

特种作业人员安全技术培训教材

TZZYPXJC

金属焊接与切割作业

主 编 张艳玲 李国庆



哈尔滨地图出版社

JB/T 9528—1999 原动机 弧焊机电阻箱

JB/T 9529—1999 电阻焊机零件 通用技术条件

特种作业人员安全技术培训教材

JB/T 9531—1999 点焊 电极材料通用技术条件

JB/T 9191—1999 等离子喷焊枪 技术条件

JB/T 9192—1999 等离子喷焊电源 技术条件

金属焊接与切割作业

JINSHU HANJIE YU QIEGE ZUOYE

金属焊接与切割作业 特种作业人员安全技术培训教材 第一册 金属焊接与切割作业 特种作业人员安全技术培训教材 第一册

主 编 张艳玲 李国庆

中国出版集团公司 北京人民邮电出版社 (100054) 地址: 北京市丰台区右安门内大街255号

有关安全、劳动保护标准

GB 2890—1995 过滤式防毒面具通用技术条件

GB 2894—1996 安全标志

GB 5083—1985 生产设备安全卫生设计总则

GB 6095—1985 安全带

GB 6220—1986 长管面具

GB/T 6223—1997 过滤式防毒面具

GB 8196—1987 机械安全 防护罩安全要求

GB 8197—1987 机械安全 防护罩安全要求

地址: 哈尔滨市南岗区南岗街100号 邮编: 150008

哈尔滨地图出版社 编辑: 张艳玲

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16 印张: 20 字数: 432千字

2007年4月第1版 2007年4月第1次印刷

ISBN 978-7-80177-303-8

定价: 12.00元

GB 13495—1992

GB 15930—1995 公共场所卫生标准 公共浴室卫生标准

GB 16179—1996

GB 16556—1996

哈尔滨地图出版社

· 哈尔滨 ·

林德附錄木姓全安員人業計機機

图书在版编目 (CIP) 数据

金属焊接与切割作业/张艳玲, 李国庆主编. —哈尔滨: 哈尔滨
地图出版社, 2007. 4

ISBN 978 - 7 - 80717 - 563 - 6

I. 金... II. ①张... ②李... III. ①金属材料—焊接—安全技术—技术培训—教材②金属—切割—安全技术—技术培训—教材
IV. TG457.1 TG48

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 042776 号

哈尔滨地图出版社出版发行

(地址: 哈尔滨市南岗区测绘路 2 号 邮政编码: 150086)

哈尔滨海天印刷厂设计有限公司印刷

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16 印张: 20 字数: 452 千字

2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 80717 - 563 - 6

印数: 1~3 000 定价: 24.00 元

哈尔滨地图出版社

· 新 法 会 ·

编审委员会

主任 姜国钧

副主任 王永平

主审 李冬青 赵玉虹

主编 张艳玲 李国庆

编写人员 曹红霞 徐喜林 王振

王苏峰 沈岩 王光彬

序

安全生产是关系经济发展与社会和谐稳定的大事。党和国家一直高度重视安全生产工作，党的十六届五中全会确立了安全发展的指导原则，提出了“十一五”时期安全生产的奋斗目标、主要任务和政策措施。我省的安全生产工作得到了省委、省政府的高度重视，特别是安全生产培训教育工作得到了不断发展和完善，全省已建立了三十多个安全生产培训机构，基本形成了覆盖全省的培训教育体系。

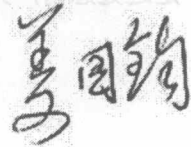
安全生产的实践证明，人对安全生产的重视程度、管理水平、操作技能等直接影响安全生产，从国内外大量的事故统计分析中也不难发现，绝大多数事故的发生是由于人的不安全行为、物的不安全状态和管理不善所造成的。生产经营单位安全制度不健全，管理人员与从业人员安全意识淡薄、安全知识欠缺、安全生产习惯不良等问题是造成事故发生的主要根源。因此，安全教育培训是搞好安全生产的治本之策，是建立安全生产长效机制的重要举措，是提高从业人员安全素质和安全生产技能、强化安全意识的有效途径。充分发挥培训教育的作用，对促进安全生产工作，落实“以人为本”的科学发展观具有十分重要的意义。

