

铁路工务钢轨焊接丛书

钢轨及高锰钢辙叉焊工 技术培训教材

(适用于初级、中级铁路工务焊工)

丁 伟 黄辰奎 季关钰 编著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路工务钢轨焊接丛书

钢轨及高锰钢辙叉焊工 技术培训教材

(适用于初级、中级铁路工务焊工)

丁 韦 黄辰奎 季关钰 编著



中 国 铁 道 出 版 社

2005年·北京

内 容 简 介

本书主要介绍钢轨及高锰钢辙叉的修复与焊补技术。内容包括金属基础知识、电弧焊冶金基本原理、电焊条、焊补用焊接电源及辅助设备、钢轨及高锰钢辙叉损伤的修复等内容。

本书除可作为铁路工务系统焊接工的培训教材,也可供铁路管理、施工人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢轨及高锰钢辙叉焊工技术培训教材/丁韦,黄辰奎,季关钰编著. —北京:中国铁道出版社,2005. 10

ISBN 7-113-06693-3

I. 钢… II. ①丁…②黄…③季… III. ①钢轨-焊接-技术培训-教材②高锰钢-辙叉-焊接-技术培训-教材
IV. U213.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 105712 号

书 名:钢轨及高锰钢辙叉焊工技术培训教材

作 者:丁 韦 黄辰奎 季关钰

出版·发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策 划 编 辑:王俊法

责 任 编 辑:傅希刚 张 婕 编辑部电话:(021)73141

封 面 设 计:陈东山

印 刷:北京市彩桥印刷有限责任公司

开 本:787×1092 1/32 印张:5.375 字数:230 千

版 本:2005 年 11 月第 1 版 2005 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 7-113-06693-3/U·1822

定 价:10.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

联系电话:(021)73169

前 言

根据铁道部运输局文件(运基线路[1999]62号)《关于做好钢轨、高锰钢辙叉焊工培训及考核工作的通知》要求,为了提高焊补人员素质和业务水平,保证钢轨、辙叉的焊补质量,确保行车安全,降低维修成本,必须做好焊补人员的技术培训和考核工作。近年来,铁道部运输局、铁道科学研究院金属及化学研究所、重庆运达机电设备制造有限公司和广州铁路(集团)公司工务处等单位对从事钢轨和高锰钢辙叉焊补操作人员进行了大量的培训和考核工作。随着钢轨及高锰钢辙叉焊补焊修工作的进一步开展,提高了线路的质量,延长了线路使用周期,取得了一定的经济效益和社会效益。

本次《钢轨及高锰钢辙叉焊工培训教材》是在《手工电弧焊技术培训讲义》(初级电焊工)、《钢轨焊修技术》、《高锰钢辙叉焊接修复》以及《焊工手册》等资料的基础上编写而成,同时,也将近几年对焊补作业中存在的一些问题和经验进行了总结。

参加本次教材编写的同志有:铁道科学研究院金属及化学研究所的丁韦、黄辰奎、季关钰、宋宏图、陈辉,原广州铁路(集团)公司工务处的谭立德,重庆运达机电设备制造有限公司的黄锐等。

由于作者水平有限,教材中难免有不足之处,敬请各位读者批评指正。

编 者

2005年8月

目 录

第一章 金属基础知识	1
第一节 金属的结构	1
第二节 铁碳合金状态图	5
第三节 铁碳合金的结晶过程和组织转变	10
第四节 钢的几种热处理方法	11
第五节 钢的力学性能	14
思考题	20
第二章 电弧焊冶金基本原理	21
第一节 焊接熔池的形成	21
第二节 焊接化学冶金	22
第三节 熔池结晶和焊缝组织	24
思考题	32
第三章 电焊条	33
第一节 焊条的组成和分类	33
第二节 焊条的型号及牌号	37
第三节 焊条的选用原则	41
第四节 焊条的管理和使用	43
第五节 TYD296、TYD360 系列焊条的特点	44
思考题	47
第四章 焊补用焊接电源及辅助设备	48
第一节 焊接电弧的产生和特性	48

