



热处理新技术

61

河南人民出版社

内 容 简 介

本书主要内容包括：钢的基础知识、钢的化学热处理、模具热处理、其他热处理等四部分。其中着重介绍各工艺的优缺点、基本原理、操作方法、使用范围以及经济效果。方法简单可行，工艺新颖稳定，经济效果显著，可供热处理的操作人员学习、使用，也可供有关工程技术人员和高等院校金相热处理专业的师生和科研人员参考。

热 处 理 新 技 术

楼 南 金

河 南 人 民 大 学 出 版

河 南 第 一 新 华 印 刷 厂 印 刷

河 南 省 新 华 书 店 发 行

787 × 1092 毫米32开本 6.125印张 120千字

1979年12月第1版 1979年12月第1次印刷

印数 1—2,300册

统一书号 15105·26 定价0.50元

前 言

热处理技术在机械工业中占有十分重要的地位。先进的热处理方法，可以大幅度提高产品内在质量，使一个零件顶几个用，使一台机器顶几台用。热处理技术提高了，可以给国家节约大量的钢材、燃料和电力，为国民经济和国防建设各部门提供高质量、长寿命的现代化机器和设备。

解放以来，我国热处理生产技术有了较快地发展。但是，由于林彪、“四人帮”的干扰破坏，严重地阻碍了我国热处理技术的发展，严重地影响了机械产品质量和设备使用效率的提高。

当前，全国人民正在华主席和党中央的领导下，为祖国的四个现代化而英勇奋斗！适应工农业生产的迅速发展，对机械产品的寿命也提出了更多更高的要求。因此，热处理技术必须急起直追，大力推广和应用新工艺新技术。

这本书搜集了一些热处理新工艺新技术，及一些简单可行的操作方法；但考虑到系统性以及有利于说明问题，也有少量的老工艺。由于本人水平所限，不妥之处，恳请读者批评指正。

在编写过程中，承蒙郭讲庆、吴季恂、李仲达、张林发、蒋允文、王文涛、赵景和、李庆中、杜明伟、赵汉平等同志仔细审阅，热情帮助，在此特致诚挚的谢意。

目 录

第一章 钢的热处理基础	(1)
第一节 金属的机械性能	(1)
第二节 钢的热处理基本知识	(7)
第二章 钢的化学热处理	(38)
第一节 钢的渗碳	(42)
第二节 气体碳氮共渗	(57)
第三节 渗硼	(69)
第四节 碳、氮、硼三元共渗	(77)
第五节 软氮化与离子氮化	(87)
第六节 渗金属	(101)
第七节 低温电解渗硫	(111)
第三章 模具用钢热处理	(118)
第一节 冷作模具用钢热处理	(118)
第二节 热锻模用钢热处理	(148)
第四章 其他热处理	(162)
第一节 低碳马氏体及其应用	(162)
第二节 锻造余热淬火	(181)
第三节 激光热处理	(184)

第一章 钢的热处理基础

第一节 金属的机械性能

任何机械零件或工具，在使用过程中，往往要受到各种形式的外力作用。如起重机的钢索，受到悬吊物拉力的作用；钢轨受到火车很大的压力；柴油机上的连杆，在其传递动力时，不仅受到拉、压力的作用，而且还要承受冲击力的作用；轴类零件要受到弯曲、扭力的作用。这就要求金属材料必须具有一种抵抗外力而不产生超过允许的变形或不被破坏的能力，这种能力就是材料的机械性能。金属材料在外力作用下表现出来的如弹性、强度、硬度、塑性和韧性等，通常就用这些特性来衡量金属材料的机械性能。

任何金属，在外力作用下所引起变形和破坏的过程，大致可分为三个阶段：1.弹性变形阶段，2.塑性变形阶段，3.断裂。

一般的断裂有两种形式：断裂之前没有明显塑性变形阶段的，称为脆性断裂；经过大量塑性变形之后才发生断裂的，称为韧性断裂。

一 弹性

在弹性变形阶段中，当外力卸除之后，变形便消失，固体自然回复到原来状态，称为弹性。通常用弹性模数、比例极限和弹性极限等机械性能指标，来表示固体材料在弹性变形阶段的性能。

