

职业资格培训教材
社会力量办学培训教材

(高级)

汽车修理工

● 劳动和社会保障部教材办公室组织编写



中国劳动社会保障出版社

职业资格培训教材
社会力量办学培训教材

汽车修理工

(高 级)

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

版权所有 翻印必究

图书在版编目(CIP)数据

汽车修理工：高级/关文达主编. —北京：中国劳动社会保障出版社，2001
职业资格培训教材、社会力量办学培训教材
ISBN 7-5045-3037-9

I. 汽…

II. 关…

III. 汽车—车辆修理

IV. U472.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第09350 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码：100029)

出 版 人：张梦欣

*

北京朝阳北苑印刷厂印刷 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.5 印张 460 千字

2001 年 7 月第 1 版 2001 年 7 月第 1 次印刷

印数：10100 册

定价：30.00 元

读者服务部电话：64929211

发行部电话：64911190

出版社网址：<http://www.class.com.cn>

前 言

《劳动法》和《职业教育法》明确规定，在全社会实行学历文凭和职业资格证书并重的就业制度。在国家劳动和社会保障行政管理部门的大力倡导下，取得职业资格证书已经成为劳动者就业上岗的必备的前提，同时，作为劳动者职业能力的客观评价，已经为人力资源市场供求双方普遍接受。取得职业资格证书不但是广大从业人员、待岗人员的迫切需要，而且已经成为各级各类普通教育院校、职业技术教育院校毕业生追求的目标。

开展职业资格培训教材建设十分重要。为此，劳动和社会保障部教材办公室、中国劳动社会保障出版社组织编写了《职业资格培训教材》，用于规范和引导职业资格培训教学。第一批组织编写的有：制冷设备维修工、冷作钣金工、制冷空调工、家用视频设备维修工、汽车修理工、客房服务员、电工、办公设备维修工、电梯安装维修工、计算机操作员、计算机调试工、计算机维修工 12 个职业的教材。其他职业（工种）的教材将分期分批地组织编写。

职业资格培训教材的主要特点是：

1. 最大限度地体现技能培训的特色。教材以最新国家职业标准为依据，以职业技能鉴定要求为尺度，以满足本职业对从业人员的要求为目标。凡《标准》中要求的技能和有关知识，均作了详细的介绍。

2. 以岗位技能需求为出发点，按照“模块式”教材编写思路，确定教材的核心技能模块，以此为基础，得出完成每一个技能训练单元所需掌握的工艺知识、设备（工具）知识、相关知识和技能、专业知识、基础知识，并根据培训教学的基本规律，按照基础知识、专业知识、相关知识、设备（工具）知识、工艺知识、技能训练的次序组成教材的结构体系。

3. 服务目标明确。从教学形式上，主要服务于教育、劳动社会保障系统，以及其他培训机构或社会力量办学所举办的各种类型的培训教学，也适用于各

级各类职业技术学校举办的中短期培训教学，以及企业内部的培训教学；从培训教学时间上，服务于3~6个月不同等级的培训教学，即300~600授课学时的培训教学。

4. 在强调实用性、典型性的前提下，充分重视内容的先进性。尽可能地反映与本职业相关联的新技术、新工艺、新设备、新材料、新方法。

本书由关文达（吉林工业大学）、陈旭景（辽宁交通高等专科学校）、张凯良、王晓燕（沈阳交通技术学校）、张子波、剑金贵、王清荣、许如云（内蒙交通高级技工学校）编写，关文达主编。铁维麟（沈阳大学）、李庆臣（沈阳低压开关厂）、倪延发（沈阳机电研究设计院）审稿，铁维麟主审。编写过程中，得到了沈阳交通技术学校的大力支持，在此一并致谢。

编写职业资格教材是一项探索性的事业，尽管参与编写的专家已经为此付出了艰苦的努力，但是由于缺乏可以借鉴的成功经验，加之时间仓促，存在缺点和不足实所难免，恳切希望广大读者提出宝贵意见和建议，以便今后修订，逐步完善。

劳动和社会保障部教材办公室

目 录

基础知识部分

单元 1 热处理基础知识	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 钢的热处理	(6)
1.3 汽车主要零件的热处理规范	(16)
单元 2 汽车运输车辆技术管理	(21)
2.1 汽车运输车辆技术管理的概念	(21)
2.2 汽车运输车辆前期管理和基础管理	(22)
2.3 汽车检测诊断	(24)
2.4 汽车综合性能检测站	(25)
2.5 汽车运输车辆的更新和报废	(27)

专业知识部分

单元 3 发动机理论知识	(29)
3.1 燃料的燃烧过程	(29)
3.2 发动机的工作循环与性能指标	(32)
3.3 发动机的特性	(35)
单元 4 汽车理论知识	(42)
4.1 汽车动力学基础	(42)
4.2 汽车的动力性	(46)
4.3 汽车的制动性	(54)
4.4 汽车行驶的稳定性	(60)
4.5 汽车行驶的平顺性与通过性	(64)

