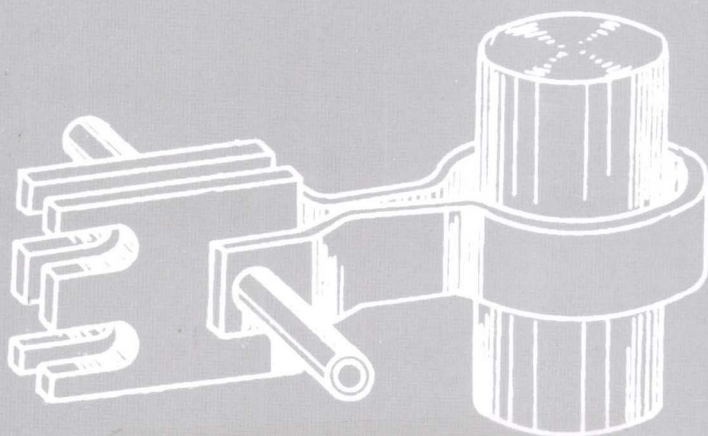




国家职业资格培训教材
技能型人才培养用书

依据最新《国家职业技能标准》编写



第2版

热处理工(中级)

RECHULIGONG

国家职业资格培训教材编审委员会 组编
吴元徽 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是依据最新《国家职业技能标准 金属热处理工》(中级)的知识要求和技能要求,按照岗位培训需要的原则编写的。本书的主要内容包
括:金属材料热处理基础知识,常规热处理,表面淬火处理,化学热处理,
表面清洗、清理与防锈的原理及方法,工件校正的方法及设备,热处理
质量检测及误差分析,热处理设备的维护与保养。本书还附有大量的知
识要求试题和技能要求试题,以便于企业培训、考核和读者自测自查。

本书主要用作企业培训和职业技能鉴定培训的教材,也可作为技校、
中职、各种短训班的教学用书,还可供有关工人自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

热处理工:中级/吴元徽编.—2版.—北京:机械工业出版社,2012.11
国家职业资格培训教材 技能型人才培养用书
ISBN 978-7-111-40171-1

I. ①热… II. ①吴… III. ①热处理—技术培训—教材
IV. ①TG156

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 251990 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王华庆 责任编辑:王华庆

版式设计:闫玥红 责任校对:佟瑞鑫

封面设计:饶 薇 责任印制:张 楠

中国农业出版社印刷厂印刷

2013 年 1 月第 2 版第 1 次印刷

169mm×239mm·22.25 印张·430 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-40171-1

定价:36.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

国家职业资格培训教材 (第2版)

编审委员会

主 副 委	任 主 任 员	王瑞祥				
		李 奇 郝广发 杨仁江 施 斌				
		(按姓氏笔画排序)				
总 策 划	本 书 编 者	王兆晶	王昌庚	田力飞	田常礼	刘云龙
		刘书芳	刘亚琴	李双双	李春明	李俊玲
		李家柱	李晓明	李超群	李援瑛	吴茂林
		张安宁	张吉国	张凯良	张敬柱	陈建民
		周新模	杨君伟	杨柳青	周立雪	段书民
		荆宏智	柳吉荣	徐 斌		
		荆宏智	李俊玲	张敬柱		
本 书 主 审		吴元徽				
		丁 翔				

第2版 序

在“十五”末期，为贯彻落实“全国职业教育工作会议”和“全国再就业会议”精神，加快培养一大批高素质的技能型人才，机械工业出版社精心策划了与原劳动和社会保障部《国家职业标准》配套的《国家职业资格培训教材》。这套教材涵盖41个职业工种，共172种，有十几个省、自治区、直辖市相关行业的200多名工程技术人员、教师、技师和高级技师等从事技能培训和鉴定的专家参加编写。教材出版后，以其兼顾岗位培训和鉴定培训需要，理论、技能、题库合一，便于自检自测的特点，受到全国各级培训、鉴定部门和广大技术工人的欢迎，基本满足了培训、鉴定和读者自学的需要，在“十一五”期间为培养技能人才发挥了重要作用，本套教材也因此成为国家职业资格鉴定考证培训及企业员工培训的品牌教材。

