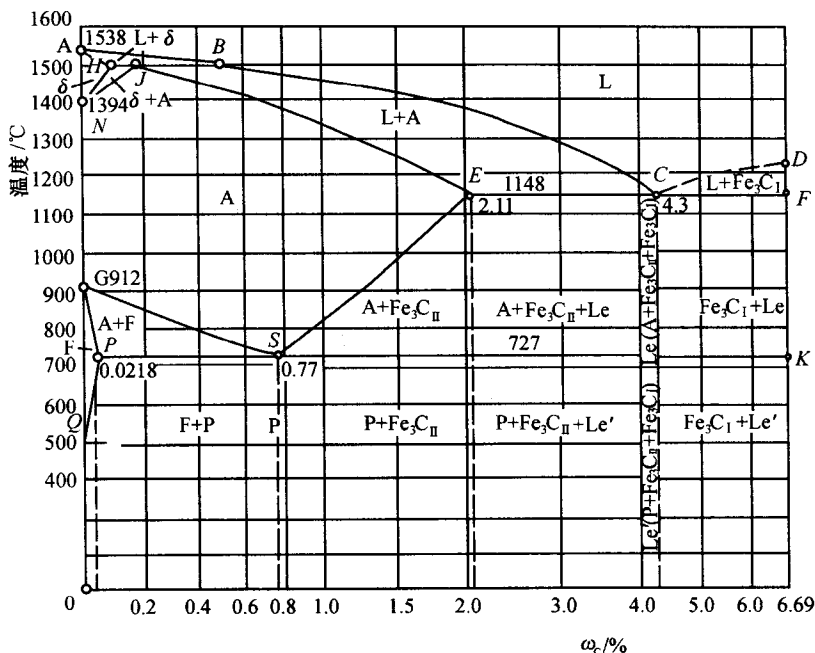


图 1-7 铁碳合金状态图

在工业上广泛应用的金属材料是合金。所谓合金,就是以一种金属为基础,加入了其它金属或非金属元素,经过熔炼、烧结或其它方法而制成的具有金属特性的材料。工业上广泛使用的钢和铸铁就是由铁和碳组成的合金,组成合金的元素叫做组元。组元一般指化学元素,但稳定化合物也可以看成是一个组元。

在合金中,凡化学成分和晶体结构相同,并与其它部分有界面分开的均匀组成部分,叫做相。合金和纯金属在性能上差异很大,其主要原因是两者在晶体结构上不同。合金的结构比纯金属的复杂,因为组成合金的元素相互作用,会形成各种不同的相。纯金属在固态时是一个相——固相;当温度升高到其熔点时开始熔化,在熔化过程中,为固相与液相共存的两相混合物;当温度高于熔点时,则又成为一个相——液相。在合金中,由于组元的相互作用,可能形成更多的不同的相。

1. 铁碳合金的基本组织

铁碳合金的组元(铁和碳)在结晶时的相互作用,可以形成固溶体(如铁素体和奥氏体)、金属化合物(如渗碳体)和机械混合物(如珠光体)。

1) 铁素体

铁素体是碳溶于 α -Fe中形成的固溶体,用符号F表示。铁素体保持着 α -Fe的体心立方晶格。碳在铁素体中的溶解度很小,在727℃时,溶解度为0.0218%;随着温度的降低,溶解度逐渐减小,在600℃时溶解度约为0.0057%;在室温时溶解度仅为0.0008%。铁素体的性能与纯铁相近,即强度和硬度较低,塑性、韧性好。

2) 奥氏体

奥氏体是碳溶解在 γ -Fe中形成的固溶体,用符号A来表示。奥氏体保持着 γ -Fe的面心立方晶格。碳在奥氏体中的溶解度比碳在铁素体中的溶解度大,在1148℃时的溶解度最

大可达 2.11%。随着温度的降低, γ -Fe 中碳的溶解度降低, 到 727℃ 时, 溶解度为 0.77%。

稳定的奥氏体在钢内存在的最低温度是 727℃。碳原子的大量溶入, 使奥氏体具有一定的强度和硬度, 由于其具有的面心立方晶格结构, 其塑性也很好。奥氏体是绝大多数钢在高温进行锻造时所要求的组织。

3) 渗碳体

渗碳体是铁和碳的金属化合物, 碳的质量分数为 6.69%, 其分子式是 Fe_3C , Fe_3C 也作为渗碳体的表示符号。渗碳体具有复杂的晶格结构, 它与铁和碳的晶格形式截然不同。渗碳体的硬度很高, 但塑性很差, 是一种硬而脆的组织。渗碳体在钢中主要起强化作用。