第二节	电源的外特性及调节	54
第三节	对弧焊电源的要求	57
第四节	普通交、直流弧焊电源	60
第五节	AXQ1—200 直流弧焊发电机特点	61
第六节	AXQ1—200 型弧焊发电机结构、原理、 操作使用和维护保养	63
第七节	焊补用辅助机具	72
思考题		78
第五章 钢轨及伤损的修复		79
第一节	钢轨	79
第二节	钢轨的伤损	87
第三节	钢轨焊补基本操作方法	92
第四节	钢轨焊补缺陷与防止方法	98
思考题		104
第六章 高锰钢辙叉及伤损的修复		105
第一节	高锰钢化学成分及力学性能	105
第二节	高锰钢的金相组织	108
第三节	高锰钢的性能特点	110
第四节	高锰钢的焊接性及缺陷	112
第五节	高锰钢辙叉电弧焊补工艺	114
第六节	高锰钢辙叉焊补应注意的问题	118
思考题		120
第七章 钢轨焊补与高锰钢焊补区别		121
第一节	钢轨与高锰钢母材比较	121
第二节	钢轨与高锰钢焊补材料的比较	123
第三节	钢轨和高锰钢焊补工艺比较	125

第四节 存在问题及解决方法	126
思考题	128
第八章 钢轨及高锰钢辙叉自动、半自动焊补	129
第一节 自动、半自动焊的基本特点	129
第二节 钢轨、高锰钢辙叉焊补用自保护药芯 焊丝	131
第三节 钢轨的自动、半自动焊补	136
第四节 高锰钢辙叉的自动、半自动焊补	145
思考题	149
附录 1 TB/T 1631—2002《钢轨电弧焊补技术条件》	150
附录 2 TB/T 3083—2003《高锰钢辙叉电弧焊补技术条件》 ...	156
参考文献	162

第一章 金属基础知识

第一节 金属的结构

金属材料包括金属和合金。纯金属是由一种元素组成的,如铝、铜、铁等。纯金属的力学性能一般比较低,而成本很高。合金是由两种或两种以上的金属元素(也可以是金属元素与非金属元素)熔合在一起的复合材料,如铁和碳组成的碳素钢,铜和锌组成的黄铜,铝、铜和镁组成的硬铝等。合金成本较低,有比纯金属更好的力学性能,而且还可以通过调整合金中各元素的比例,得到能满足多种用途要求的性能。因此,在工业上广泛采用合金。

金属和合金的性能与它们内部的组织结构有着密切的联系。成分的不同和热处理条件的改变都会影响金属和合金的组织结构,从而使材料表现出极不相同的性能状态。要想正确、合理地使用金属材料,充分发挥材料的潜力,就必须深入了解金属和合金的性能与化学成分、组织结构之间的关系,掌握它们的变化规律。如在钢轨焊补工作中,由于焊接热源的影响,钢轨焊后的组织和性能均会发生某些变化。因此,如果不了解钢轨和焊条的性能与化学成分,不掌握它们在焊补时可能发生的组织变化规律,就不可能保证焊补质量。

一、金属晶体结构

一切物质都是由原子组成的。如果原子是有次序、有规则排列的,这种物质称为晶体;如果原子的排列是散乱的,无

序的和不规则的,则称为非晶体。晶体物质有一定的熔化温度(熔点),例如铁的熔点为 1534°C 、铝的熔点为 660°C 。晶体的各个方向上性能是不相同的,这就是常说的各向异性,如单晶铜的不同方向上抗拉强度在 $140\sim 350\text{ MPa}$ 范围内变化,延伸率在 $10\%\sim 50\%$ 范围内变化。非晶体物质如塑料、玻璃等,没有确定的熔化温度,随温度的升高逐渐软化直至熔化。非晶体在多方向上的性能是相同的,即各向同性。自然界中绝大多数的固态无机物都是晶体,固态的金属和合金都属于晶体。

取一块金属磨光,制成金相试样,放到金相显微镜下放大观察,可以看到金属的显微组织是由许多形状不规则的小颗粒组成。在金相上这些小颗粒称为晶粒,晶粒与晶粒间互相交接的界面称为晶界,如图 1—1 和图 1—2 所示。如果以更先进的技术分析晶粒,则可发现晶粒内原子(分子、离子)都是以一定格式有规则地排列的,这些晶粒都是一个小的晶体。