为了搞好安全培训教育工作，国家先后出台了一系列政策法规。国家安全生产监督管理总局先后颁布了《安全生产培训管理办法》、《生产经营单位安全培训规定》，对安全生产培训机构和生产经营单位如何作好机构建设和培训工作做了明确要求。并将危险性较大行业和领域的企业主要负责人、安全生产管理人员和特种作业人员的培训和加强相关人员培训大纲、考核标准、教材和考试题库建设等工作列入了《安全生产“十一五”规划》

目标中。

黑龙江省安全科学技术研究中心依照国家培训大纲的要求，结合黑龙江省的实际情况，组织有关专家编写了我省安全生产培训的系列教材。旨在提高黑龙江省安全培训教育水平和安全培训质量，统一考核标准，更好地开展我省的培训教育工作，促进安全培训教育网络化建设和全省安全培训考核题库建设。该套教材内容全面，理论翔实，贴近我省实际情况，实用性强，能够满足安全培训工作的需求。对于提高和保障我省的安全培训质量，提高相关人员的安全意识与技能有着重要的意义。

希望各培训单位和安全生产培训工作者在教材的应用中，积极反馈意见，使本系列教材能够不断完善，真正成为黑龙江省安全培训的精品教材，为黑龙江省的安全培训工作再上一个新台阶，为完成“十一五”规划任务做出积极的贡献。



二〇〇六年十二月

香 隆

民 年 7008

前 言

安全生产的培训教育工作是落实“安全第一，预防为主，综合治理”的安全生产方针的具体体现。《安全生产法》对生产经营单位从业人员的培训考核工作做了具体规定，特别是对特种作业人员，《安全生产法》第23条规定：“生产经营单位的特种作业人员必须按照国家有关规定经专门的安全作业培训，取得特种作业操作资格证书，方可上岗作业。”国家安全生产监督管理局《关于特种作业人员安全技术培训考核工作的意见》（安监人字【2002】124号）规定：“特种作业操作证每2年由原考核发证部门复审一次”“复审不合格或未按期复审的，特种作业操作证失效。”

特种作业是指容易发生人员伤亡事故，对操作者本人、他人及周围设施的安全可能造成重大伤害的作业。多年来的事故统计资料表明，大量的事故是由于操作者缺乏安全知识、操作技能水平低和违章作业造成的。所以，我国历来对特种作业人员的培训教育工作极为重视，对特种作业的范围、作业人员的基本条件及培训考核大纲都做了明确的规定。

为了配合特种作业人员培训考核工作，按照特种作业人员安全技术培训大纲及考核标准的要求，编写了《电工作业》、《金属焊接与切割作业》、《高处作业》、《危险化学品安全》等初培及复审教材。

本套教材全面覆盖了培训大纲及考核标准所涉及的知识点，希望这套教材能对特种作业人员的培训考核工作发挥应有的作用。

《金属焊接与切割作业》（初培）教材，紧扣大纲要求，结合东北地区的实际情况融基础知识与实际操作于一体。在内容上，力求做到完整、全面，突出特种作业人员应当具备的法制意识和职业道德；在形式上，力求做到新颖、实用，吸收了新知识、新技术；在风格上，力求通俗易懂，满足学员学习需要。本书既可作为特种作业人员的安全技术培训考核用书，也可作为特种作业人员的自学教材。

书中的不足之处恳请广大读者不吝赐教。

编 者

2007年4月

目 录

第一章	焊接与切割概述	1
第一节	焊接与切割简介	1
第二节	金属学及热处理基本知识	4
第三节	常用金属材料的一般知识	9
第四节	焊接工艺基础知识	18
第五节	焊接安全卫生与防护技术的重要意义	37
第六节	特种作业人员的安全生产法制意识与职业道德	38
第二章	气焊与气割	45
第一节	气焊与气割的基本原理与安全特点	45
第二节	气焊与气割用气体	47
第三节	气焊与割设备与工具	49
第四节	焊接材料	55
第五节	气焊工艺	56
第六节	气焊与气割安全技术	60
第三章	焊条电弧焊	64
第一节	焊条电弧焊的原理及安全特点	64
第二节	焊条电弧焊的设备及工具	67
第三节	电焊条	72
第四节	焊条电弧焊工艺	75
第五节	焊条电弧焊安全技术	90
第四章	钨极氩弧焊	95
第一节	钨极氩弧焊的特点及应用	95
第二节	钨极氩弧焊设备	96
第三节	钨极氩弧焊焊接材料	98
第四节	手工钨极氩弧焊工艺	99