单元 5 汽车发展及维修新技术	(69)
5.1 国内外汽车发展新动向	(69)
5.2 汽车维修新技术	(75)
单元 6 汽车修理基础理论	(80)
6.1 汽车修理方法分类	(80)
6.2 零件修复方法的选择	(85)
单元 7 汽车零件检验用设备与总成装配计算	(89)
7.1 汽车零件检验用设备和方法	(89)
7.2 汽车总成装配的计算与平衡	(94)
单元 8 自动变速器	(99)
8.1 自动变速器的组成	(99)
8.2 自动变速器的工作过程	(104)
单元 9 点火系统	(110)
9.1 蓄电池点火系统的组成与工作原理	(110)
9.2 电子点火系统的组成与工作原理	(115)
单元 10 电控燃油喷射系统的组成	(127)
10.1 发动机集中控制系统	(127)
10.2 汽油喷射控制系统	(127)
10.3 电控点火控制系统	(132)
10.4 怠速控制系统	(140)
10.5 废气再循环控制 (EGR) 系统	(145)
10.6 燃油蒸气排放控制系统	(146)
10.7 动力阀控制系统	(147)
10.8 故障自诊断系统	(147)
单元 11 汽车制动防抱死系统及检测	(150)
11.1 制动防抱死系统的组成	(150)
11.2 制动防抱死系统的工作过程	(152)
11.3 日本丰田凌志 LS400 型轿车制动防抱死系统	(154)
11.4 制动防抱死系统的检测与故障诊断	(158)

技能部分

单元 12 自动变速器的使用与常见故障的检查	(163)
12.1 自动变速器的使用	(163)
12.2 常见故障的检查	(165)
单元 13 电控燃油喷射系统的故障诊断	(180)
13.1 电控燃油喷射式发动机的故障诊断原则	(180)
13.2 电控燃油喷射系统的故障诊断方法	(181)
13.3 故障灯与故障代码	(183)
13.4 丰田凌志 LS400 轿车电控汽油喷射系统的故障诊断	(185)
单元 14 点火系统常见故障与诊断	(196)
14.1 常见故障	(196)
14.2 常见故障的诊断	(197)
14.3 主要元件的检查	(201)
单元 15 车辆和总成的检验与磨合	(206)
15.1 车辆和总成大修送修规定	(206)
15.2 车辆和总成修理过程技术检验	(206)
15.3 修竣车辆和总成的出厂检验	(227)
15.4 配气相位的综合检测	(228)
15.5 发动机的磨合	(228)
15.6 变速器的磨合与试验	(230)
单元 16 汽车检测与诊断技术	(231)
16.1 汽车检测与诊断方法	(231)
16.2 发动机机械故障的原因、诊断与预防	(279)
16.3 底盘机械故障的原因、诊断与预防	(283)

基础知识部分

单元 1 热处理基础知识

1.1 概述

热处理是机器零件及工具制造过程中的重要工序之一，对发掘金属材料强度潜力，改善零件的使用性能，提高产品质量，延长使用寿命具有极其重要的意义。此外，对改善毛坯的工艺性能也有重要作用。在机器制造工业中，几乎所有的工具、模具都要进行热处理方能使用。热处理在汽车制造或维修中占有十分重要的地位。

(1) 热处理的定义

热处理是一种改善金属材料及其制品（如机械零件、工具等）性能的工艺。根据不同目的，将材料或其制件加热到适宜的温度、保温，随后用不同的方法冷却，改变其内部组织（有时仅使表面组织改变或使表面成分改变）以获得所要求的性能。

热处理之所以能使钢的性能发生变化，其根本原因是由于铁有同素异构转变，从而使钢在加热和冷却过程中，其内部发生了组织与结构变化的结果。因此，要正确掌握热处理工艺，必须首先了解在不同的加热及冷却条件下，钢的组织变化规律。

(2) 铁碳合金

在铁碳合金中，碳可以与铁组成化合物，也可以形成固溶体，或形成混合物。

①铁素体 碳溶解在 $\alpha\text{-Fe}$ 中所形成的间隙固溶体，称为铁素体，用 F 来表示。

②奥氏体 碳溶解在 $\gamma\text{-Fe}$ 中所形成的间隙固溶体，称为奥氏体，用 A 来表示。

③渗碳体 渗碳体是含碳量为 6.69% 的铁与碳的金属化合物，其分子式为 Fe_3C ，用 Cm 来表示。

④珠光体 珠光体是铁素体和渗碳体片层相间、交替排列而形成的混合物，用 P 来表示。

⑤莱氏体 莱氏体是含碳量为 4.3% 的合金，在 1148℃ 时从液体中同时结晶出的奥氏体和渗碳体的混合物，用 L_d 来表示。

(3) 钢在加热时的组织转变

加热是钢进行热处理的第一道工序，也是保证热处理质量的先决条件。主要目的是使钢奥氏体化，即将钢加热到相变点（临界点）以上，使其全部或部分获得均匀的奥氏体组织。根据 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 状态图可知， A_1 、 A_3 、 A_{cm} 是钢在极缓慢加热和冷却的临界温度，但在实际的加热和冷却条件下，钢的组织转变总有滞后现象，在加热时要高于，在冷却时要低于状态图上所指出的临界温度。为了便于区别，通常把加热的各临界温度分别用 A_{C1} 、 A_{C3} 、