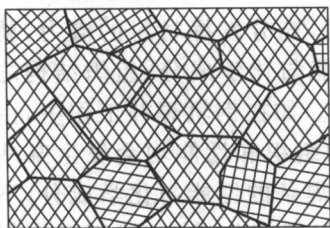


图 1—1 多晶体与晶界示意图

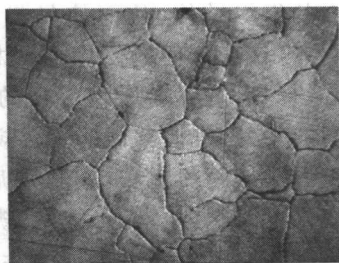


图 1—2 多晶体与晶界实际照片

不同的晶体物质,原子排列的格式也不同。大多数金属的晶格为体心立方晶格或面心立方晶格。

(1) 面心立方晶格 图 1—3—b 所示为面心立方晶格的胞。面心立方晶格的特点是除了在立方的八个顶角上各有

一个原子外,其六个正方形面的中心处也各有一个原子。具有面心立方晶格的金属有金、银、铜、镍、铝和温度处于 $912\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 1394\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间的纯铁($\gamma\text{-Fe}$)。

(2)体心立方晶格 图1—3—*a*和图1—3—*c*所示为体心立方晶格的晶胞。这种晶格除了在立方体的八个角上各有一个原子外,在立方体的中心处还有一个原子,具有体心立方晶格的金属有钒、铬、钼、钨和室温下的 $\alpha\text{-Fe}$ ($912\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的铁称为 $\alpha\text{-Fe}$)。

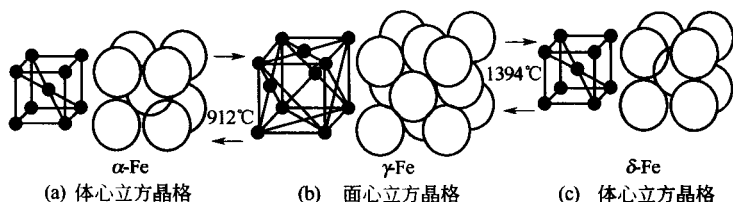


图1—3 不同晶格的转变(铁的同素异构转变)

铁有两种晶格,一种是低于 $912\text{ }^{\circ}\text{C}$ 体心立方晶格的 $\alpha\text{-Fe}$ 和在 $1394\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 1534\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间为体心立方晶格的 $\delta\text{-Fe}$,另一种是在 $912\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 1394\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间为面心立方晶格的 $\gamma\text{-Fe}$ 。因此,焊补钢轨时在热的作用下,在不同的温度区间,钢轨呈现出不同的晶格形式,体积也发生变化。

二、合金的结构

大多数的金属并不以纯金属状态使用,而是由两种或两种以上的金属或金属与非金属元素组成,这种具有金属特征的物质成为合金。碳素钢、合金钢以及钢轨都是铁与碳以及其他元素组成的合金。合金大致有三种结构类型:固溶体、金属间化合物和机械混合物。

(一) 固溶体

在固态下,合金中的元素能相互溶解,形成均匀的固态溶液叫固溶体。根据溶质原子在溶剂原子中所占的位置,固溶体可以分为置换固溶体和间隙固溶体。

(1) 置换固溶体: 固溶体中,溶质和溶剂元素的原子直径大小相近,在形成固溶体时,溶质原子部分占据了溶剂原子晶格,见图 1—4,合金元素溶入铁中形成的固溶体多数属于这种类型,如钢轨中锰溶入 α -Fe 中。

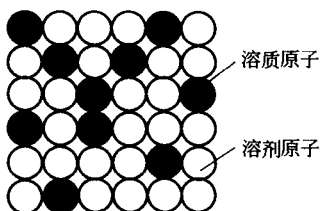


图 1—4 置换固溶体

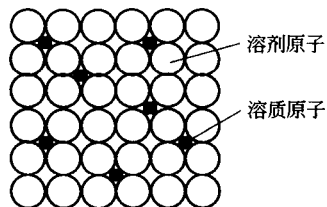


图 1—5 间隙固溶体

(2) 间隙固溶体: 溶质原子尺寸较小,溶剂原子晶格间隙较大,形成固溶体时,溶质原子分布在溶剂原子晶格的间隙处,见图 1—5。非金属元素,如碳、氮等,溶入 α -Fe 中形成的固溶体就属于这个类型,如钢轨中碳溶入 α -Fe 中。