第五节	钨极氩弧焊安全操作规程.....	106
第五章	埋弧焊.....	108
第一节	埋弧焊的特点及应用.....	108
第二节	埋弧焊设备.....	109
第三节	埋弧焊焊接材料.....	110
第四节	埋弧焊工艺参数及操作技术.....	113
第五节	埋弧焊安全操作规程.....	122
第六章	CO₂气体保护焊.....	123
第一节	CO ₂ 气体保护焊的原理及特点.....	123
第二节	CO ₂ 气体保护焊设备.....	125
第三节	CO ₂ 气体保护焊焊接材料.....	127
第四节	CO ₂ 气体保护焊工艺.....	128
第五节	CO ₂ 气体保护焊的安全技术.....	136
第七章	等离子弧焊接与切割.....	139
第一节	等离子弧的形成及特点.....	139
第二节	等离子弧焊接.....	139
第三节	等离子弧切割.....	142
第四节	等离子弧焊接与切割安全防护技术.....	145
第八章	碳弧气刨.....	148
第一节	碳弧气刨的特点及应用.....	148
第二节	碳弧气刨工艺.....	149
第九章	电阻焊.....	154
第一节	电阻焊的基本原理.....	154
第二节	电阻焊设备.....	155
第三节	电阻焊工艺.....	157
第四节	电阻焊安全防护.....	161
第十章	钎焊.....	166
第一节	钎焊原理及特点.....	166

第二节	钎焊方法与工艺.....	168
第三节	钎焊材料.....	174
第四节	钎焊操作中的安全与防护.....	184
第十一章	其他焊割安全技术.....	188
第一节	电子束焊.....	188
第二节	电渣焊.....	191
第三节	热喷涂.....	193
第四节	爆炸焊.....	196
第五节	高频焊.....	198
第六节	摩擦焊.....	201
第七节	激光焊.....	204
第十二章	特殊环境焊接与切割作业安全技术.....	208
第一节	高处焊接作业安全.....	208
第二节	局限空间内焊接与切割作业.....	210
第三节	水下焊接与切割作业.....	214
第四节	恶劣气象条件下的焊接与切割作业.....	217
第十三章	焊接与切割安全用电.....	218
第一节	焊接与切割设备的安全用电要求.....	218
第二节	焊接与切割操作中常见触电事故的危害.....	223
第三节	焊接与切割操作中发生触电事故的原因及防范措施.....	229
第十四章	焊接与切割防火防爆.....	231
第一节	燃烧与防火技术.....	231
第二节	爆炸与防爆技术.....	232
第三节	焊接与切割作业中发生火灾、爆炸事故的原因及防措施.....	235
第四节	火灾、爆炸事故的紧急处理方法及灭火技术.....	236
第十五章	焊接与切割作业劳动卫生与保护.....	240
第一节	有害因素的来源及危害.....	240
第二节	焊接与切割作业的劳动卫生及防护措施.....	244

第三节	补焊化工设备的防中毒措施.....	252
第十六章	焊接与切割作业事故现场急救.....	255
第一节	事故现场急救.....	255
第二节	触电现场急救.....	257
第三节	外伤的现场急救.....	264
第四节	烧烫伤的现场急救.....	268
第五节	急性中毒的现场急救.....	270
第六节	其他事故现场急救.....	273
第十七章	焊接与切割作业典型事故案例分析.....	274
第一节	燃烧、火灾事故案例分析.....	274
第二节	爆炸事故案例分析.....	277
第三节	触电事故案例分析.....	283
第四节	高处坠落事故案例分析.....	286
第五节	职业危害事故案例分析.....	288
第六节	灼烫事故案例分析.....	290
第七节	物体打击事故案例分析.....	290
第八节	产品质量事故案例分析.....	292
第九节	其他事故案例分析.....	293
第十节	人的失误分析.....	294
附录	焊接与切割安全.....	295
参考文献		314