2010年，《国家中长期人才发展规划纲要（2010—2020年）》、《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》、《关于加强职业培训促就业的意见》相继颁布和出台，2012年1月，国务院批转了七部委联合制定的《促进就业规划（2011—2015年）》，在这些规划和意见中，都重点阐述了加大职业技能培训力度、加快技能人才培养的重要意义，以及相应的配套政策和措施。为适应这一新形势，同时也鉴于第1版教材所涉及的许多知识、技术、工艺、标准等已发生了变化的实际情况，我们经过深入调研，并在充分听取了广大读者和业界专家意见的基础上，决定对已经出版的《国家职业资格培训教材》进行修订。本次修订，仍以原有的大部分作者为班底，并保持原有的“以技能为主线，理论、技能、题库合一”的编写模式，重点在以下几个方面进行了改进：

1. 新增紧缺职业工种——为满足社会需求，又开发了一批近几年比较紧缺的以及新增的职业工种教材，使本套教材覆盖的职业工种更加广泛。

2. 紧跟国家职业标准——按照最新颁布的《国家职业技能标准》或《国家职业标准》规定的工作内容和技能要求重新整合、补充和完善内容，涵盖职业标准中所要求的知识点和技能点。

3. 提炼重点知识技能——在内容的选择上，以“够用”为原则，提炼出应重点掌握的必需专业知识和技能，删减了不必要的理论知识，使内容更加精练。

4. 补充更新技术内容——紧密结合最新技术发展，删除了陈旧过时的内容，补充了新的技术内容。



5. 同步最新技术标准——对原教材中按旧的技术标准编写的内容进行更新，所有内容均与最新的技术标准同步。

6. 精选技能鉴定题库——按鉴定要求精选了职业技能鉴定试题，试题贴近教材、贴近国家试题库的考点，更具典型性、代表性、通用性和实用性。

7. 配备免费电子教案——为方便培训教学，我们为本套教材开发配备了配套的电子教案，免费赠送给选用本套教材的机构和教师。

8. 配备操作实景光盘——根据读者需要，部分教材配备了操作实景光盘。

一言概之，经过精心修订，第2版教材在保留了第1版精华的同时，内容更加精练、可靠、实用，针对性更强，更能满足社会需求和读者需要。全套教材既可作为各级职业技能鉴定培训机构、企业培训部门的考前培训教材，又可作为读者考前复习和自测使用的复习用书，也可供职业技能鉴定部门在鉴定命题时参考，还可作为职业技术学院、技工院校、各种短训班的专业课教材。

在本套教材的调研、策划、编写过程中，得到了许多企业、鉴定培训机构有关领导、专家的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢！

虽然我们已经尽了最大努力，但是教材中仍难免存在不足之处，恳请专家和广大读者批评指正。

国家职业资格培训教材第2版编审委员会

第1版 序一

当前和今后一个时期，是我国全面建设小康社会、开创中国特色社会主义事业新局面的重要战略机遇期。建设小康社会需要科技创新，离不开技能人才。“全国人才工作会议”、“全国职教工作会议”都强调要把“提高技术工人素质、培养高技能人才”作为重要任务来抓。当今世界，谁掌握了先进的科学技术并拥有大量技术娴熟、手艺高超的技能人才，谁就能生产出高质量的产品，创出自己的名牌；谁就能在激烈的市场竞争中立于不败之地。我国有近一亿技术工人，他们是社会物质财富的直接创造者。技术工人的劳动，是科技成果转化成为生产力的关键环节，是经济发展的重要基础。

科学技术是财富，操作技能也是财富，而且是重要的财富。中华全国总工会始终把提高劳动者素质作为一项重要任务，在职工中开展的“当好主力军，建功‘十一五’，和谐奔小康”竞赛中，全国各级工会特别是各级工会职工技协组织注重加强职工技能开发，实施群众性经济技术创新工程，坚持从行业和企业实际出发，广泛开展岗位练兵、技术比赛、技术革新、技术协作等活动，不断提高职工的技术技能和操作水平，涌现出一大批掌握高超技能的能工巧匠。他们以自己的勤劳和智慧，在推动企业技术进步，促进产品更新换代和升级中发挥了积极的作用。

