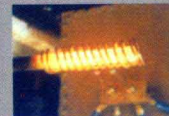
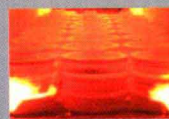


高 级 技 工 学 校 教 材



劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心 组织编写
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会

金属材料 与热处理

中央广播电视大学出版社

高级技工学校教材

金属材料与热处理

劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会 组织编写

中央广播电视大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

金属材料与热处理/劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心,全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织编写. —北京:中央广播电视大学出版社,2004.7

高级技工学校教材

ISBN 7-304-02672-3

I. 金… II. ①劳…②全… III. ①金属材料—技工学校—教材②热处理—技工学校—教材 IV. TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 056412 号

版权所有,翻印必究。

金属材料与热处理

劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织编写

出版·发行:中央广播电视大学出版社

电话:发行部:010-68519502 62529338 总编室:010-68182524

网址:<http://www.crtvup.com.cn>

地址:北京市海淀区西四环中路45号

邮编:100039

经销:新华书店北京发行所

策划编辑:苏 醒

封面设计:王 容

责任编辑:姜海燕

版式设计:张 彦

责任印制:赵联生

责任校对:冯 欢

印刷:北京宏伟双华印刷有限公司

印数:0001-3000册

版本:2004年9月第1版 2004年9月第1次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:8

字数:187千字

书号:ISBN 7-304-02672-3/TG·10

定价:15.00元

(如有缺页或倒装,本社负责退换)

高级技工学校教材

机电类专业编审工作委员会

主 任：陈 宇 郝广发

副主任：孙长庆 张永麟 杨黎明

委 员：(按姓氏笔画排序)

于 平	王 军	王兆山	王洪琳	王晓君
付志达	付元胜	冯振君	刘大力	刘亚琴
许炳鑫	孙国庆	李 涛	李长江	李木杰
李鸿仁	李超群	杨耀双	杨君伟	杨柳青
何阳春	张 斌	张仲民	张跃英	陈 蕾
林 青	林爱平	周学奎	单渭水	郝晶卉
赵杰士	贾恒旦	董桂桥	甄国令	

《金属材料与热处理》编写人员

主 编：许炳鑫

主 审：王德合

编 者：黄晓明 周家琥 黄国雄

序

为实施人才强国战略，加快高技能人才培养，劳动和社会保障部组织实施了国家高技能人才培养工程。为配合这项工程实施，我部委托中国就业培训技术指导中心、全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会，组织专家编写了高级技工学校机床切削加工、机械设备维修、模具制造与维修、数控机床加工、电气维修 5 个专业的配套教材。

高级技工学校是我国培养高技能人才的重要基地。这次编写的 5 个专业的配套教材，是高级技工学校多年教学实践经验的积累和总结。教材依据《国家职业标准》和《高级技工学校专业教学计划》，瞄准经济发展对技能人才的要求，以职业技能为核心，注重教学内容的科学性、先进性和规范性，突出实践创新能力的培养。本套教材在编写中，特别注意了中、高级技能人才培养的衔接，教材的适用范围为具备中级职业资格水平的读者对象。本套教材同时可作为相关职业（工种）高级工、技师等企业职工培训教材，也可作为相关专业高职院校的课程教材，并且还可为相关专业技术人员作为参考。

本套教材的编写得到了学校、企业等有关方面的大力支持，30 多所高级技工学校和企业的专家参加了教材的编审工作，付出了辛勤的劳动，在此向所有参与教材编审工作的同志和给予大力支持的学校、企业表示感谢。

劳动和社会保障部培训就业司

2004 年 6 月

前 言

本书依据劳动和社会保障部新颁布的《高级技工学校专业目录教学计划》(试行)编写而成。全书共 7 章,内容包括合金相图、铁碳合金相图、钢的热处理基础、合金钢、铸铁、有色金属及其合金和机械零件的选材及工艺路线分析。本书遵循突出技能训练,强化创新能力的培养,以培养具备较宽理论基础和复合型技能的人才,使培养的人才适应科技进步、经济发展和市场需要。