1. 弹性模数— E

固体受外力作用时，其内部产生一种内力，以抵抗外力的作用。我们称单位面积上的内力为应力。在外力作用下，产生的变形，我们称单位长度上的变形为应变。一定的物体受某一外力作用而产生弹性变形，而外力和变形总是成比例地增长，即应力和应变成正比时，这个比例系数就称为弹性模数，用 E （公斤/厘米²）表示。金属的弹性模数，主要取决于金属的原子本性、结晶点阵和温度等因素，而合金化、热处理和冷热加工等因素，对它影响很小，因此它是金属材料最稳定性能之一。如钢在室温下的弹性模数约为 $(1.9—2.2) \times 10^6$ 公斤/厘米²。但 E 值随温度的升高而逐渐降低。

2. 比例极限— σ_p

在弹性变形阶段，当应力和应变成正比时极限应力，称为比例极限，用 σ_p （公斤/毫米²）表示。

3. 弹性极限— σ_e

固体材料承受不产生永久变形的最大应力，称为弹性极限，用 σ_e （公斤/毫米²）表示。弹性极限实际上是表示材料弹性变形的极限能力。它和 σ_p 一样，也很难精确测定。为了

测定的方便，通常规定为当产生一很小永久变形值的应力，称为弹性极限。同时弹性极限和比例极限两者很接近，有时就不把它们加以区别。金属材料通过热处理，特别是冷热形变硬化，将强烈地影响它们弹性极限。因此，大多数弹性材料，可通过形变硬化来提高其弹性极限。

二 强度

强度是指物体在外力作用下，抵抗产生塑性变形和断裂的特性。常用的指标有屈服极限和强度极限。

1. 屈服极限— σ_s

金属材料承受载荷时，当载荷不再增加或缓慢增加时，仍继续发生明显的塑性变形，这种现象称为“屈服”。发生屈服现象时的应力，即开始出现塑性变形的应力，称为“屈服点”，用 σ_s （公斤/毫米²）表示。它代表材料抵抗微量塑性变形的抗力。

有些金属的“屈服点”极不明显，实际应用时，常规定以产生残余塑性变形为0.2%时的应力大小，作为“条件屈服极限”，可用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服极限是工程技术上非常重要的机械性能指标之一，也是设计绝大部分零件时选用材料的依据。如为了保证气缸体和气缸盖的密封性，连结螺栓是不允许出现塑性变形的，所以设计汽车、拖拉机气缸盖螺栓时，就必须以屈服极限为根据。

2. 强度极限— σ_b

金属材料在受力过程中，从开始加载到发生断裂所能达到的最大应力值，叫做“强度极限”。一般又称“强度”，用 σ_b （公斤/毫米²）表示。由于受外力作用的形式不同，有抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。

机械零件所受的应力，一般都应小于“屈服极限”，更不允许超过“强度极限”，否则就会发生破坏。显然，材料的强度越高，能承受的应力也越大，相应零件的体积和重量就可以减少。

三 塑性

金属的塑性是指金属在外力作用下产生塑性变形而不被破坏的能力。常用的塑性指标是延伸率和断面收缩率。

1. 延伸率— δ

试样受拉力拉断后，总伸长的长度同原始长度之比值的百分率，称为延伸率，用 δ （%）表示。为了便于比较，试样必须标准化，通常采用试样的长度为其直径的五倍或十倍。

2. 断面收缩率— ψ

试样受拉力拉断后，断面缩小的面积同原截面面积之比值的百分率，叫做断面的收缩率，用 ψ （%）表示。

延伸率和断面收缩率，都是用来度量金属材料塑性大小的，延伸率和断面收缩率愈大，表示金属材料的塑性愈好。如纯铁的延伸率几乎为50%，而普通生铁的延伸率还不到1%，因此，纯铁的塑性远比生铁好得多。