欣闻机械工业出版社配合新的《国家职业标准》为技术工人编写了这套涵盖41个职业的172种“国家职业资格培训教材”。这套教材由全国各地技能培训和考评专家编写，具有权威性和代表性；将理论与技能有机结合，并紧紧围绕《国家职业标准》的知识点和技能鉴定点编写，实用性、针对性强，既有必备的理论和技能知识，又有考核鉴定的理论和技能题库及答案，编排科学，便于培训和检测。

这套教材的出版非常及时，为培养技能型人才做了一件大好事，我相信这套教材一定会为我们培养更多更好的高技能人才做出贡献！



(李永安 中国职工技术协会常务副会长)

第1版 序二

为贯彻“全国职业教育工作会议”和“全国再就业会议”精神，全面推进技能振兴计划和高技能人才培养工程，加快培养一大批高素质的技能型人才，我们精心策划了这套与劳动和社会保障部最新颁布的《国家职业标准》配套的《国家职业资格培训教材》。

进入21世纪，我国制造业在世界上所占的比重越来越大，随着我国逐渐成为“世界制造业中心”进程的加快，制造业的主力军——技能人才，尤其是高级技能人才的严重缺乏已成为制约我国制造业快速发展的瓶颈，高级蓝领出现断层的消息屡屡见诸报端。据统计，我国技术工人中高级以上技工只占3.5%，与发达国家40%的比例相去甚远。为此，国务院先后召开了“全国职业教育工作会议”和“全国再就业会议”，提出了“三年50万新技师的培养计划”，强调各地、各行业、各企业、各职业院校等要大力开展职业技术培训，以培训促就业，全面提高技术工人的素质。

技术工人密集的机械行业历来高度重视技术工人的职业技能培训工作，尤其是技术工人培训教材的基础建设工作，并在几十年的实践中积累了丰富的教材建设经验。作为机械行业的专业出版社，机械工业出版社在“七五”、“八五”、“九五”期间，先后组织编写出版了“机械工人技术理论培训教材”149种，“机械工人操作技能培训教材”85种，“机械工人职业技能培训教材”66种，“机械工业技师考评培训教材”22种，以及配套的习题集、试题库和各种辅导性教材约800种，基本满足了机械行业技术工人培训的需要。这些教材以其针对性、实用性强，覆盖面广，层次齐备，成龙配套等特点，受到全国各级培训、鉴定和考工部门及技术工人的欢迎。

2000年以来，我国相继颁布了《中华人民共和国职业分类大典》和新的《国家职业标准》，其中对我国职业技术工人的工种、等级、职业的活动范围、工作内容、技能要求和知识水平等根据实际需要进行了重新界定，将国家职业资格分为5个等级：初级（5级）、中级（4级）、高级（3级）、技师（2级）、高级技师（1级）。为与新的《国家职业标准》配套，更好地满足当前各级职业培训和技术工人考工取证的需要，我们精心策划编写了这套《国家职业资格培训教材》。

这套教材是依据劳动和社会保障部最新颁布的《国家职业标准》编写的，



为满足各级培训考工部门和广大读者的需要，这次共编写了41个职业172种教材。在职业选择上，除机电行业通用职业外，还选择了建筑、汽车、家电等其他相近行业的热门职业。每个职业按《国家职业标准》规定的工作内容和技能要求编写初级、中级、高级、技师（含高级技师）四本教材，各等级合理衔接、步步提升，为高技能人才培养搭建了科学的阶梯型培训架构。为满足实际培训的需要，对多工种共同需求的基础知识我们还分别编写了《机械制图》、《机械基础》、《电工常识》、《电工基础》、《建筑装饰识图》等近20种公共基础教材。

在编写原则上，依据《国家职业标准》又不拘泥于《国家职业标准》是我们这套教材的创新。为满足沿海制造业发达地区对技能人才细分市场的需求，我们对模具、制冷、电梯等社会需求量大又已单独培训和考核的职业，从相应的职业标准中剥离出来单独编写了针对性较强的培训教材。

为满足培训、鉴定、考工和读者自学的需要，在编写时我们考虑了教材的配套性。教材的章首有培训要点、章末配复习思考题，书末有与之配套的试题库和答案，以及便于自检自测的理论和技能模拟试卷，同时还根据需求为20多种教材配制了VCD光盘。