本书的编写工作得到了各学校领导的重视和支持,参与编写的人员均为各学校的教学骨干,保证了本书能够按计划有序地进行,并为编好本书提供了良好的技术保证,在此对各学校的支持表示感谢。

全书由许炳鑫主编,王德合主审,绪论和第五章由许炳鑫编写,第一章、第二章由黄晓明编写,第三章由周家琥编写,第四章、第六章、第七章由黄国雄编写。

由于时间和编者水平有限,书中难免存在某些缺点和错误,敬请读者批评指正。

编 者

2004 年 6 月

目 录

绪 论.....	1
第一章 合金相图.....	3
第一节 合金及其结构.....	3
第二节 二元合金相图.....	6
第三节 共晶相图.....	9
第二章 铁碳合金相图.....	15
第一节 铁碳合金的基本组织.....	15
第二节 铁碳合金相图分析.....	17
第三节 碳素钢.....	27
第三章 钢的热处理基础.....	32
第一节 钢在加热时的转变.....	33
第二节 钢在冷却时的组织转变.....	36
第三节 钢的组织转变.....	39
第四节 钢的退火与正火工艺.....	42
第五节 钢的淬火与回火.....	46

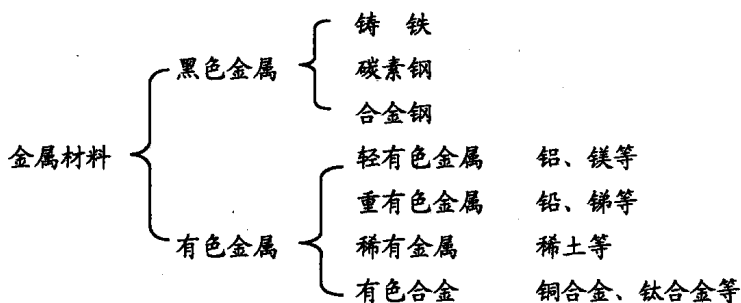
第六节 其他热处理简介	52
第四章 合金钢	57
第一节 钢的分类及编号	57
第二节 合金元素在钢中的作用	61
第三节 工具钢和特殊钢	66
第五章 铸 铁	81
第一节 概 述	81
第二节 灰口铸铁	86
第三节 可锻铸铁	91
第四节 球墨铸铁	93
第五节 合金铸铁简介	97
第六章 有色金属及其合金	100
第一节 铜及铜合金	100
第二节 轴承合金	105
第七章 机械零件的选材及工艺路线分析	109
第一节 机械零件选材的一般原则	109
第二节 典型零件选材及工艺路线分析	112

绪 论

金属材料是现代社会的物质基础，在人类文明进步的过程中发挥着重要的作用。在科技发展日新月异的今天，金属材料科学也有了突飞猛进的发展，出现了各种新材料和新技术。

金属材料具有许多优良性能，能满足生产和生活上的各种需要，因此获得了广泛的应用。金属材料还具有优良的工艺性能，可采用各种工艺方法制成各种形状的零件和工具。因其有使用性能好、制造成本低的优势，迄今为止在工程材料中仍是应用较多的一类材料，而制造机器设备、仪表仪器、模具工具、车辆、船舶、飞机也都使用大量的金属材料。现在，金属材料的研究，特别是合金材料的研究仍是许多国家材料科学的重点发展学科之一。

金属材料按化学成分组成可分为黑色金属和有色金属两大类：



金属材料的各种性能取决于其化学成分和内部组织。因此，要准确地选用金属材料，便利地采用不同的工艺来制造各种零件和工具，就必须掌握金属材料的内部组织结构及其在一定条件下的变化规律。