以共析钢为例，当温度加热到 A_{c1} 线时，珠光体向奥氏体转变。奥氏体的形成同结晶过程一样，也是通过形核及长大两个基本过程来实现。它的转变全过程，可分为下面 4 个阶段。

1) 奥氏体生核 在铁素体和渗碳体的相界面上优先形成奥氏体晶核。这是因为铁素体和渗碳体两相浓度差很大, 相界面处原子排列比较紊乱, 处于不稳定状态, 为奥氏体的生核提供了有利条件, 所以晶核优先在相界面处生成。

2) 奥氏体长大 奥氏体晶核生成后, 依靠铁素体和渗碳体的不断溶入, 开始长大。由于铁素体晶格改组比渗碳体的溶解快, 所以, 铁素体

3) 剩余渗碳体溶解 铁素体消失后, 随着保温时间的延长, 渗碳体相继溶入奥氏体中。

4) 奥氏体均匀化 剩余渗碳体的溶解完毕后, 奥氏体中碳的浓度还是不均匀的, 在原先是渗碳体的地方, 碳的浓度较高; 原先是铁素体的地方, 碳的浓度较低。为此, 必须继续保温, 通过原子扩散才能取得均匀化的奥氏体。

(4) 钢在冷却时的转变

钢经加热获得奥氏体组织后，如在不同的冷却条件下冷却，最后可使钢获得不同的机械性能，如 45 钢制造的直径为 15 mm 的轴，经 840℃ 加热后，如在空气中冷却，其表面硬度小于 209 HBS，如在油中冷却，其表面硬度可在 HRC45 左右，如用水冷却，其表面硬度可达 HRC55 左右。可见，同样的钢，加热条件相同，但由于冷却条件不同，它们在性能上会产生明显差别。为了弄清产生这种差别的原因，必须了解奥氏体在冷却过程中的变化规律。

在热处理工艺中，常采用等温冷却和连续冷却两种冷却方式。其工艺曲线如图 1—2 所示。下面以共析钢为例，说明冷却方式对钢组织及性能的影响。

1) 过冷奥氏体的等温转变 根本原因是由于铁有同素异构转变, 从而使钢在加热和冷却过程中, 其内部发生了组织与结构变化的结果。因此, 要正确掌握热处理工艺, 必须首先了解在不同的加热及冷却条件下, 钢的组织变化规律。

奥氏体在临界温度 A_1 以下是不稳定的，必定要发生转变。但并不是一冷却到 A_1 温度以下立即发生转变，它在转变前需要停留一定的时间，这个时间称为孕育期。在 A_1 温度以下暂时存在的、处于不稳定状态的奥氏体称为“过冷奥氏体”。

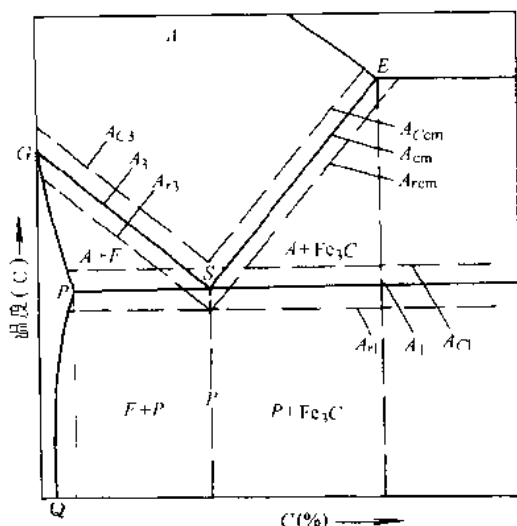


图 1-1 在加热(冷却)时 Fe-Fe₃C 相图上各临界点的位置

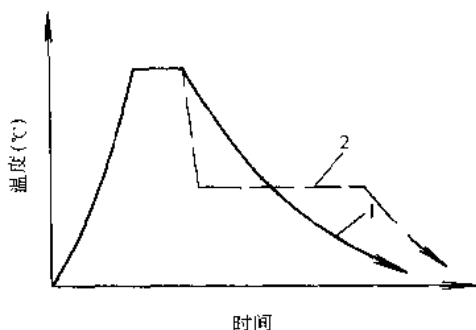


图 1—2 两种冷却方式示意图
1—连续冷却 2—等温冷却

将高温奥氏体迅速冷却到低于 A_1 的某一温度，并保持恒温，让过冷奥氏体在此温度完成其转变的过程，称为过冷奥氏体的等温转变。

过冷奥氏体在不同温度进行等温转变，将获得不同的组织和性能。全面表示过冷奥氏体的转变温度与转变产物之间关系的图形，通常称为奥氏体等温转变曲线。

①过冷奥氏体等温转变曲线的建立 把含碳量为 0.77% 的共析钢制成若干个一定尺寸的试样，加热到高于 A_{c1} 的温度，使其组织成为均匀的奥氏体。然后，分别迅速地放入低于 A_1 的不同温度（例如，710℃、650℃、550℃、500℃、450℃、350℃ 等）的溶盐槽中，迫使奥氏体过冷，发生等温转变。再在不同的温度等温过程中，测出过冷奥氏体转变开始和终止的时间，把它们按相应的位置标记在时间——温度坐标图上。分别连接各开始转变点（ a 点）和转变终止点（ b 点），便得到如图 1—3 所示的曲线图，称为奥氏体等温转变曲线图。由于曲线形状与“C”字相似，故奥氏体等温转变曲线又简称为 C 曲线。