为扩大教材的覆盖面和体现教材的权威性，我们组织了上海、江苏、广东、广西、北京、山东、吉林、河北、四川、内蒙古等地相关行业从事技能培训和考工的200多名专家、工程技术人员、教师、技师和高级技师参加编写。

这套教材在编写过程中力求突出“新”字，做到“知识新、工艺新、技术新、设备新、标准新”；增强实用性，重在教会读者掌握必需的专业知识和技能，是企业培训部门、各级职业技能鉴定培训机构、再就业和农民工培训机构的理想教材，也可作为技工学校、职业高中、各种短训班的专业课教材。

在这套教材的调研、策划、编写过程中，曾经得到广东省职业技能鉴定中心、上海市职业技能鉴定中心、江苏省机械工业联合会、中国第一汽车集团公司以及北京、上海、广东、广西、江苏、山东、河北、内蒙古等地许多企业和技工学校的有关领导、专家、工程技术人员、教师、技师和高级技师的大力支持和帮助，在此谨向为本套教材的策划、编写和出版付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢！

教材中难免存在不足之处，诚恳希望从事职业教育的专家和广大读者不吝赐教，批评指正。我们真诚希望与您携手，共同打造职业培训教材的精品。

国家职业资格培训教材编审委员会

前言

本教材第1版自出版以来,已多次重印,得到了广大读者的认可与好评。2009年,新的《国家职业技能标准 金属热处理工》颁布,对各级热处理工的理论知识和操作技能提出了新的要求。另外,本教材第1版所涉及的技术、工艺、标准、名词术语等有些已发生了变化,相关的新技术、新知识不断涌现。因此,我们组织相关专家对第1版教材进行了修订,以使其更能满足读者的需求。

本教材在修订过程中,以满足岗位培训需要为宗旨,以实用、够用为原则,以技能为主线,使理论为技能服务,并将理论知识和操作技能结合起来,有机地融于一体。第2版教材的主要特点是:

(1) 内容先进 本教材在强调实用性、典型性的前提下,充分重视内容的先进性,尽可能反映与本专业相关联的新技术、新工艺、新设备、新材料和新方法,并采用法定计量单位和最新名词术语,能充分满足职业资格培训的需要。

(2) 最大限度地体现技能培训特色 本教材以最新《国家职业技能标准 金属热处理工》为依据,以职业技能鉴定要求为尺度,以满足本专业对从业人员的要求为目标,以岗位技能需求为出发点,确定核心技能模块,编写每一个技能训练。

(3) 配套资源丰富 本教材配有电子课件,书后附有试题库、模拟试卷样例及答案,以便于教学、培训和读者自查自测。

(4) 服务目标明确 本教材主要用于企业培训和职业技能鉴定培训,也可作为技校、中职院校以及各种短训班的教学用书,还可供有关工人自学使用。

本次修订工作由第1版主编吴元徽负责。在修订过程中,得到了丁翔、张长英等同志的支持和帮助,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和不足之处,恳请广大读者批评指正!

编 者

目录

第2版序

第1版序一

第1版序二

前言

第一章 金属材料热处理基础知识	1
第一节 金属学相关知识	1
一、二元相图及杠杆定律	1
二、Fe-Fe ₃ C相图的运用	11
三、金属的实际晶体结构	19
第二节 合金钢和铸铁的牌号、性能及用途	24
一、合金钢	24
二、铸铁	38
第三节 选材的基础知识	42
一、使用性能与选材	42
二、选材与材料工艺性能的关系	44
三、经济性与选材	44
第四节 编制热处理工艺	45
一、编制热处理工艺的原则	45
二、编制热处理工艺的步骤	46
第五节 淬火冷却介质	48
一、传统淬火冷却介质	48
二、新型淬火冷却介质	49
三、淬火冷却介质的选用原则	53
第六节 热处理操作常识	55
一、钢材的火花鉴别	55
二、内热式盐浴炉的加热原理	58
第七节 金属材料热处理基础技能训练	58
训练1 用火花鉴别法分辨碳素钢及合金钢的牌号	58