《金属材料与热处理》是研究金属材料的性能与成分及内部组织结构之间的关系、改变金属材料性能的途径以及各种常用金属材料的一门科学。

人类在使用金属材料方面具有悠久的历史。我国古代人民在生产使用金属材料方面曾取得巨大成就。从甘肃齐家文化遗址中发现，4000年前，我们的祖先就已经开始使用红铜，将其锻打成刀、匕、锥和指环等器物，经化验含铜量高达99.6%。与古代世界其他地区相比，我国冶金技术虽起步较晚，但发展很快，到商代，青铜铸造技术上就已经达到了很高的水平，多范拼铸、内外范合铸、镶嵌铸造等技术已广泛应用。现存的很多商代青铜器物均以其精致美观著称于世，如司母戊鼎长宽高分别为110cm、78cm、133cm，重达875kg。据今天对其合金成分的分析，含铜量为84.77%，含锡量为11.46%，含铅量为2.79%，其中锡铅合占14.43%，基本符合科学要求。能铸造这样的一件大鼎，说明当时的人们已具有高超的冶铸技术。春秋末年的《考工记》中记载了“六齐”之说，即青铜的六种不同比例的铜锡合金的成分、性能和用途之间的关系，是世界上最早的合金工艺总结。春秋末年至秦汉期间的一些青铜兵器表面上有含铬防锈层，至今仍光灿夺目，这是古代冶金技术上的又一项

重大成果。

我国用铁也比一些文明古国晚许多年，然而进步更大。我国人工冶铁技术大约始于春秋晚期，之后很快就发明和应用了熔炼法，即把矿石、木炭置于炉内高温烧炼，熔炼成铁水然后铸成生铁。春秋晚期出土的铁铲经金相检验，是迄今发现最早的可锻铸铁，其中也有白口铸铁制成的器物。不过，我国是最早使用钢制品的国家，春秋晚期即出现钢剑。大约在西汉后期就发明了一种把生铁炼成钢的炼钢技术，而欧洲人 18 世纪才掌握这种技术。

我国古代人民在热处理工艺方面也有较大贡献。从史料和考古的成果中可以看出，远在战国时期我国便已经掌握了脱碳、淬火等热处理技术，到 17 世纪的明代已达到相当先进的水平。总之，在金属材料的发展使用过程中，我国古代取得过辉煌的成就。我们曾经落后过，也超前过。后来由于长期封建制度的束缚，科学技术的发展受到严重阻碍，到了近代，金属材料科学停滞不前。

而在欧洲，随着 18 世纪中期工业革命的开始，生产力极大提高，人们对于金属材料无论在数量上还是质量上都提出了越来越高的要求，促进了金属材料科学和热处理技术的发展。随着电子显微镜应用于金属显微组织的研究，金属的性能与显微组织的关系得以确定，使有关金属的知识由世代相传的经验提炼为理论，奠定了有关金属材料的理论基础。近年来，由于新的研究手段迅速发展，金属材料科学的发展更加迅猛。

《金属材料与热处理》是机械制造类各专业的技术基础课，其主要目的是使学生获得有关金属材料和热处理的基本理论知识，并能正确地选用常用金属材料，合理使用金属材料及热处理工艺。要生产出一个好的产品，除了先进的设计外，选择所用的材料也很关键。所以，如何在繁多的材料中选用合理的材料、制定正确的材料加工工艺、充分发挥材料的性能潜力、节省材料、降低生产成本、制造出价廉物美的产品是非常重要的。

本课程是金属压力加工、铸造、焊接等热加工专业的基础，是一门从生产实践中发展起来，而又直接为生产服务的科学，具有一定的理论性和较强的实用性。学习过程中应注意经常联系其他基础学科，还要注意问题的分析、理解和应用，密切联系生产实际，重视实践环节，把所学知识运用到生产实际中去。

第一章 合金相图

合金相是利用合金系的成分和温度来表示不同成分合金结晶过程和组织状态的简明图解。本章通过对合金相图的建立和分析，阐述了合金成分、温度及组织的关系。

第一节 合金及其结构

一、合金及其相

合金是指由两种或两种以上的金属元素，或金属元素与非金属元素，通过熔炼或其他方法结合而成的具有金属特性的物质。例如：黄铜是铜（Cu）和锌（Zn）两种金属结合而成，而生产中常用的钢和铁则是由金属铁（Fe）和非金属碳（C）结合而成的合金，硬铝则由铝（Al）、铜（Cu）、镁（Mg）组成。与纯金属相比，合金不仅具有较好的性能，同时还可以通过调节组成的物质元素及所占比例，获得一系列性能各异的合金，从而满足生产的需要。