无论哪种形式的固溶体,溶质原子的溶入都会使固溶体的晶格歪扭,因此,固溶体的强度和硬度都要比纯金属高。

(二) 金属间化合物

溶质和溶剂原子按一定比例成分形成一种新的晶体结构,与原来组成合金的原子的结构完全不同的物质,称为金属间化合物。金属间化合物的性质一般比较硬而脆,而且有的金属间化合物的熔点还相当高,在合金中起提高强度和硬度的作用,但降低了合金的韧性。如铁碳合金中铁和碳形成的

化合物 Fe_3C , 见图 1—6。 Fe_3C 的性质是硬而脆, 硬度达 HB800, 在铁碳合金中是作强化相, 强化合金性能。

(三)机械混合物

两种或两种以上的晶体结构的晶粒, 在固态时既不相互溶解, 又不构成化合物, 而是均匀地混合, 并且各自保住原来的晶体结构时, 称为机械混合物。机械混合物的性能大致是组成成分的平均性能, 根据组成成分的数量比例、形状大小和分布情况而有差异。工业上的合金大多数为机械混合物类型, 例如碳素钢就是铁

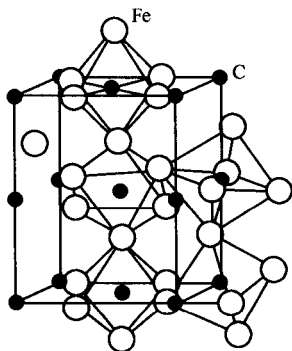


图 1—6 金属间化合物

素体(碳溶于 $\alpha\text{-Fe}$ 的固溶体)和渗碳体 Fe_3C 的混合物。渗碳体含量多、铁素体含量少的高碳钢(如钢轨钢), 强度和硬度高, 但塑性、韧性低; 渗碳体含量少、铁素体含量多的低碳钢, 强度就低一些, 但塑性、韧性要好些。组成介于两者之间的中碳钢, 其性能也介于两者之间。

第二节 铁碳合金状态图

人们在长期生产实践中和大量使用碳素钢的过程中, 积累了相当丰富的经验和知识, 认识了各种成分的碳素钢(不同含碳量)在不同温度时的显微组织与性能的变化规律, 并在大量科学实践的基础上, 加以系统归纳, 提高到理论, 总结出能说明成分、温度和组织之间关系的铁碳合金状态图。这一状态图是我们研究铁碳合金的组织与性能之重要工具和理论基础, 也是我们掌握焊补时钢轨性能变化规律的理论基础。

一、铁碳合金(碳钢部分)中的基本组织

(一)铁素体(F)

碳溶解于 α -Fe 中的固溶体称为铁素体。铁素体的晶体结构为体心立方晶格,碳进入体心立方晶格的间隙中,形成的是间隙式固溶体。铁素体在室温时的组织和力学性能近似于纯铁,具有低的强度和硬度,良好的塑性和韧性: $R_m = 250 \text{ MPa}$ 、 $R_{eL} = 120 \text{ MPa}$ 、 $A = 50\%$ 、 $A_{kv} = 300 \text{ J}$ 、 $HB = 80$ 。

(二)奥氏体(A)

碳溶解于 γ -Fe 中的固溶体称为奥氏体,奥氏体晶体结构呈面心立方晶格,它是碳原子进入铁的面心立方晶格的间隙中所形成的间隙式固溶体。由于 γ -Fe 是在高温时(727°C 以上)才存在的高温组织,故奥氏体也为高温组织,奥氏体的强度和硬度较低,但具有良好的塑性和变形能力,是大多数碳素钢在高温下进行压力加工或热处理时所需要的组织。

(三)渗碳体(Fe_3C)

铁与碳形成的化合物(Fe_3C)称为渗碳体。渗碳体晶体结构呈复杂的斜方晶格,它是由 93.3% 的铁和 6.67% 的碳化合而成的碳和铁的化合物。固态时的渗碳体没有同素异型转变。渗碳体的性质与铁素体相反,硬度很高,大于等于 $HB800$,脆性很大,塑性几乎等于零,通常是钢中的强化相。钢中含碳量愈高,则渗碳体的数量也愈多,钢材的性能也就趋向于硬和脆。一般室温下碳素钢中渗碳体的含量根据钢中含碳量的不同约占 1.5%~20%。