第一章 焊接与切割概述

第一节 焊接与切割简介

一、焊接与切割的基本原理及分类

(一) 基本原理

在金属结构及其他机械产品的制造中常需将两个或两个以上的零件按一定的形式和尺寸联接在一起,这种联接通常分两大类:一类是可拆卸的联接,就是不必损坏被联接件本身就可以将它们分开,如螺栓联接、键联接等;另一类联接是永久性联接,即必须在毁坏零件后才能拆卸,如铆接、焊接。焊接就是通过加热或加压,或两者并用,并且使用或不用填充材料,使工件达到原子之间结合的方法。为了获得牢固的结合,在焊接过程中必须使被焊件彼此接近到原子间的力能够相互作用的程度即冶金结合。为此,在焊接过程中,必须对需要结合的地方通过加热使之熔化,或者通过加压(或者先加热到塑性状态后再加压),使之造成原子或分子间的结合与扩散,从而达到不可拆卸的联接。

(二) 焊接方法的分类

按照焊接过程中金属所处的状态及工艺的特点,可以将焊接方法分为熔化焊、压力焊和钎焊三大类。

1. 熔化焊

熔化焊是利用局部加热的方法将连接处的金属加热至熔化状态而完成的焊接方法。在加热的条件下,增强了金属原子的动能,促进原子间的相互扩散。当被焊接金属加热至熔化状态形成液态熔池时,原子之间可以充分扩散和紧密接触,因此冷却凝固后,即可形成牢固的焊接接头。常见的气焊、电弧焊、电渣焊、气体保护焊、等离子弧焊等均属于熔化焊的范畴。

2. 压力焊

压力焊是利用焊接时施加一定压力而完成焊接的方法。这类焊接有两种形式,一是将被焊金属接触部分加热至塑性状态或局部熔化状态,然后施加一定力,以使金属原子间相互结合形成牢固的焊接接头,如锻焊、接触焊、摩擦焊和气压焊等就是这种类型的压力焊方法;二是不进行加热,仅在被焊金属接触面上施加足够大的压力,借助于压力所引起的塑性变形,以使原子间相互接近而获得牢固的压挤接头,这种压力焊的方法有冷压焊、爆炸焊等。

3. 钎焊

钎焊是把比被焊金属熔点低的钎料金属加热熔化至液态,然后使其渗透到被焊金属接缝的间隙中而达到结合的方法。焊接时被焊金属处于固体状态,对工件适当地进行加热,使钎料熔化,没有受到压力的作用,仅依靠液态钎料金属与固态金属之间的原子扩散而形成牢固的焊接接头。因此,钎焊最显著的特点是母材不化、钎料化。钎焊是一种古老的使金属永久联接的工艺,但由于钎焊的金属结合机理与熔焊和压焊是不同的,并且具有一些特殊的性能,所以在现代焊接技术中仍占有较重要的地位,常见的钎焊方法有烙铁钎焊、火焰钎焊、感应

钎焊等多种方法。

(三) 切割的方法和分类

按照金属切割过程中加热方法的不同大致可以把切割方法分为火焰切割、电弧切割和其他切割三类。

1. 火焰切割

按加热气源的不同，分为以下几种。

(1) 气割

气割是利用氧-乙炔预热火焰使金属在纯氧气流中剧烈燃烧，生成熔渣和放出大量热量的原理而进行的。

(2) 石油气切割

液化石油气切割的原理与气割相同。不同的是液化石油气的燃烧特性与乙炔气不同，所使用的割炬也有所不同。它扩大了低压氧喷嘴孔径及燃料混合气喷口截面，还扩大了对吸管圆柱部分孔径。