组成合金的最基本的、独立的物质称为组元，简称元。组元就是组成合金的元素，可以是金属、非金属元素或稳定化合物。例如：黄铜的组元是铜和锌，钢、铁的组元是铁和碳。像这样由两个组元组成的合金称为二元合金。而硬铝的组元是铝、铜和镁。这种由三个组元组成的合金则称为三元合金，由三个以上的组元组成的合金称为多元合金。

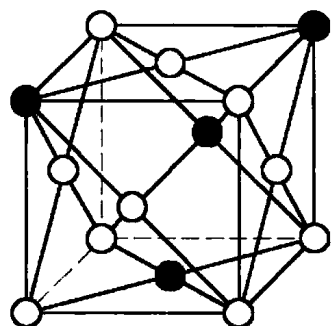
合金的组织、结构较纯金属复杂，性能较纯金属优异，其原因在于合金的各组元之间相互作用会形成各种不同的相。相是指合金中具有同一物理、化学性能，同一结构和原子聚集状态，以界面相互分开的均匀的组成部分。例如：对于纯金属，液态为液相，冷却凝固时为液相和固相共存，固态下则为固相；对于二元合金，液态下所有组元均匀地混合在一起，具有同一物理、化学性能，同一结构和原子聚集状态，因而是一个相，即液相。冷却凝固时，液态与固态以界面相互分开，因而有液相和固相。其中，冷凝时由于组元间的相互作用，固相中又可能产生一种或多种不同的相。因而当冷却至室温时，二元合金可能是由不同性能、不同结构的多种相所组成。

二、合金的相结构

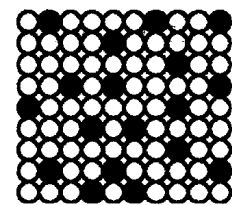
从上面我们知道，合金在冷却凝固时，组元间的相互作用形成不同的相。这种相互作用所形成的结构、性能不同的相可归纳为 3 类：固溶体、金属化合物和机械混合物。

(一) 固溶体

固溶体是合金中一种组元溶解其他组元，或组元间相互溶解而形成的一种均匀固相。其中，与固溶体晶格相同的合金元素（组元）称为溶剂，另一组元为溶质。如图 1-1、图 1-2 所示，溶质原子溶入固态溶剂中，并保持溶剂晶格类型而形成一个相。

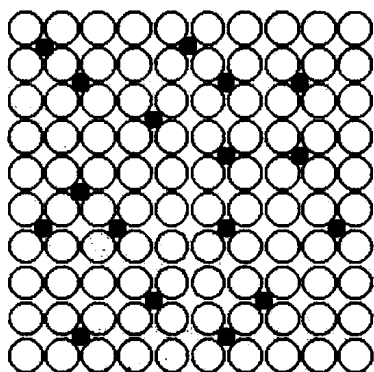


○——溶剂原子



●——溶质原子

图1-1 置换固溶体的结构示意图



●——间隙原子 ○——溶剂原子

图1-2 间隙固溶体结构示意图

根据溶质原子在溶剂晶格中位置的不同，固溶体又可分为两类：

1. 置换固溶体

溶质原子置换了某些溶剂晶格结点上的原子而形成的固溶体，称为置换固溶体。如图 1-1 为置换固溶体的结构示意图，溶质原子占据了溶剂晶格结点的某些位置，将溶剂原子置换出来，形成置换固溶体。

2. 间隙固溶体

溶质原子分布于溶剂晶格间隙中而形成的固溶体，称为间隙固溶体。如图 1-2 为间隙固溶体的结构示意图，溶质原子溶于溶剂晶格间隙处形成间隙固溶体。

一般来说，组元的原子半径相接近的易形成置换固溶体，而当溶质原子为半径很小（小于 1，且原子半径比小于 0.59）的非金属元素时，则形成间隙固溶体。溶质原子在溶剂中的溶解度又取决于组元间的晶格类型、原子半径、电化性等的差异，这种差异越小，溶解度越大，即组元元素在周期表中的位置越相近，其溶解度越大；反之，则溶解度越小。