训练2 配制常用淬火冷却介质	62
训练3 设计与制作内热式盐浴炉启动电极	63
复习思考题	64
第二章 常规热处理	66
第一节 常规热处理基础知识	66
一、奥氏体等温转变图和连续冷却转变图在生产上的运用	66
二、钢的淬火方法	68
三、淬透性及淬硬性	72
四、淬火钢回火的金相组织转变对钢性能的影响	76
第二节 合金元素在钢中的作用	81
一、合金元素对 Fe-Fe ₃ C 相图的影响	82
二、合金元素对钢热处理的影响	84
三、合金元素对钢性能的影响	87
第三节 常用钢的热处理	91
一、调质钢及其热处理	91
二、弹簧钢及其热处理	96
三、滚动轴承钢及其热处理	101
四、刀具钢及其热处理	105
五、模具钢及其热处理	112
六、量具钢及其热处理	120
第四节 保护气氛热处理及真空热处理	123
一、保护气氛热处理	123
二、真空热处理	130
第五节 常规热处理技能训练	132
训练1 按工艺对高合金钢进行不完全退火操作	132
训练2 对球墨铸铁工件进行退火、正火操作	133
训练3 对合金结构钢进行淬火、回火操作	135
训练4 对拉深、压延后的工件进行再结晶退火操作	137
训练5 双液淬火、预冷淬火、局部淬火、分级淬火及等温淬火操作	138
训练6 对结构钢进行锻造余热淬火操作	146
复习思考题	147
第三章 表面淬火处理	148
第一节 感应淬火工艺参数的选择和感应器的制作方法	148



一、感应淬火的基本原理和特点	148
二、感应淬火工艺参数的选择	150
三、感应器的构造与制作方法	155
四、感应加热电源的种类、特点及应用范围	159
五、感应加热设备的安全操作规程	160
六、淬火机床的使用与维护	161
第二节 火焰淬火	162
一、火焰淬火的基本原理和特点	162
二、火焰淬火的方法	162
三、火焰淬火的设备	162
四、火焰淬火的注意事项	163
五、火焰淬火的操作步骤	164
第三节 接触电阻加热淬火	165
一、接触电阻加热淬火的基本原理	166
二、接触电阻加热淬火的应用举例	166
第四节 表面淬火处理技能训练	167
训练1 淬火冷却介质的供给压力和流量调整	167
训练2 对模数在10以上的大模数齿轮进行感应淬火	168
训练3 按工艺对工件进行感应淬火和火焰淬火操作	169
训练4 在 $\pm 30^{\circ}\text{C}$ 误差范围内目测 $800 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 炉温	173
训练5 对铸铁机床导轨进行表面淬火操作	174
复习思考题	176
第四章 化学热处理	178
第一节 气体渗氮	178
一、渗氮钢	178
二、气体渗氮的基本知识	179
三、气体渗氮工艺	182
四、气体渗氮的工艺流程及特点	185
第二节 离子渗氮	188
一、离子渗氮的基本原理	188
二、离子渗氮的方法	190
第三节 碳氮共渗	191
一、碳氮共渗的基本原理	191
二、气体碳氮共渗	193



第四节 氮碳共渗	194
一、氮碳共渗的基本原理	194
二、气体氮碳共渗	196
第五节 化学热处理技能训练	197
训练1 对离子渗氮工件表面进行清洗及防渗处理	197
训练2 气体渗氮、离子渗氮、碳氮共渗及氮碳共渗工装夹具的制作与选用	199
训练3 氧探头的安装使用与维护保养	200
训练4 进行离子渗氮装炉操作	201
训练5 观测离子渗氮辉光层厚度并调整压力参数及电参数	203
复习思考题	204
 第五章 表面清洗、清理与防锈的原理及方法	 205
第一节 表面清洗、清理与防锈的相关知识	205
一、真空清洗机的工作原理与操作	205
二、振动光饰设备的工作原理与操作	207
三、电化学抛光的工作原理与操作	208
第二节 发蓝和磷化处理的原理与工艺	214
一、发蓝处理的原理与工艺	214
二、磷化处理的原理与工艺	216
第三节 表面清洗、清理与防锈技能训练	219
训练1 发蓝液、磷化液以及防锈液的配制	219
训练2 常温发蓝处理的基本操作	220
训练3 常用磷化处理的基本操作	222
复习思考题	223
 第六章 工件校正的方法及设备	 224
第一节 工件畸变的校正原理、方法及去应力的方法	224
一、工件热处理畸变的校正原理及方法	224
二、工件畸变校正后去应力的方法	227
第二节 畸变校正设备	228
一、畸变校正机	228
二、辅助用具	230
第三节 工件校正技能训练	231
训练1 GCr15 钢制导轨热处理后的矫直	231
训练2 W18Cr4V 钢制圆铣刀片热处理变形的校正	232