(四)珠光体(P)

铁素体和渗碳体组成的机械混合物称为珠光体。珠光体的平均含碳量为 0.8%,珠光体是由呈片状的铁素体和渗碳体

交替相间成层状分布构成的。珠光体的力学性能也就介于铁素体和渗碳体之间,既有较高的强度和硬度,又有相当的塑性,不至于很脆。珠光体的性能为: $R_m = 750 \sim 800 \text{ MPa}$ 、 $A = 15\% \sim 20\%$ 、 $\phi = 30\%$ 、 $HB = 160 \sim 280$ 。目前我们使用的钢轨在正常情况下也属于珠光体组织。

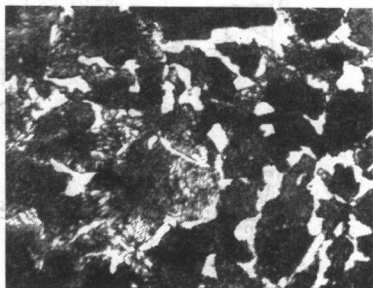


图 1—7 为钢轨闪光焊缝金属显微组织照 图 1—7 钢轨焊缝金属显微组织 $1000\times$ 片。其中,白色块状为铁素体(F);深色并带有黑色条状物的为珠光体(P);深色中的黑色条状物为渗碳体(Fe_3C)。

二、铁碳合金状态图

铁碳合金状态图是由一系列不同成分的铁碳合金被加热到液态,然后以极其缓慢的速度冷却,根据冷却时测得的组织变化及其变化温度绘制成的。铁碳合金状态图如图 1—8 所示。图的纵坐标表示温度,横坐标表示合金中含碳量的百分数,最大含碳量为 6.67% 。含碳量大于 5% 的铁碳合金性能极脆,没有实际使用价值。含碳量高于 6.67% 的铁碳合金在图中没有表示出来。铁碳合金状态图可以分成两个部分:含碳量低于 2.06% 的铁碳合金(图 1—8 中 E 点左边),人们通常称之为钢(碳素钢);含碳量大于 2.06% 的铁碳合金(图 1—8 中 E 点右边),通称为铸铁。后者与钢轨焊补没有直接关系,在这里只讨论状态图 E 点左边——碳钢这一部分的图形。图 1—9 就是简化了的铁碳合金状态图中碳素钢部分的图形。图 1—9 中 A 点为纯铁的熔点。AC 线为液相线,即各