(3) 氢氧源切割

利用水电解氢氧发生器，用直流电将水电解成氢气和氧气，其气体比例恰好完全燃烧，温度可达 2 800~3 000 °C，可以用于火焰加热。

(4) 氧熔剂切割

氧熔剂切割是在切割氧流中加入纯铁粉或其他熔剂，利用它们的燃烧热和废渣作用实现气割的方法为氧熔剂切割。

2. 电弧切割

电弧切割按生成电弧的不同可分为两种：

(1) 等离子弧切割

等离子弧切割是利用高温高速的强劲的等离子射流，将被切割金属部分熔化并随即吹除、形成狭窄的切口而完成切割的方法。

(2) 碳弧气刨

碳弧气刨是利用碳棒与工件之间产生的电弧将金属熔化，并用压缩空气将其吹掉，实现切割的方法。

3. 其他切割方法

切割后工件相对变形小的切割方法有：

(1) 激光切割

激光切割是利用激光束把材料穿透，并使激光束移动而实现切割的方法。

(2) 水射流切割

水射流切割是利用高压换能泵产生出 200~400 MPa 的高压水的水束动能，来实现材料的切割。

二、焊接与切割的发展概况及应用

(一) 焊接与切割技术的发展概况

我国是最早应用焊接技术的国家之一。根据考古发现，远在战国时期的一些金属制品，就已采用了焊接技术。从河南辉县琉璃阁战国墓中出土的文物证实，其殉葬铜器的本体、耳、足就是利用钎焊连接的；在 800 多年前宋代科学家沈括所著的《梦溪笔谈》一书中，就提到了焊接方法。其后，在明代科学家宋应星所著的《天工开物》一书中，对锻焊和钎焊技术也作了详细的叙述。上述事实说明，我国是一个具有悠久的焊接历史的国家。

气焊大约是在 1892 年前后出现，那时使用的是氢气-氧气混合气体。氢氧混合气体的燃烧温度最高能达到 $2\ 000\ ^\circ\text{C}$ 左右，因此，只能焊接较薄的工作，而且使用氢气很不安全，容易发生爆炸事故。所以，在工业上未被广泛采用。

到了 1895 年，发明了用电炉制造碳化钙（俗称电石）的方法之后，又发现了乙炔气（电石与水接触后产生的气体）和氧气混合燃烧，可以得到更高的温度（ $3\ 200\ ^\circ\text{C}$ ），在 1903 年，氧气-乙炔气火焰被运用到金属焊接中，奠定了气焊技术的基础。

近代主要的焊接技术——电弧焊，是在电能成功地应用于工业生产之后发展起来的。20 世纪初，作为焊接设备的正式产品——手工电弧焊机问世。20 年代后期电阻焊和 40 年代后期埋弧焊、惰性气体保护焊相继获得应用，50 年代 CO_2 气电焊、电渣焊、摩擦焊、电子束焊、超声波焊和 60 年代等离子弧焊、激光焊、光束焊相继出现，使焊接技术达到了新的水平。近年来，太阳能焊机、冷压焊机等新型焊接设备开始研制，特别是在焊接生产自动化及电子计算机在焊接切割生产中的应用方面有很大发展，将会使焊接切割技术的发展达到一个新阶段。

(二) 焊接与切割的应用

焊接是一种应用范围很广的金属加工方法，与其他热加工方法相比，它具有生产周期短、成本低，结构设计灵活，用材合理及能够以小拼大等一系列优点，从而在工业生产中得到了广泛的应用。如造船、电站、汽车、石油、桥梁、矿山、机械等行业中，焊接已成为不可缺少的重要加工手段。在世界主要的工业国家里每年钢产量的 45% 左右要用于生产焊接结构。在制造一辆小轿车时，需要焊接 $5\ 000\sim 12\ 000$ 个焊点，一艘 30 万吨油轮要焊 $1\ 000\ \text{km}$ 长的焊缝，一架飞机的焊点多达 20 万~30 万个。此外，随着工业的发展，被焊接的材料种类也愈来愈多，除了普通的材料外，还有超高强钢、活性金属、难熔金属以及各种非金属的焊接。同时，由于各类产品日益向着高参数（高温、高压、高寿命）、大型化方向发展，焊接结构越来越复杂，焊接工作量越来越大，这对于焊接生产的质量、效率等提出了更高的要求。同时也推动了焊接技术的飞速发展，使它在工业生产中的应用更为广阔。

第二节 金属学及热处理基本知识

一、金属晶体结构的一般知识

众所周知，世界上的物质都是由化学元素组成的，这些化学元素按性质可分成两大类：第一大类是金属，化学元素中有 83 种是金属元素。固态金属具有不透明、有光泽、有延展性、有良好的导电性和导热性等特性，并且随着温度的升高，金属的导电性降低，电阻率增大，这是金属独具的一个特点。常见的金属元素有铁、铝、铜、铬、镍、钨等。