塑性指标在生产中有实际意义，如锻压、冷冲和冷拔

等，好的塑性可顺利地进行某些成型工艺。其次，良好的塑性使零件在使用中能由于塑性变形而避免突然断裂，故在静载荷下使用的机械零件，都需要有一定的塑性。

四 硬度

硬度是指金属材料抵抗其他更硬物体压入表面的能力。

由于测量的方法不同，常用的硬度指标可分为布氏硬度（HB）、洛氏硬度（HRA、HRB、HRC）、维氏硬度（HV）等。

硬度是材料的重要性能指标之一。硬度高、耐磨性能好，工具（刀具、钻头、锉刀等）越硬，也越锋利。大部分金属的硬度和强度间有一定的关系，因而可用硬度来近似的估计出抗拉强度值。根据经验，它们的关系是：

低碳钢 $\sigma_b \approx 0.36HB$

高碳钢 $\sigma_b \approx 0.34HB$

灰铸铁 $\sigma_b \approx 0.1HB$

硬度试验方法比较简便、迅速，而且一般不破坏零件，所以在实际生产中应用最广。

五 韧性

韧性为抵抗冲击力的作用而不被破坏的能力，通常用冲击值和冲击韧性来度量。

1. 一次冲击试验

采用一定尺寸和形状的标准试样，进行一次冲击试验，

以作用在试样上所消耗的冲击功为冲击值，用 A_k （公斤·米）表示；将冲击功除以试样的横截面积，所得的商，称为冲击韧性，以 a_k （公斤·米/厘米²）表示。冲击韧性愈大，表示材料的韧性愈好。脆性材料的破坏是突然发生的，没有显著的变形，断口呈纤维状。

冲击试验在检验金属材料内部结构的变化，脆性破坏情况以及鉴定工艺规范的正确性方面，比其他试验方法敏感，试验过程也较简便，故目前在生产和科研中仍经常采用。

2. 多次冲击试验

在动负荷下工作的结构零件，实际上很少因受一次超载荷冲击而破坏的。不少情况下所承受的冲击负荷，是属于小能量的多次重复冲击。这时，仅用冲击值 A_k 来度量其抗力就不够确切了，而应以多次重复冲击试验来度量。

有关单位研究表明：在能量不太大的情况下，材料承受多次重复冲击的能力，主要决定于强度，而不决定于冲击韧性。如目前广泛采用球墨铸铁制造柴油机的曲轴，其冲击韧性只有1.5 公斤·米/厘米²左右；但由于强度高，因此仍能正常运转。可见对于这类能量不太大而多次冲击下工作的零件，单纯追求很高的冲击韧性并没有什么必要，主要强调的倒是应具有足够的强度。

六 疲劳

很多机械零件，如各种轴、齿轮、连杆、弹簧等，经常受到大小及方向变化的交变载荷，这种交变载荷，使金属材

料的破坏应力远较金属的屈服强度为低时即发生断裂的现象，称为疲劳。金属在无数次交变载荷作用下，而不致引起断裂的最大应力，称为“疲劳强度”，用以度量金属的疲劳性能。

实际上不可能进行无数次的试验，而把经 10^6 — 10^8 次的循环试验作为疲劳强度。如钢在纯弯曲交变载荷下循环 5×10^6 次时，所测得不发生断裂的最大应力，即为它的弯曲疲劳强度，用 σ_{-1} 表示。一般碳钢的弯曲强度值，只有抗拉强度的一半左右。

金属的疲劳强度与很多因素有关，如合金成分、表面状态、组织结构、夹杂物的多少与分布情况、零件应力集中情况等。如对零件表面进行强化处理，亦能显著提高其疲劳强度。

上述这些机械性能，都是从一般的材料力学概念出发的，即把金属材料假设为均匀连续的固体物质。实际上，一般材料都可能存在各种各样的缺陷或微小的裂纹。断裂力学就是承认材料的不连续性和不均匀性，并提供了考虑到材料有微小裂纹的一套数值方法和各种设计参数，对于解决诸如超高强度钢的应用，低温脆性等方面的问题，很有实际价值。

第二节 钢的热处理基本知识

热处理是将钢件通过加热、保温、冷却来改变钢件的内

部组织（结构），从而改变钢件的机械性能的一种工艺方法。钻头通过淬火获得马氏体组织才具有高的硬度，用它就可以钻各种钢制零件的孔。钢件的性能是由组织所决定的，那么钢件内部组织如何变化呢？