图 1—4 所示为共析钢的 C 曲线，由图可知， A_1 为奥氏体向珠光体转变的临界温度，在 A_1 以上是奥氏体稳定区域， aa' 为过冷奥氏体转变的开始线，在转变开始线左方是过冷奥氏体区。 bb' 为过冷奥氏体转变的终止线，在转变终止线右方转变已经完成，是转变产物区。在 aa' 线与 bb' 线之间是过冷奥氏体与转变产物共存的过渡区。

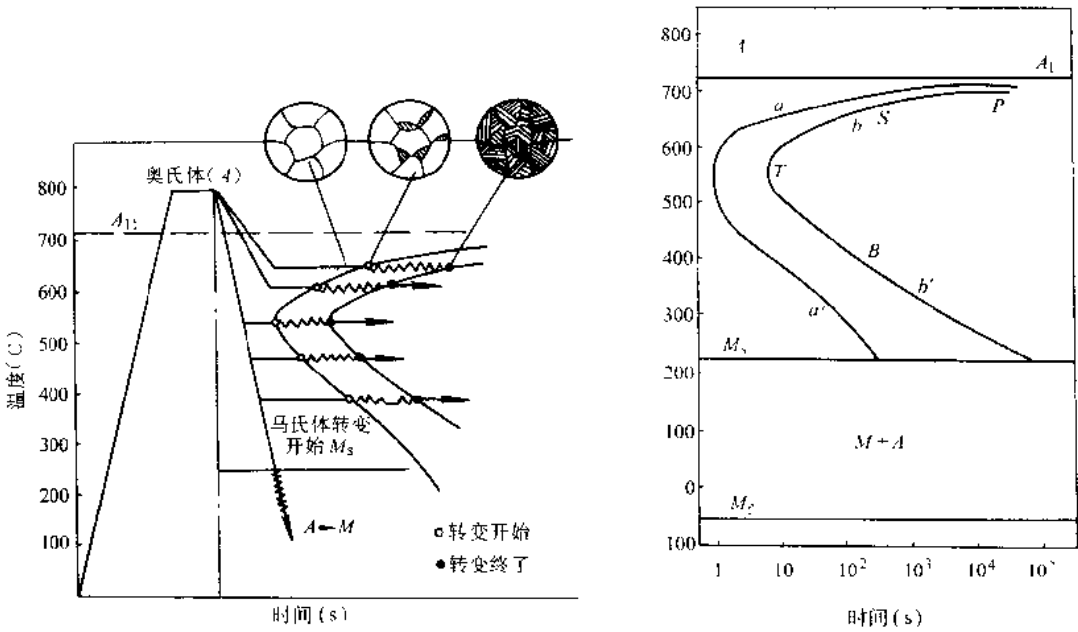


图 1—3 共析钢奥氏体等温转变曲线建立方法示意图 图 1—4 共析钢的过冷奥氏体等温转变曲线图

在 C 曲线下面，水平线 M_s 为过冷奥氏体转变为马氏体的开始温度，约 230℃，水平线 M_f 为过冷奥氏体转变为马氏体的终止温度，约 -50℃。在 C 曲线拐弯的“鼻尖”处（约 550℃）孕育期最短，此时过冷奥氏体最不稳定，容易分解。

②过冷奥氏体等温转变产物的组织和性能 根据 C 曲线特殊温度点 550℃ 左右（即“鼻子”）与 230℃（马氏体转变开始点）可把过冷奥氏体的转变分为高温、中温及低温转变区，可以得到三种不同类型（珠光体型、贝氏体型及马氏体型）的组织。

a. 珠光体型转变（高温等温转变） 在 $A_1 \sim 550^\circ\text{C}$ 温度范围内，奥氏体等温分解为铁素体和渗碳体的片层状混合物，即奥氏体向珠光体转变；等温转变的温度越低，形成的铁素体和渗碳体的片层越细。过冷奥氏体在不同温度下产生等温转变的产物名称、组织、硬度如下：

在 $A_1 \sim 650^\circ\text{C}$ 之间，过冷度小，形成的珠光体比较粗（层片间距约 $0.3\ \mu\text{m}$ ），在低倍（小于 500 倍）显微镜下，就能分辨，硬度约为 $160 \sim 250\ \text{HBS}$ 。