复习思考题	233
第七章 热处理质量检测及误差分析	234
第一节 热处理质量检测	234
一、用锉刀检验工件硬度的方法	234
二、JB/T 6050—2006《钢铁热处理零件硬度测试通则》介绍	235
三、碳素钢热处理的金相检验标准	239
四、化学热处理工件硬度及脆性的测定	244
第二节 热处理误差分析	245
一、退火、正火件缺陷产生的原因及补救方法	245
二、调质件缺陷产生的原因及补救方法	246
三、感应淬火件缺陷产生的原因及补救方法	247
第三节 热处理质量检测及误差分析技能训练	249
训练1 销螺栓热处理裂纹分析	249
训练2 销轴感应淬火裂纹分析	250
训练3 用维氏硬度计检测渗碳层、渗氮层和薄板工件的硬度	251
复习思考题	252
第八章 热处理设备的维护与保养	253
第一节 热处理常用加热设备的结构和性能	253
一、热处理电阻炉	253
二、热处理浴炉	263
第二节 筑炉材料	267
一、常用隔热材料及其特点	267
二、金属筑炉材料	269
三、耐火泥	269
四、普通黏土砖	270
第三节 热处理设备的故障分析与排除	270
一、普通箱式电阻炉的故障分析与排除	270
二、电极式盐浴炉的故障分析与排除	277
第四节 热处理设备的维护与保养技能训练	279
训练1 对已损坏的电热元件进行修复和更换	279
训练2 小修炉衬及更换箱式电阻炉、井式电阻炉内的搁丝砖	280
训练3 高频感应加热装置水冷系统的维护	281
训练4 渗灌的补碳和退氮操作	281



训练5 维护与更换炉盖、炉门石棉盘根·····	282
复习思考题·····	282
试题库·····	284
知识要求试题·····	284
一、判断题 试题(284) 答案(328)	
二、选择题 试题(293) 答案(329)	
技能要求试题·····	312
一、GCr15 钢轴承套圈淬火、回火处理 ·····	312
二、Y12 钢滚轮碳氮共渗处理 ·····	314
三、GCr15 钢滑座锻件球化退火处理 ·····	315
四、GCr15 钢滚珠丝杠热处理 ·····	316
五、38CrMoAl 钢机筒渗氮处理 ·····	317
六、W18Cr4V 钢片铣刀热处理 ·····	318
七、45 钢机床齿条的氮碳共渗处理 ·····	319
八、球墨铸铁齿轮的等温淬火处理 ·····	320
九、GCr15 钢块规的热处理 ·····	320
十、20CrMnTi 钢半轴齿轮渗碳、淬火处理 ·····	321
模拟试卷样例·····	323
一、判断题 试题(323) 答案(330)	
二、选择题 试题(324) 答案(330)	
参考文献·····	331

第一章

金属材料热处理基础知识



培训学习目标 熟悉 Fe-Fe₃C 相图及杠杆定律的运用；了解常用钢的牌号、性能及用途；学会正确选材；能够初步编制热处理工艺。

第一节 金属学相关知识

一、二元相图及杠杆定律

1. 二元匀晶相图

二元合金系中两组元若在液态和固态下均能以任何比例相互溶解，在固态下能形成无限固溶体，则其相图属于匀晶相图。这些二元合金的结晶过程称为匀晶转变。例如 Cu-Ni、Fe-Cr、Au-Ag 等合金的相图都属于匀晶相图，这些合金的两组元都能满足形成无限固溶体的条件。