一 钢铁的组织及其转变

钢和生铁都是铁与碳的合金，它们的区别主要是含碳量的不同。钢的含碳量小于2%，工业用钢一般含碳量不超过1.4%。生铁含碳量大于2%，一般在2.5—4%之间。由于含碳量的差异，造成钢和生铁的性能显然不同。拿钢来说，含碳量越多，钢材的强度、硬度便愈高，而塑性和韧性都随之降低。另外，我们在热处理实践中还会发现：即使是相同成分的钢材，加热到同样高的温度，由于采用不同的冷却速度，所得到的机械性能也不相同。简单点说，快冷硬度高，慢冷硬度低，所以钢铁的内部组织结构随着化学成分和热处理工艺不同而变化。为了正确选择热处理工艺，必须了解金属的化学成分、组织和性能三者的相互关系。

金属中的原子，都按一定的次序有规则的排列成结晶格子，所以绝大多数金属与合金都是晶体。这种原子有规则的排列，形成一定的空间几何形状，称为空间晶格，简称晶格。常见的有体心立方晶格和面心立方晶格等。

体心立方晶格如图1-1(a)所示，在立方体的中心和八个顶点各有一个原子。具有这种晶格类型的金属，有铬、钨、钼、钒和 α 铁（高于1390℃和低于910℃）等。

面心立方晶格如图1-1(b)所示，在立方体的八个顶点和六个面的中心各有一个原子。具有这种晶格类型的金属，有铝、铜、镍、钴、铅、金、银和 γ 铁（910—1390℃之间时）等。

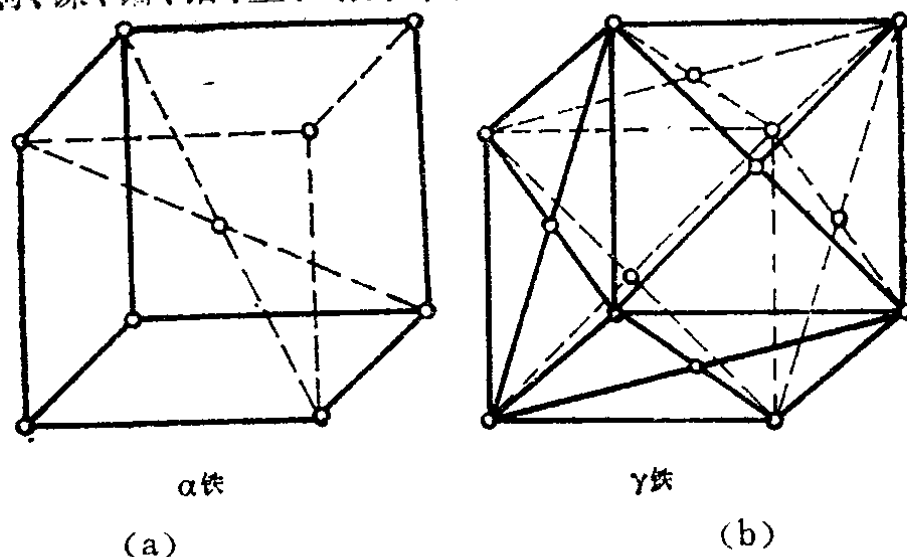


图 1-1 常见的金属晶格

在金相显微镜下观察金属组织时，我们只能看到组成金属的晶粒，它有明显的晶界。晶粒内部则是由无数个原子按一定的晶格类型排列而组成的。晶格类型和晶粒大小（或称粗细晶粒），都直接影响金属的性能。

从上述晶格类型的分析中还说明，象铁这样的金属，随着温度的变化，可以由一种晶格转变为另一种晶格，即 α 铁 $\rightleftharpoons\gamma$ 铁，称为同素异晶转变。这个特性十分重要，这就是钢铁材料所以能通过各种热处理方法来改变其内部组织，从而改善性能的内在因素。

具体地说，钢铁中的铁和碳在固态下又是怎样结合的呢？

纯铁在固态下有同素异晶转变，即 α 铁和 γ 铁两种晶格。

它们对于碳元素的溶解能力不同，所以形成了两种固溶体，分别称为铁素体和奥氏体。除了固溶体外，合金中还有化合物和机械混合物等。

铁碳合金的基本组织如下：

(1) 铁素体

铁素体是碳在 α 铁中的固溶体。由于 α 铁的原子间隙很小，所以碳的溶解度也极小，室温下仅能溶解0.006%碳。铁素体又称纯铁体，这是因为它的含碳量极少，性能近似于纯铁之故。其强度和硬度低，但塑性和韧性很好，因而含铁素体多的钢（如低碳钢）就表现出软而韧的性能。