在 $650 \sim 600^\circ\text{C}$ 之间，过冷度稍大，生核较多，转变速度较快，形成层片较细（层片间距约 $0.1 \sim 0.3\ \mu\text{m}$ ），只有在高倍（1 000 倍左右）显微镜下，才能分辨出片层，这种组织称为细珠光体，也称索氏体，用符号“S”表示，其硬度约为 $\text{HRC}25 \sim 35$ 。

在 $600 \sim 550^\circ\text{C}$ 之间，过冷度更大，转变速度更快，所形成的组织更细（层片间距小于 $0.1\ \mu\text{m}$ ），只有在电子显微镜下，才能观察到片层特征，这种组织称为极细珠光体，也称为托氏体，用符号“T”表示，其硬度约为 $\text{HRC}35 \sim 48$ 。

b. 贝氏体型转变（中温等温转变） 在 $550^\circ\text{C} \sim M_s$ 温度范围内，因转变温度较低，原子的活动能力较差，过冷奥氏体虽然仍分解成渗碳体和铁素体的机械混合物，但铁素体中溶解的碳超过了正常的溶解度。转变后得到的组织为含碳量具有一定过饱和程度的珠光体和极分散的渗碳体所组成的混合物，称为贝氏体，用符号“B”表示。

贝氏体有上贝氏体和下贝氏体之分，通常把 $550 \sim 350^\circ\text{C}$ 范围内形成的贝氏体称为上贝氏体，在显微镜下呈羽毛状的组织。在 $350^\circ\text{C} \sim M_s$ 范围内形成的贝氏体称为下贝氏体，在显微镜下呈黑色针状组织。

上贝氏体的硬度约为 $\text{HRC}40 \sim 45$ ，且强度较低，塑性、韧性也较差；下贝氏体的硬度约为 $\text{HRC}45 \sim 55$ ，同时具有较高的强度及较好的塑性和韧性。

c. 马氏体型转变（低温等温转变） 转变温度在 M_s 及 M_f 之间，转变特点是：过冷度极大，转变温度很低，只有 $\gamma\text{-Fe}$ 向 $\alpha\text{-Fe}$ 晶格的改建，碳原子已不能进行扩散，它全部被迫过量地固溶在 $\alpha\text{-Fe}$ 晶格中。这种碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的过饱和固溶体组织称为马氏体，用符号“M”表示。

马氏体转变是在一定温度范围内（ $M_s \sim M_f$ ）连续冷却时进行的。马氏体的数量随着温度的下降而不断增多；如果冷却在中途停止，则奥氏体向马氏体的转变也停止。马氏体转变速度极快，且转变时体积发生膨胀，因而转变时产生很大的内应力。马氏体转变不能进行到底，即使过冷到 M_f 以下温度，仍有少量奥氏体存在，这部分未发生马氏体转变的奥氏体称为残余奥氏体。

共析钢的马氏体在显微镜下呈针叶状，称为针状马氏体，其性能特点是硬度高而脆性大，呈一束束相互平行板条状的，称为板条马氏体，其性能特点是具有良好的强度及较好的韧性。

2) 过冷奥氏体的连续冷却转变

①过冷奥氏体的连续冷却转变曲线 把钢加热到奥氏体状态后，使奥氏体在温度连续下降的过程中发生转变，称为过冷奥氏体的连续冷却转变。

在热处理实际操作中，钢经奥氏体化后，多数情况是连续冷却下来的。常在炉内、空气中、油中或水中冷却。连续冷却转变与等温转变不同，前者过冷奥氏体的转变是在一个温度范围内进行的，要比等温转变滞后一些，转变温度要低一些，时间要长一些。

因为连续冷却转变曲线的测定较为困难，不如等温转变曲线测定方便，因此，在实际生产中常利用等温转变曲线来定性地估计连续冷却转变情况。

②等温转变曲线在连续冷却转变中的应用 要了解钢在连续冷却时转变产物及其性能，可将连续冷却时的冷却速度线画在等温转变曲线图上，如图 1—5 所示。根据它和等温转变曲线相交位置，大致可以估计出产物，可能得到的组织和性能，对制定热处理工艺有重要的现实意义。

现以图 1—5 所示，分析共析钢奥氏体化后冷却情况：

v_1 相当于炉冷（退火）情况，与曲线交于 $700 \sim 670^\circ\text{C}$ 左右，从 C 曲线可以判断，转变后产物为珠光体，硬度为 $170 \sim 220 \text{ HBS}$ 。

v_2 、 v_3 相当于不同冷却速度的空冷（正火），与 C 曲线相交于 $650 \sim 600^\circ\text{C}$ 之间，估计转变后产物为索氏体，其硬度为 $\text{HRC}25 \sim 35$ 。

v_4 相当于油冷（淬火）情况，只与 C 曲线奥氏体开始转变线相交（但未与终止线相交），最后又与 M_s 线相交，估计转变后产物为托氏体和马氏体，其硬度为 $\text{HRC}45 \sim 55$ 。

v_5 相当于水冷（淬火）情况，与 C 线不相交，直接与 M_s 线相交，估计产物为马氏体和残余奥氏体。

v_k 与 C 曲线在鼻部相切，称为临界冷却速度，是奥氏体向马氏体转变的最小冷却速度。凡大于 v_k 的冷却速度都可以转变为马氏体组织， v_k 的大小对于确定热处理工艺、研究新合金钢有重要意义。