第二大类是非金属，化学元素中有 22 种，非金属元素不具备金属元素的特征。而且与金属相反，随着温度的升高，非金属的电阻率减小，导电性提高。常见的非金属元素有碳、氧、氢、氮、硫、磷等。

我们所焊接的材料主要是金属，尤其是钢材，钢材的性能不仅取决于钢材的化学成分，而且取决于钢材的组织，为了了解钢材的组织及对性能的影响，我们必须先从晶体结构讲起。

(一) 晶体的特点

对于晶体，大家并不生疏。食盐、水结成的冰，都是晶体。一般的固态金属及合金也都是晶体。并非所有固态物质都是晶体。如玻璃、松香之类就不是晶体，而属于非晶体。

晶体与非晶体的区别不在外形，而在内部的原子排列。在晶体中，原子按一定规律排列得很整齐。而在非晶体中，原子则是散乱分布着，最多有些局部的短程规则排列。

由于晶体与非晶体中原子排列不同，因此性能也不相同。

(二) 典型的金属晶体结构

金属的原子按一定方式有规则地排列成一定空间几何形状的结晶格子，称为晶格。金属的晶格常见的有体心立方晶格和面心立方晶格，如图 1-1 所示。体心立方晶格的立方体的中心和八个顶点各有一个铁原子，而面心立方晶格的立方体的八个顶点和六个面的中心各有一个铁原子。

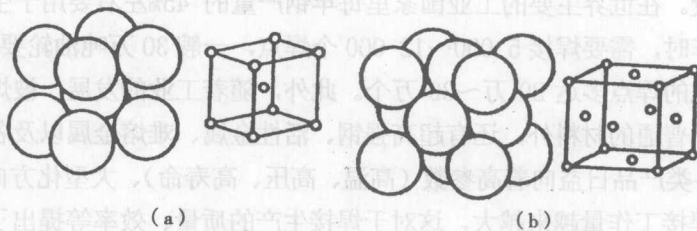


图 1-1 典型的金属晶体结构

(a) 体心立方晶格 (b) 面心立方晶格

铁属于立方晶格，随着温度的变化，铁可以由一种晶格转变为另一种晶格。这种晶格的转变，称为同素异晶转变。纯铁在常温下是体心立方晶格（称为 α -Fe）；当温度升高到 910℃时，纯铁的晶格由体心立方晶格转变为面心立方晶格（称为 γ -Fe）；再升温到 1390℃时，

面心立方晶格又重新转变为体心立方晶格（称为 δ -Fe），然后一直保持到纯铁的熔化温度。纯铁的这种特性非常重要，是钢材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之一，也是焊接热影响区中各个区域与母材相比，具有不同组织和性能的原因之一。

二、合金的组织、结构及铁碳合金的基本知识

（一）合金的组织

两种或两种以上的元素（其中至少一种是金属元素）组合成的金属，叫做合金。根据两种元素相互作用的关系，以及形成晶体结构和显微组织的特点，可将合金的组织分为三类：

（1）固溶体

固溶体是一种物质的原子均匀地溶解在另一种物质的晶格内，形成单相晶体结构。根据原子在晶格上分布的形式，固溶体可分为置换固溶体和间隙固溶体。某一元素晶格上的原子部分地被另一元素的原子所取代，称为置换固溶体；如果另一元素的原子挤入某元素晶格原子之间的空隙中，称为间隙固溶体，见图 1-2 所示。

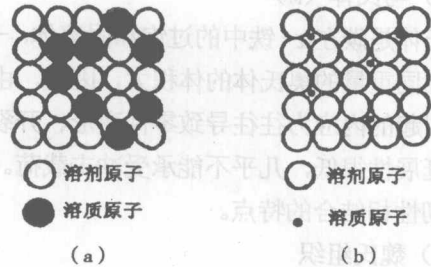


图 1-2 固溶体示意图

(a) 置换固溶体；(b) 间隙固溶体

两种元素的原子大小差别愈大，形成固溶体后所引起的晶格扭曲程度越大。扭曲的晶格增加了金属塑性变形的阻力，所以固溶体比纯金属硬度高、强度大。

（2）化合物

两种元素的原子按一定比例相结合，具有新的晶体结构，在晶格中各元素原子的相互位置是固定的，叫化合物。通常化合物具有较高的硬度，低的塑性、脆性高。

（3）机械混合物

固溶体和化合物均为单相的合金，若合金是由两种不同的晶体结构彼此机械混合组成，称为机械混合物。它往往比单一的固溶体合金有更高的强度、硬度和耐磨性；塑性和压力加工性能则较差。