无论是置换固溶体还是间隙固溶体，由于溶质原子的溶入，将会使溶剂晶格常数增大，晶格发生畸变（图 1-3），从而使金属的强度、硬度及电阻增高，产生固溶强化。它是提高金属力学性能的重要途径之一。

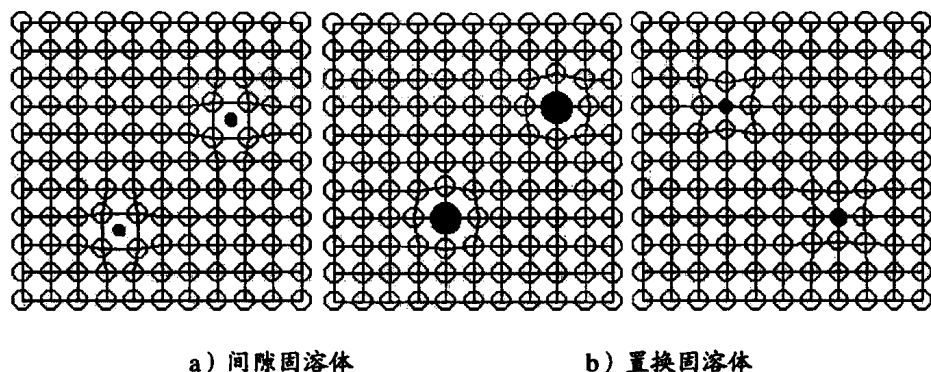


图1-3 固溶体的晶格畸变

(二) 金属化合物

金属化合物是合金组元间发生相互作用而形成的具有一定金属性能的新生相，其晶格类型及性能均不同于任一组元。一般具有较高的熔点、硬度和较大的脆性，因而合金中出现金属化合物时，通常都有较高的强度、硬度及耐磨性，但塑性、韧性较低。可用分子式来表示其组成，如碳素钢中的 Fe_3C 、铜铝合金中的 CuAl_2 、合金钢中的 Cr_{23}C_6 及 $\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$ 等都是金属化合物。金属化合物有以下 3 种常见类型：

1. 正常价化合物

正常价化合物是指符合一般化合物的原子价规律的金属化合物。具有严格的化合比，成分固定，可用化学式表示。各元素原子在晶格中有序排列，一般具有很高的硬度和脆性，弥散分布于固溶体中，使合金得到强化，起强化相的作用。

2. 电子化合物

电子化合物不遵循原子价规律，是指按一定的电子浓度比组成一定晶格结构的金属化合物。虽可用化学式表示，但其组元的原子呈无序排列，具有很高的熔点和硬度，但塑性较差。一般仅作强化相存在于合金中。

3. 间隙化合物

间隙化合物是由过渡族金属元素和原子半径较小的非金属元素形成的金属化合物。根据非金属原子半径与金属原子半径比值大小的不同可分为简单晶格结构的间隙化合物（间隙相）和复杂晶格结构的间隙化合物。间隙化合物具有极高的熔点和硬度，并有较高的稳定性，以间隙相尤其突出，都是高合金工具钢及硬质合金中的重要组成。

(三) 机械混合物

由两种或两种以上的相按一定质量百分比数组成的物质称为机械混合物。机械混合物中各组成部分可以是纯金属、固溶体或化合物各自的混合，也可以是它们的混合。机械混合物中各组成部分保持自己原来的晶格，其性能取决于各组成相的性能、分布形式、数量及大小。

第二节 二元合金相图

相图是表示合金成分、温度和组织间关系的图表，是表示合金系在平衡状态下，不同温度和化学成分时各相关关系的图表，故也称为平衡图或状态图。根据相图我们不仅可以看出不同化学成分的合金在室温下的平衡组织，而且还可以了解合金从高温液态冷却至室温固态时组织（相）的变化过程。因而，相图是研究合金在加热、冷却过程中组织变化的工具，也是制定铸、锻、热处理等热加工工艺的重要依据。