连续冷却转变由于不是在一个温度而是在一个温度范围内进行的，组织往往不是单一的，可能是珠光体 + 索氏体、托氏体 + 马氏体等。

(5) 热处理工艺曲线

热处理种类繁多，但任何一种热处理工艺都是由加热、保温和冷却三个阶段所组成的。因此，热处理工艺过程可用温度—时间坐标图形来表示，图中曲线称为热处理工艺曲线，也称为热处理规范图，如图 1—6 所示。

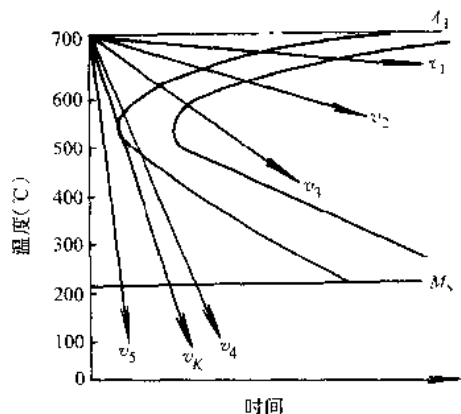


图 1—5 连续冷却转变在等温转变曲线上的应用

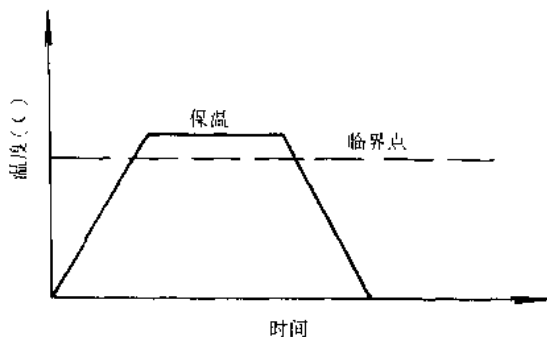


图 1—6 热处理工艺曲线

(6) 钢热处理方法的分类

根据热处理的目的、加热和冷却方法以及组织和性能的变化不同，钢的热处理方法可分为以下几种：

1) 普通热处理 退火、正火、淬火、回火等。

2) 表面热处理

①表面淬火 火焰加热, 感应加热。

②化学热处理 渗碳、氮化、碳—氮共渗、渗金属等。

1.2 钢的热处理

(1) 钢的退火

将钢加热到高于或低于临界点, 保温一定时间, 然后缓慢地冷却到室温, 这一热处理工艺称为退火。钢的退火是为了获得接近平衡状态的组织。

1) 退火的目的

①降低钢的硬度, 提高塑性, 以利于切削加工及冷变形加工。

②细化晶粒, 均匀钢的组织及成分, 改善钢的性能或为以后的热处理作准备。

③消除钢中的残余内应力, 以防止变形和开裂。多数情况, 退火是消除前一道工序遗存的缺陷, 为后续工序作准备。

常用的退火方法有完全退火、球化退火及去应力退火等几种。

2) 完全退火 将钢加热至 A_{C3} 以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$, 保温足够时间, 完全奥氏体化并使成分基本均匀之后, 缓慢冷却 (炉冷或埋于砂中或石灰中) 至 500°C 以下出炉空冷, 以得到铁素体及珠光体组织的热处理工艺称为完全退火。其目的是细化晶粒、消除应力, 使钢软化以便随后的变形加工或切削加工, 并为成品工件的热处理准备适宜的金相组织。

完全退火主要用于中碳结构钢及低、中碳合金结构钢的锻件、铸件等。过共析钢不宜采用完全退火, 因为过共析钢完全退火需加热到 A_{Ccm} 以上, 在缓慢冷却时, 钢中将析出网状渗碳体, 使钢的机械性能变坏, 也为以后热处理留了隐患 (如产生淬火裂纹)。

3) 球化退火 将钢加热到 A_{C1} 以上 $20 \sim 30^\circ\text{C}$ 保温后缓慢冷却; 或加热到 $730 \sim 740^\circ\text{C}$, 保温后缓慢冷却到 680°C , 再加热、保温、缓冷, 如此往复几次, 以保证碳化物全部球化的热处理工艺称为球化退火。球化退火加热时, 未完全奥氏体化, 因此, 属于不完全退火。

球化退火是使钢中碳化物球状化的工艺。球化退火主要用于过共析钢, 例如工具钢、轴承钢等。目的是使渗碳体及珠光体中的片状渗碳体球状化, 以降低硬度、改善切削加工性能并为以后的淬火做好组织准备。