(1) 相图分析 图 1-1a 所示为 Cu-Ni 合金匀晶相图。Cu、Ni 是两个在液态和固态均能完全互溶的纯组元。

匀晶相图由两个点、两条线及三个相区组成。 $t_{\text{Cu}} = 1083^{\circ}\text{C}$ 为纯铜的熔点， $t_{\text{Ni}} = 1455^{\circ}\text{C}$ 为纯镍的熔点。上面一条线为液相线，代表各种成分的 Cu-Ni 二元合金在冷却过程中开始结晶（或加热过程中熔化终了）的温度；下面一条线为固相线，代表 Cu-Ni 二元合金在冷却过程中结晶终了（或加热过程中开始熔化）的温度。液相线与固相线把整个相图划分为三个不同的相区：液相线以上为单一的液相区，合金处于均匀的液体状态，以“L”表示；固相线以下是单一的固溶体区，合金处于均匀的固溶体状态，因为 Cu、Ni 组成的是无限固溶体，所以以“ α ”表示；在液相线与固相线之间是液、固两相共存区，即合金的凝固区，用“L + α ”表示。

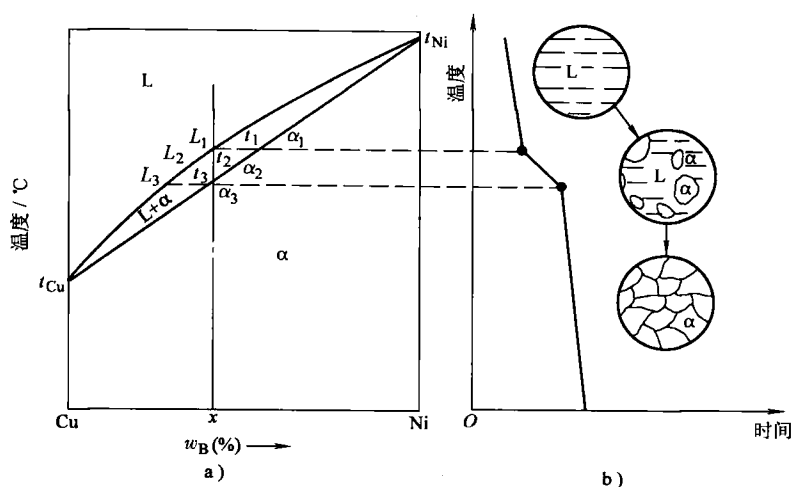
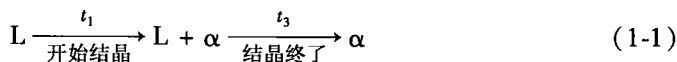


图 1-1 Cu-Ni 合金匀晶相图及结晶过程

a) 匀晶相图 b) 结晶过程

(2) 合金结晶过程分析 现以成分为 x 的合金（即 $w_{Ni} = x\%$ ）为例阐述其结晶过程及产物，如图 1-1b 所示。

在图 1-1a 所示二元合金相图上的 x 成分点处作其合金线，与液相线、固相线分别在 L_1 和 α_3 处相交。由 L_1 点可知，该合金在 t_1 温度时开始结晶；由 α_3 点可知，该合金在 t_3 温度时结晶结束。因此，合金 x 的结晶过程为：由高温液态缓慢冷却到 t_1 温度时， α 固溶体开始从液相中析出，随着温度的下降， α 固溶体量不断增加，液相量不断减少，直到温度降至 t_3 时，合金结晶终了，获得了 Cu 和 Ni 组成的均匀 α 固溶体。该过程可用结晶冷却转变式表示为



上述结晶过程是在极其缓慢的条件下（即平衡条件下）进行的，因此称为平衡结晶，所得的组织称为平衡组织。匀晶转变得到的平衡组织与纯金属相似，也是多边形等轴晶粒。

必须指出，在合金结晶过程中，结晶出的 α 固溶体成分和剩余的液相成分都与合金的平均成分不同，两平衡相的相对质量比也不同，它们都在结晶温度范围内（即 t_1 和 t_3 之间）随着温度的改变而改变。仍以图 1-1a 为例，若要知道成分为 x 的 Cu-Ni 合金在结晶过程中某一温度时两相的成分，可通过该合金的合金线上相当于该温度的点作水平线，此水平线与液相线及固相线的交点在成分坐标上的投影，即相应地表示该温度下液相与固相的成分。因此，由图 1-1a 可见，在 t_1 温度时，液相与固相的成分分别为 L_1 点和 α_1 点在成分坐标轴的投影。其原因可大致解释为：当液相冷