4) 珠光体

珠光体是铁素体和渗碳体的机械混合物, 用符号 P 来表示。在平衡条件下, 珠光体中碳的质量分数为 0.77%, 由于它是由硬而脆的渗碳体和软的铁素体以层片相间形式排列组成, 故珠光体的力学性能介于铁素体和渗碳体之间, 它的强度较高, 硬度适中, 塑性、韧性较低。

铁碳合金的基本组织、符号、碳的质量分数及力学性能列于表 1-1。

表 1-1 铁碳合金的组织及力学性能

组织名称	符 号	碳的质量分数/%	σ_b /MPa	硬度 HBS	δ /%	$\alpha_k/(J/cm^2)$
铁素体	F	约 0.0218	180 ~ 280	50 ~ 80	30 ~ 50	160 ~ 200
奥氏体	A	约 2.11	—	120 ~ 220	40 ~ 60	—
渗碳体	Fe_3C	6.69	30	相当于 800	0	0
珠光体	P	0.77	750	180	20 ~ 25	30 ~ 40

2. 铁碳合金状态图中主要点和线的意义

1) 主要特性点的含义

在铁碳合金状态图中用字母标出的点都表示一定的特性(成分和温度), 所以叫做特性点。各主要特性点的含义列于表 1-2。

表 1-2 Fe- Fe_3C 状态图中部分特性点

特性点符号	温度/℃	碳的质量分数/%	含 义
A	1538	0	纯铁的熔点
C	1148	4.3	共晶点 $L_{4.3\%} - A_{2.11\%} + \text{Fe}_3\text{C}_{6.69\%}$
D	1227	6.69	渗碳体的熔点
E	1148	2.11	碳在 γ -Fe 中的最大溶解度
G	912	0	纯铁的同素异构转变点 $\alpha\text{-Fe} - \gamma\text{-Fe}$
P	727	0.0218	碳在 α -Fe 中的最大溶解度
S	727	0.77	共析点 $A_{0.77\%} - F_{0.0218\%} + \text{Fe}_3\text{C}_{6.69\%}$
Q	600	0.0057	600℃ 时碳在 α -Fe 中的最大溶解度

2) 主要特性线的含义

铁碳合金状态图中各条线表示铁碳合金内部组织发生转变时的界线, 所以这些线就是组织转变线。

ACD 线——液相线,即液态铁碳合金冷却到此线时开始结晶。在此线以上的区域为液相,用 L 表示。

AECF 线——固相线,当铁碳合金冷却到此线时,金属液全部结晶为固相。在此线以下的区域为固相。加热到此线时,铁碳合金开始熔化。

ECF 线——共晶线。碳的质量分数在 2.11% ~ 6.69% 的铁碳合金,当冷却到此线时(1148℃),都将发生共晶转变,即 $L_{4.3\%} \rightarrow A_{2.11\%} + Fe_3C_{6.69\%}$,共晶转变所形成的共晶体称为莱氏体,它是奥氏体和渗碳体的机械混合物,用 Le 表示。727℃ 以下的莱氏体是珠光体和渗碳体的机械混合物,用 Le' 表示。

GS 线——冷却时奥氏体中结晶出铁素体的开始线,通常称为 A_3 线。

ES 线——碳在奥氏体中的溶解度线,通常也称之为 A_{cm} 线。在 1148℃ 时,奥氏体中碳的质量分数为 2.11%,而在 727℃ 时仅为 0.77%,所以碳的质量分数大于 0.77% 的奥氏体,冷却过程中都将从奥氏体中析出渗碳体。为了区别,自液相中结晶的渗碳体叫一次渗碳体(Fe_3C_I),从奥氏体中析出的渗碳体称为二次渗碳体(Fe_3C_{II})。

PSK 线——共析线,通常也称之为 A_1 线。碳的质量分数在 0.0218% ~ 6.69% 的铁碳合金,当冷却到此线时(727℃),都将发生共析转变。碳的质量分数为 0.77% 的奥氏体在一定温度下(727℃),同时结晶出两种不同成分的固相(珠光体),即 $A_{0.77\%} \rightarrow F_{0.0218\%} + Fe_3C_{6.69\%}$,共析转变所形成的共析体称为珠光体。