对有网状碳化物的钢件, 应事先进行正火消除网状碳化物, 然后进行球化退火。

4) 去应力退火 (又称低温退火) 将钢加热到略低于 A_1 的温度 (一般取 $500 \sim 650^\circ\text{C}$), 经保温后缓慢冷却的退火方法, 称为去应力退火。在去应力的退火过程中, 钢的组织不发生变化, 只是消除内应力。

(2) 钢的淬火

淬火是将钢加热到临界温度 A_{C1} 或 A_{C3} 以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ 温度, 保温一定时间, 使奥氏体化后, 然后快速 (超过临界冷却速度) 冷却, 从而发生向马氏体转变的热处理工艺。

1) 淬火目的 淬火目的是得到马氏体组织, 以提高钢的硬度和耐磨性。淬火和回火配合是强化钢材的主要手段之一。例如, 刀具、量具淬火回火后可以得到高硬度、高耐磨性; 轴类零件淬火回火后可以获得优良的综合力学性能。淬火回火通常作为最终热处理。

2) 淬火的加热及保温

①加热温度的确定 钢的淬火温度可用 Fe-Fe₃C 状态图来确定, 如图 1—7 所示。为防止奥氏体晶粗大, 淬火加热温度不宜过高。一般适宜的淬火加热温度:

亚共析钢: $A_{C3} + (30 \sim 50^{\circ}\text{C})$;

过共析钢: $A_{C1} + (30 \sim 50^{\circ}\text{C})$ 。

亚共析钢的淬火加热温度选择在 A_{C3} 以上 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$, 这是为了得到细晶粒奥氏体, 以便淬火冷却后获得细小的马氏体组织。如果加热温度过高, 则引起奥氏体晶粒粗化, 淬火后马氏体的组织粗大, 使钢的性能严重脆化。若加热温度过低 (在 $A_{C1} \sim A_{C3}$ 之间), 则淬火组织中将出现铁素体, 造成钢的硬度不足。

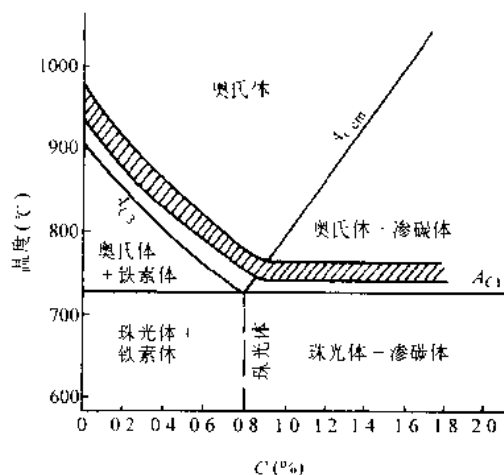


图 1—7 碳钢的淬火加热温度

过共析钢的淬火加热温度选择在 A_{C1} 以上 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$, 淬火后可得到马氏体及粒状渗碳体组织。由于渗碳体的硬度比马氏体高, 能增加钢的耐磨性, 所以加热温度在 A_{C1} 以上是适宜的。如果加热温度选择在 A_{Ccm} 以上, 不仅使奥氏体的晶粒粗化, 淬火后得到粗针状马氏体, 增加脆性, 且残余奥氏体量也多, 降低了钢的硬度及耐磨性, 而且加热温度高, 引起钢的氧化, 脱碳, 也增大了淬火应力, 增加了工件的变形和开裂的倾向, 因此, 是不适宜的。

②加热时间的确定 淬火加热时间的确定, 既要保证工件表层、心部达到规定加热温度, 获得均匀的奥氏体化组织, 又要保证晶粒不致粗大, 还要考虑时间、经济及生产率。因此, 选择加热、保温时间, 对保证淬火质量及提高生产率都有重要意义。

在生产中, 通常先把炉温升高到选定加热温度, 再将工件装入, 此时炉膛温度略有降低, 炉温重新升到加热温度时, 开始计算时间。

影响加热时间因素很多, 如介质加热速度、炉温的高低、钢的化学成分、工件形状尺寸、装炉量和堆积方式等, 很难精确计算, 生产中通常按工件有效厚度 (或直径), 与保温系数之乘积来确定时间, 即:

$$t = \alpha KD \quad (1-1)$$

式中 t ——加热时间, min;

α ——加热系数, min/mm;

K ——装炉修正系数 (通常取 1.0~1.5);

D ——工件有效厚度 (或直径), mm。

对于形状简单工件的有效厚度, 就是它的实际厚度或直径。各种形状的有效厚度为: 圆柱体以直径为有效厚度 (当直径大于高度时, 以高度计算); 板件以板厚计算; 正方体以边长计算; 矩形以短边计算; 套筒类以壁厚计算; 圆锥体以离小头 $2/3$ 处直径计算; 球体以球直径 0.6 倍计算; 空心管内径小于 50 mm, 内径/外径 $< 1/5$ 可按实心计算。