种成分的铁碳合金当其温度高于此线时均为液体；而当温度

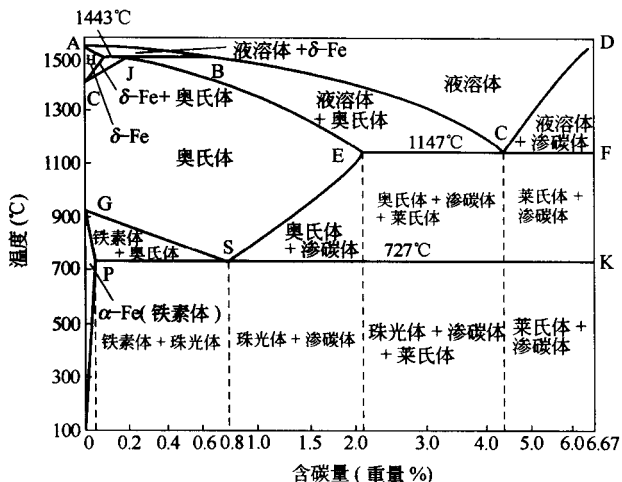


图 1—8 铁碳合金状态图

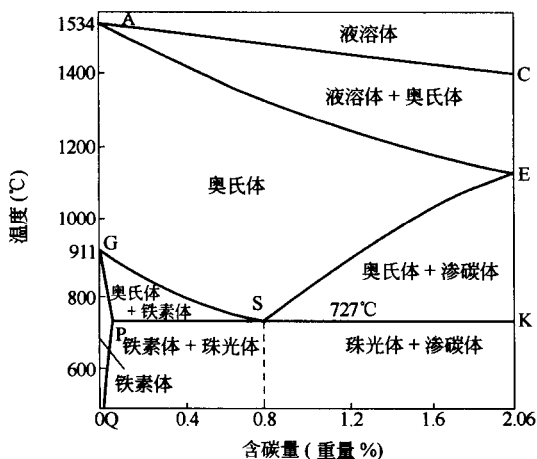


图 1—9 铁碳合金状态图碳钢部分简化图

降低到 AC 线时,开始结晶,从液态金属中析出固态金属奥氏体。因此 AC 液相线是液态合金开始结晶的温度线。

ACE 区域内,合金处于液态和固态并存的状态。AESG 区域内,合金为固态的奥氏体。

GS 线俗称为 A_3 线。含碳量小于 0.8% 的合金,当温度高于 GS 线时为固态奥氏体,而当温度低于 GS 线,奥氏体开始发生同素异型转变,从奥氏体中结晶析出铁素体,因此 GS 线是从不同含碳量的合金中析出铁素体的开始线。在 GSP 区域内,合金的组织是奥氏体和铁素体。

SE 线又称为 A_{cm} 线。E 点处的温度为 1130°C ,碳在奥氏体中的最大溶解度为 2.06%,而在 727°C 时,即 S 点,溶解度降低到 0.8%,所以实际上 SE 线是碳溶解于奥氏体的溶解度曲线。含碳量大于 0.8% 的合金缓慢冷却到此线时,碳溶解于奥氏体的量逐渐减小,碳开始从奥氏体中以渗碳体形式析出,因此 SE 线又是从不同含碳量的合金中析出渗碳体的开始线。在 SEK 区域内,合金的组织为奥氏体和渗碳体。

PSK 线又称为 A_1 线,是一条水平线,温度为 727°C 。在这系水平线上,合金发生共析转变,温度高于此线时,合金中奥氏体存在,当合金缓冷到 727°C 时,合金中的奥氏体达到 S 点的成分,含碳量为 0.8%,此时奥氏体分解,同时析出铁素体和渗碳体,称这种现象为共析转变,故又把 PSK 线称为共析线。共析转变所产生的铁素体和渗碳体混合物,即为珠光体。S 点称为共析点,在 S 点的合金成分冷却到 S 点时,合金将得到全部是珠光体的共析产物。

另外,还有两条线,即 GP 线和 PQ 线。GP 线为从奥氏体中析出铁素体终了的温度线,PQ 线为碳在铁素体中的溶解度曲线。可见,铁素体($\alpha\text{-Fe}$)溶碳量极微:在 727°C 时,最大溶解碳量为 0.02%(P 点);而室温时只能溶解 0.006% 的

碳量(Q点)。GPQ区域内,合金是铁素体组织。

第三节 铁碳合金的结晶 过程和组织转变

根据碳钢的含碳量,在状态图中以S点为界,把碳钢分成三类:

- (1)共析钢,含碳量0.8%,相当于S点成分;
- (2)亚共析钢,含碳量小于0.8%,S点左边的成分;
- (3)过共析钢,含碳量大于0.8%,至2.06%,S点右边的成分。

含碳量为0.8%的铁碳合金成分①(见图1—10),当温度在1点以上时,全部为液态。当冷却至1点时或稍过冷(即冷至AC线温度或稍低于AC线),液态合金中开始结晶,析出奥氏体晶核。随着冷却过程,液态合金中继续不断地析出奥氏体晶核,使合金中的固态奥氏体量不断增加,液态量不断减少,在析出固态奥氏体的同时,液态合金和固态奥氏体中的含碳量也相应地变化。如在1点温度时,结晶析出的奥氏体晶

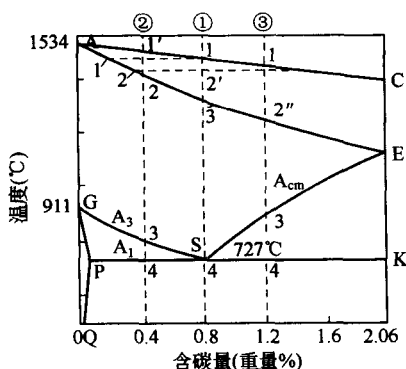


图1—10 典型成分钢的冷却过程