(2) 奥氏体

奥氏体是碳溶解于 γ 铁中的固溶体。由于 γ 铁原子间隙较大，所以碳在 γ 铁中的溶解度要比在 α 铁中大得多，在723℃时可溶解0.8%，在1130℃时可达最大值2%。碳钢中奥氏体只有加热到723℃（称为临界点）以上，组织发生转变时才存在。它的强度和硬度并不高，但塑性很好。奥氏体的特点是没有磁性。

(3) 渗碳体

铁和碳以化合物形态出现的碳化铁，称为渗碳体。其中铁原子与碳原子的比为三比一。渗碳体的性质与铁素体相反，硬度很高，几乎为铁素体的十倍，但延伸率和冲击韧性几乎等于零，所以十分脆。在常温下，碳在 α 铁中溶解度很小，钢铁中大部分碳都以渗碳体形式存在。

(4) 珠光体

珠光体是铁素体和渗碳体二者组成的机械混合物。碳素钢中珠光体组织的平均含碳量约为 0.8%，它的机械性能介于铁素体和渗碳体之间，强度、硬度、塑性适中，但不脆，这是因为珠光体中的渗碳体量比铁素体量少得多（约八分之一）的缘故。

(5) 莱氏体

莱氏体是珠光体和初次渗碳体的共晶混合物，存在于高碳钢和白口铁中。它具有较高的硬度($HB > 700$)，是一种较粗而脆的组织。

(6) 马氏体

钢从高温奥氏体状态急冷（淬火）下来，得到一种碳原子在 α 铁中过饱和的固溶体，称为马氏体。它具有很高的硬度，而且随着含碳量的增加而提高。一般马氏体很脆，延展性很低，几乎不能承受冲击载荷。近年来对低碳钢（包括低碳合金钢）进行淬火强化，以获得低碳马氏体，它具有高强度与良好的塑性、韧性相结合的特点，从而得到愈来愈广泛的应用，下面（第四章）将详细叙述。