（二）钢中常见的显微组织

（1）铁素体 (F)

铁素体是少量的碳和其他合金元素固溶于 α -铁中的固溶体。 α -铁为体心立方晶格，碳原子以填隙状态存在，合金元素以置换状态存在。铁素体溶解碳的能力很差，在 723 °C 时为 0.02%，室温时仅 0.006%。铁素体的强度和硬度低，但塑性和韧性很好，所以含铁素体多的钢（如低碳钢）就表现出软而韧的性能。

（2）渗碳体 (Fe_3C)

渗碳体是铁与碳的化合物，分子式是 Fe_3C ，其性能与铁素体相反，硬而脆，随着钢中含

碳量的增加，钢中渗碳体的量也增多，钢的硬度、强度也增加，而塑性、韧性则下降。

(3) 珠光体 (P) 珠光体是铁素体和渗碳体的机械混合物，含碳量为 0.8% 左右，只有温度低于 723℃ 时才存在。珠光体的性能介于铁素体和渗碳体之间。

(4) 奥氏体 (A)

奥氏体是碳和其他合金元素在 α -铁中的固溶体。在一般钢材中，只有高温时存在。当固溶体含有一定量扩大 γ 区的合金元素时，则可能在室温下存在，如铬镍奥氏体不锈钢则在室温时的组织为奥氏体。奥氏体为面心立方晶格，奥氏体的强度和硬度不高，塑性和韧性很好。奥氏体的另一特点是没有磁性。

(5) 马氏体 (M)

马氏体是碳在 α -铁中的过饱和固溶体，一般可分为低碳马氏体和高碳马氏体。马氏体的体积比相同重量的奥氏体的体积大，因此，由奥氏体转变为马氏体时体积要膨胀，局部体积膨胀后引起的内应力往往导致零件变形、开裂。高碳淬火马氏体具有很高的硬度和强度，但很脆，延展性很低，几乎不能承受冲击载荷。低碳回火马氏体则具有相当高的强度和良好的塑性和韧性相结合的特点。

(6) 魏氏组织

魏氏组织是一种过热组织，是由彼此交叉约 50° 的铁素体针嵌入基体的显微组织。碳钢过热，晶粒长大后，高温下晶粒粗大的奥氏体以一定速度冷却时，很容易形成魏氏组织。粗大的魏氏组织使钢材的塑性和韧性下降，使钢变脆。

(二) 铁碳合金平衡状态图

钢和铸铁都是铁碳合金。含碳量低于 2.11% 的铁碳合金称为钢，含碳量 2.11%~6.67% 的铁碳合金称为铸铁。为了全面了解铁碳合金在不同含碳量和不同温度下所处的状态及所具有的组织结构，可用 Fe-C 合金平衡状态图来表示这种关系，见图 1-3。图上纵坐标表示温度，横坐标表示铁碳合金中碳的百分含量。例如，在横坐标左端，含碳量为零，即为纯铁；在右端，含碳量为 6.67%，全部为渗碳体 (Fe_3C)。

图中 ACD 线为液相线，在 ACD 线以上的合金呈液态。这条线说明纯铁在 1 535℃ 凝固，随碳含量的增加，合金凝固点降低。C 点合金的凝固点最低，为 1 147℃。当含碳量大于 4.3% 以后，随含碳量的增加，凝固点增高。

AHJEF 线为固相线。在 AHJEF 线以下的合金呈固态，在液相线和固相线之间的区域为两相（液相和固相）共存。

GS 线表示含碳量低于 0.8% 的钢在缓慢冷却时由奥氏体开始析出铁素体的温度。ECF 水平线，1 147℃，为共晶反应线。液体合金缓慢冷却至该温度时，发生共晶反应，生成莱氏体组织。

PSK 水平线，723℃，为共析反应线，表示铁碳合金在缓慢冷却时，奥氏体转变为珠光体的温度。

为了使用方便，PSK 线又称为 A_1 线，GS 线称为 A_2 线，ES 线为 A_{cm} 线。