3. 铁碳合金的分类

根据碳的质量分数及组织的不同,铁碳合金分为三大类,见表 1-3。

表 1-3 铁碳合金的分类、含碳量及平衡组织

分类		碳的质量分数/%	平衡组织	符号
工业纯铁		<0.0218	铁素体	F
钢	亚共析钢	0.0218 ~ 0.77	铁素体 + 珠光体	F + P
	共析钢	0.77	珠光体	P
	过共析钢	0.77 ~ 2.11	珠光体 + 二次渗碳体	P + Fe_3C_{II}
生铁	亚共晶白口生铁	2.11 ~ 4.3	珠光体 + 二次渗碳体 + 莱氏体	P + Fe_3C_{II} + Le'
	共晶白口生铁	4.3	莱氏体	Le'
	过共晶白口生铁	4.3 ~ 6.69	莱氏体 + 一次渗碳体	Le' + Fe_3C_I

4. 钢的组织转变

图 1-8 左侧图为简化后的铁碳合金状态图钢的部分,右侧图为三种典型的铁碳合金的冷却曲线及结晶和冷却过程中组织转变的示意图。

1) 共析钢的组织转变

图 1-8 中铁碳合金 I 为碳的质量分数 0.77% 的共析钢。当温度冷却到 1 点,开始从液态金属中结晶出奥氏体,奥氏体的数量随着温度的降低而逐渐增多,直至 2 点结晶结束。在 2 点 ~ 3 点间是单一的奥氏体,当冷却到 3 点(S 点),奥氏体在恒温下发生共析转变,全部转变为珠光体。温度继续下降,珠光体不再发生组织转变。共析钢室温时的平衡组织为珠光体。

2) 亚共析钢的组织转变

图 1-8 中铁碳合金 II 为碳的质量分数 0.4% 的亚共析钢。当冷却到 1 点,开始从液

态金属中结晶出奥氏体。温度降到2点,液态金属结晶结束。在2点~3点之间是单一的奥氏体。温度降到3点,从奥氏体开始结晶出铁素体。温度降到4点,剩余的奥氏体在恒温下转变成珠光体。4点以下不再发生组织转变。亚共析钢在室温下的平衡组织为铁素体和珠光体。

3) 过共析钢的组织转变

图1-8中铁碳合金Ⅲ为碳的质量分数1.3%的过共析钢。当温度冷却到1点,从液态金属中结晶出奥氏体,直到2点结晶结束。在2点~3点之间是单一的奥氏体。冷却到3点,开始从奥氏体中析出二次渗碳体,随着温度的下降,析出的二次渗碳体不断增加。冷却到PSK线上的4点,剩余的奥氏体发生共析转变,转变为珠光体。4点以后组织不再发生变化。过共析钢的室温平衡组织为珠光体和网状的二次渗碳体。