(7) 石墨

在铸铁或石墨钢中，有的碳元素，既不存在于铁素体内，也不生成渗碳体，而呈游离的石墨状态存在。石墨质软而脆，润滑性好，因此一般铸铁都具有良好的自润滑性。

二 铁碳相图

铁碳相图又名铁碳状态图，它表示了钢的化学成分（含

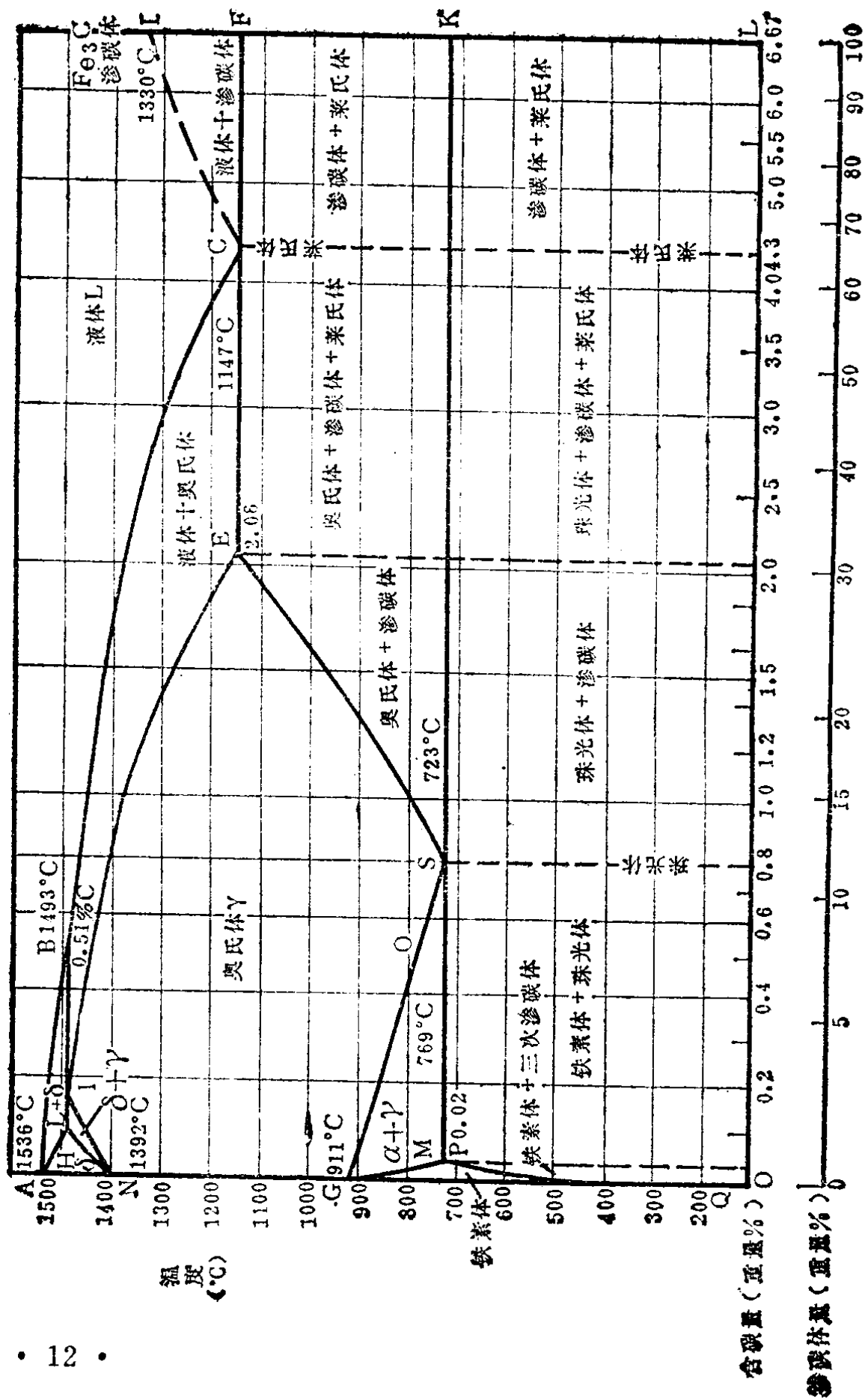


图 1-2 铁—碳相图

碳量)、内部组织与温度三者之间的相互关系。

图1-2所示即为铁碳相图，由图中可以看出：

(一) 铁碳在常温下的组织

含碳量为 0.8% 的钢，是由单一的珠光体所组成，称为共析钢；含碳量低于 0.8% 的钢，是由铁素体加珠光体所组成，称为亚共析钢；含碳量大于 0.8% 的钢，是由珠光体加渗碳体所组成，称为过共析钢。

含碳量在 2.0% 以上（即生铁）的平衡组织，则是由莱氏体和渗碳体所组成。

(二) 临界点及其意义

钢在加热或冷却过程中，其内部组织发生转变的温度叫做临界温度，或称临界点。在铁碳相图中的临界点有 A_1 （PSK线）、 A_3 （GS线）和 A_{cm} （ES线），各点的组织转变情况为：

A_1 点—在图上是一条水平线，温度为 723°C ，它表示各种钢加热到 723°C 以上时，珠光体开始转变为奥氏体。反之，从高温冷却至 723°C 以下时，奥氏体转变为珠光体。加热时以 Ac_1 表示；冷却时以 Ar_1 表示。

A_3 点—它表示亚共析钢加热到 A_3 时，其组织中的铁素体全部溶解到奥氏体中。反之，从高温冷却到 A_3 时，奥氏体中开始析出铁素体。加热时以 Ac_3 表示；冷却时以 Ar_3 表示。

A_{cm} 点—它表示过共析钢加热到 A_{cm} 时，其组织中的渗碳体全部溶解到奥氏体中。反之，从高温冷却到 A_{cm} 时，奥氏体中开始析出渗碳体。加热时以 Ac_{cm} 表示；冷却时以 Ar_{cm} 表示。