一、二元合金相图的表示方法

我们知道，纯金属的结晶过程用冷却曲线来表示，如图 1-4 为纯铁的冷却曲线。其中，A、B、C 可以分别表示纯铁的组织转变点，即在 A 点以上为液相，在 A 点时液相转变为固相，析出 δ -Fe，在 A、B 之间为 δ -Fe；在 B 点时 δ -Fe 向 γ -Fe 转变，在 B、C 之间为 γ -Fe；在 C 点时 γ -Fe 向 α -Fe 转变，在 C、D 之间为 α -Fe。反之，从低温至高温（即加热）亦然。因而，冷却曲线是表示某一特定化学成分的金属在加热、冷却时组织的转变过程。

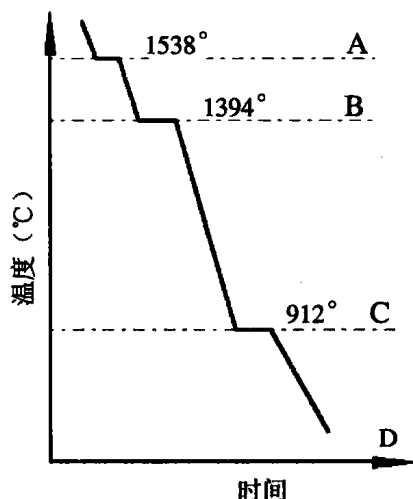


图1-4 纯铁的冷却曲线

对于二元合金系来说，除温度变化（加热或冷却）外，还有化学成分的变化，即在相图上同时应表示出温度和合金化学成分变化所引起的组织变化，故二元合金相图由表示化学成分的横坐标和表示温度的纵坐标组成。如图 1-5 所示，在化学成分坐标轴上的任一点表示二元合金系中一特定化学成分的合金。如组元分别为 Cu、Ni 的二元合金，点 1 表示含 Cu 量为 100%，含 Ni 量为零（即纯铜）；点 2 表示含 Cu 量为 70%，含 Ni 量为 30% 的合金；点 3 表示含 Cu 量为零，含 Ni 量为 100%（即纯镍）；点 4 则表示含 Cu 量为 70%，含 Ni 量为 30% 的合金在温度为 5 时的组织（相）。

在二元合金相图中可以找出任一温度下、任一成分的合金所对应的组织（相），因此我们可以利用相图分析合金加热或冷却时组织的转变情况。

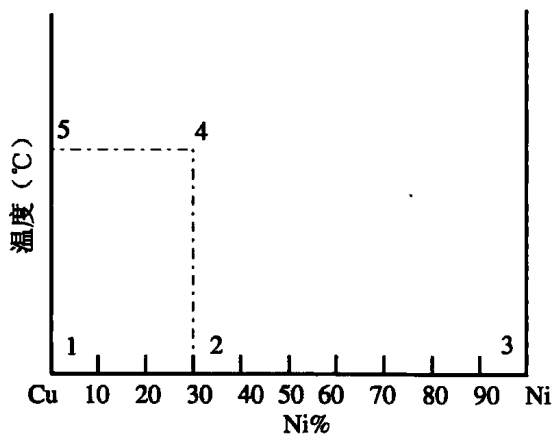


图1-5 二元合金相图的坐标

二、二元合金相图的建立

二元合金相图是通过实验方法，测定出合金系中不同化学成分的合金冷却曲线上的临界点，从而绘制出二元合金相图。通常实验方法很多，如热分析法、金相分析法、电阻法、X 结构分析法等等，其中最常用的是热分析法。

现以铜镍二元合金为例，说明绘制二元合金相图的方法和步骤。

(1) 配制若干组不同成分的铜镍合金，见表 1-1。

表1-1 Cu-Ni合金的成分和临界点

合金序号	化学成份 (%)		临界点 (°C)	
	Cu	Ni	结晶开始温度	结晶终了温度
1	100	0	1083	1083
2	80	20	1175	1130
3	60	40	1260	1195
4	40	60	1340	1270
5	20	80	1410	1360
6	0	100	1455	1455