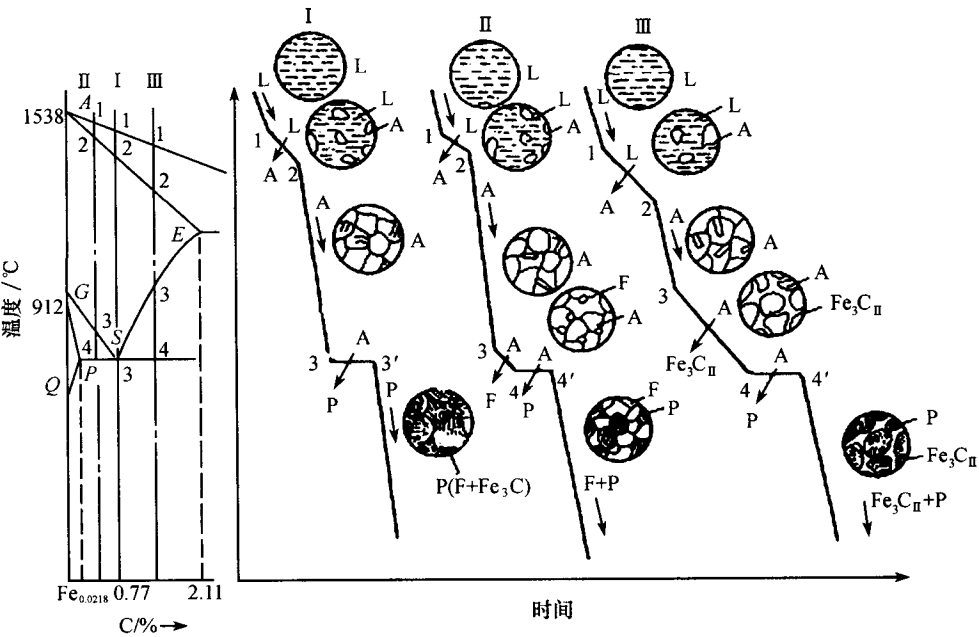


图1-8 典型铁碳合金的结晶过程示意图

1.1.3 化学成分对碳素钢性能的影响

碳的质量分数低于2.11%并含有少量硅、锰、硫和磷等杂质的铁碳合金称为碳素钢。化学成分对碳素钢的性能影响很大。

碳的质量分数对钢力学性能的影响(正火状态)如图1-9所示。

碳是碳素钢中最重要的元素。在钢中,碳主要以渗碳体形式存在。当钢中碳的质量分数小于0.9%时,随着碳的质量分数的增加,钢的强度和硬度不断提高,而塑性和韧性不断下降。这是因为随着碳的质量分数的增加,钢中珠光体含量增多,铁素体含量减少,其强度和硬度提高。但是,当钢中碳的质量分数大于0.9%以后,钢中出现了网状渗碳体,它割裂了珠光体晶粒间的连接,导致钢的强度开始下降,但这时钢的硬度仍然随着碳的质量分数增加而不断提高,塑性、韧性继续下降。

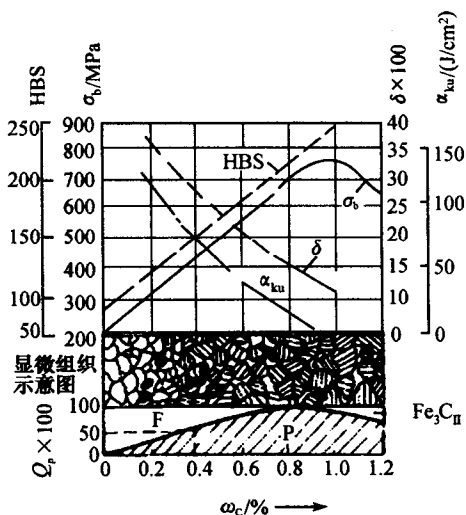


图 1-9 碳的质量分数对钢力学性能的影响(正火状态)

硅、锰、硫和磷等元素对钢的组织 and 性能也有一定影响。硅和锰是有益元素,它们溶于铁素体或渗碳体内,使钢的强度和硬度提高。硫和磷是有害元素。硫常以 FeS 形式存在, FeS 与 Fe 形成低熔点共晶体(熔点 985°C),沿晶界分布。当钢中含硫较多时,在 $800^\circ\text{C} \sim 1250^\circ\text{C}$ 进行锻造时,由于晶界分布的低熔点共晶体已呈熔融状态,削弱了晶粒之间的连接,会造成钢材开裂,称为热脆性。磷可溶于铁素体,使钢的强度和硬度提高,而塑性和韧性下降。磷在结晶时,易形成脆性很大的 Fe_3P ,使钢在室温下的塑性和韧性急剧下降,称为冷脆性。钢中磷的质量分数达到 0.1% 时,冷脆性影响就相当显著。

1.1.4 钢的分类与牌号

钢的种类繁多,按化学成分,可概括为碳素钢与合金钢;按用途,可分为结构钢、工具钢和特殊性能钢;按冶炼的质量来分,有普通钢、优质钢和高级优质钢。

钢的综合分类如图 1-10 所示。

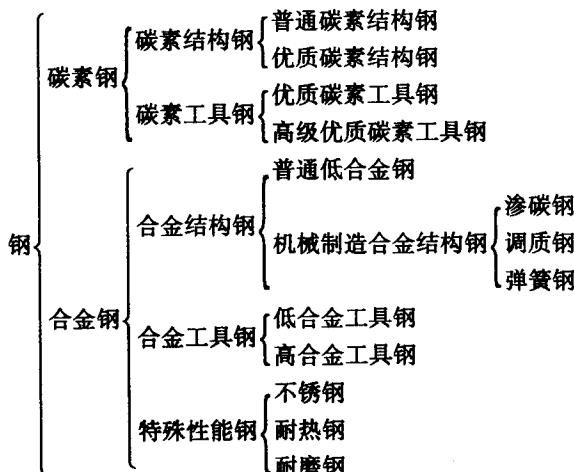


图 1-10 钢的综合分类