(2) 测定上述合金的冷却曲线，如图 1-6a 所示。

(3) 找出上述合金冷却曲线上的临界点（合金的结晶开始及终了温度）（见表 1-1、图 1-6a）。

(4) 将临界点分别按合金序号标在成分、温度坐标系上，并用光滑曲线连接含义相同的临界点，即可得到铜镍合金相图（图 1-6b）。

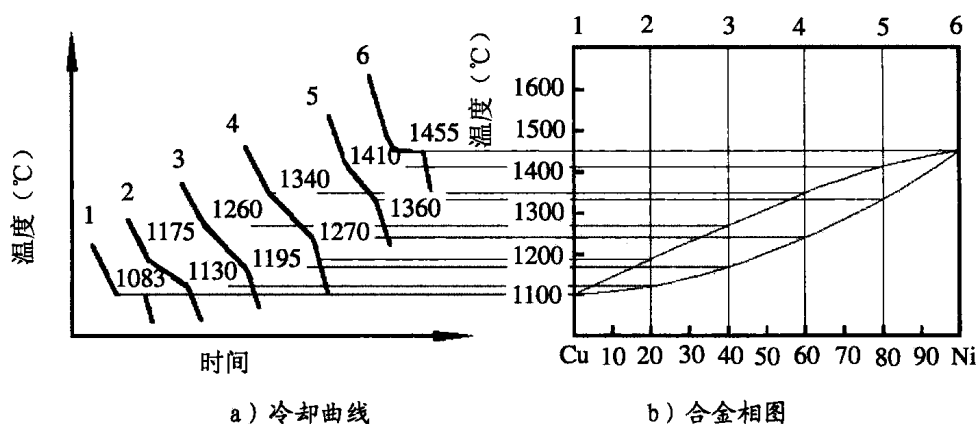


图1-6 Cu-Ni合金相图的建立

三、二元合金相图的分析

二元合金相图的建立是通过测定合金系中不同化学成分的合金冷却曲线，并统一绘制到二元合金相图的温度-成分坐标系中而得到的图形。换言之，我们亦可以通过二元合金相图来分析二元合金系中不同化学成分合金从高温液态冷却至室温固态或从室温固态加热至高温液态时的组织转变过程。我们现以 Cu-Ni 合金为例说明合金从高温液态至室温固态时的组织转变过程。

从上面合金相图的建立，我们可以知道，在图 1-7 的 Cu-Ni 合金相图中，上面一条曲线（AC 线）表示金属液体从高温至低温的过程中，结晶开始并析出固体。而下一条线（BD 线）则表示合金结晶结束，完成从“液态向固态”的转变过程，合金全部转变为固体。由于 AC 线以上，合金未开始结晶，所有合金均处于液态，因而 AC 线称为液相线。BD 线以下金属全部结晶为固体，故 BD 线称为固相线。相图被液相线和固相线分为 3 个区域：一个液相区，位于相图的上方；一个固相区，位于相图的下方；而位于两个区之间的区域则是

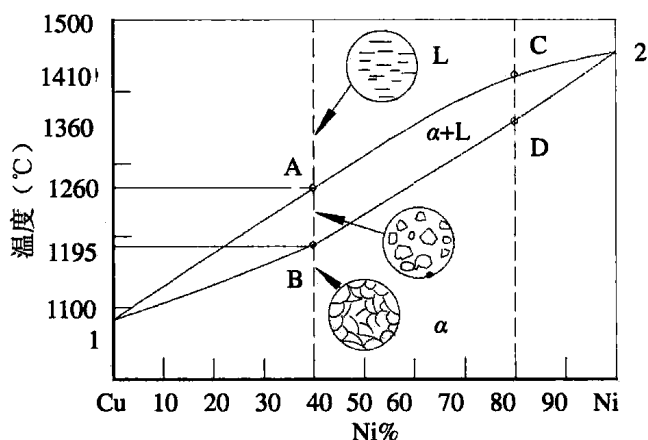


图1-7 Cu-Ni合金相图