常用钢的加热系数见表 1—1。

表 1—1

常用钢的加热系数 α

mm/min

工件材料	工件直径 (mm)	<600℃ 箱式 炉中预热	750~850℃ 盐浴炉中加热	800~900℃ 箱式 或井式炉中加热	1100~1300℃ 高 温盐浴炉中加热
碳 钢	≤50	0.35~0.4	0.3~0.4	1.0~1.2	0.17~0.2
	>50		0.4~0.5	1.2~1.5	
合 金 钢	≤50		0.45~0.5	1.2~1.5	
	>50		0.5~0.55	1.5~1.8	
高合金钢			0.3~0.35		
高 速 钢			0.3~0.35	0.65~0.85	0.16~0.18

3) 淬火冷却介质 淬火工艺之所以复杂, 主要是因为淬火时要求得到马氏体组织, 因此, 淬火冷却速度必须大于临界冷却速度。但是冷却过快, 工件的体积收缩及组织转变都很剧烈, 不可避免地要引起很大的内应力, 容易造成工件变形及开裂。在选择冷却介质时, 既要保证得到马氏体组织, 又要尽量减少淬火应力, 才能保证热处理的质量。为此, 首先是寻找一种比较理想的淬火冷却介质, 简称淬火剂, 又称冷却剂。

由 C 曲线知, 淬火时要得到马氏体, 其实并不需要在整个冷却过程中快冷, 关键是 C 曲线鼻部附近, 即在 650~500℃ 范围需要快速冷却。在 650℃ 以上, 奥氏体比较稳定, 可以冷却的慢一点, 这样可以减少工件内外温差所引起的热应力。在 300~200℃ 以下, 可以冷却得慢一点, 如果冷却过快, 增加了工件内外温差, 向马氏体的转变 (伴有体积变化) 有先后, 易引起较大的组织应力。同时, 由于在较低温度下钢的塑性较小, 就容易使工件变形或开裂。根据上述情况, 理想的淬火冷却速度应该是慢—快—慢, 如图 1—8 所示。

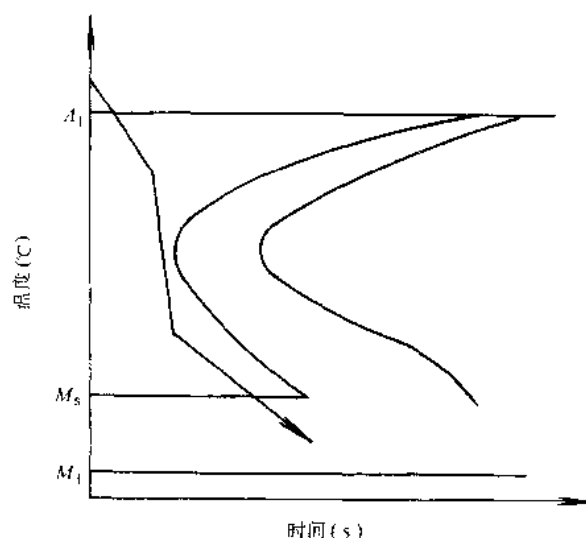


图 1—8 钢淬火时的理想冷却曲线

淬火剂除希望具有上述特性外, 在使用时还要求成分稳定, 不易变质; 有合适的黏

度, 以减少工件带出的损失; 不易燃、不易爆、无毒性、经济等。但是, 到目前为止, 还没有十分理想的淬火剂, 因此, 必须了解目前常用的各种淬火剂的特性, 以便能根据不同钢种的具体要求较恰当地选用。常用的淬火剂有水、水溶液、油等, 其冷却能力见表 1—2。

表 1—2

常用淬火剂的冷却能力

淬 火 剂	在下列温度范围内的冷却速度 (°C/s)	
	650~550 (°C)	300~200 (°C)
水 (18℃)	600	270
水 (26℃)	500	270
水 (50℃)	100	270
水 (74℃)	30	200
10% NaCl (18℃) 水溶液	1100	300
蒸馏水	250	200

续表

淬 火 剂	在下列温度范围内的冷却速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$)	
	650~550 ($^{\circ}\text{C}$)	300~200 ($^{\circ}\text{C}$)
肥皂水	30	200
柴油 (50°C)	200	35
机油 (18°C)	100	20
机油 (50°C)	150	30
变压器油 (50°C)	120	25
水玻璃苛性钠水溶液	310	70
0.5% 聚乙烯醇水溶液		180
油水乳浊液	70	200

水是最便宜而且在 650~500 $^{\circ}\text{C}$ 范围内具有很大冷却能力的淬火剂,但在 300~200 $^{\circ}\text{C}$ 时冷却速度仍很快,所以常会引起淬火钢开裂。若水温较高,只降低 650~500 $^{\circ}\text{C}$ 淬火能力,性能更差。在水中加入碱或盐能提高 650~500 $^{\circ}\text{C}$ 间的冷却能力,但在 300~200 $^{\circ}\text{C}$ 间冷却能力基本不改变。所以,水及水溶液虽然长期以来都被用来作为各种碳钢的淬火介质,但有很大的局限性。

各种矿物油在 300~200 $^{\circ}\text{C}$ 范围具有较弱的冷却能力、不易淬裂且油温升高反而能提高淬火能力的优点,但在 650~550 $^{\circ}\text{C}$ 范围内冷却能力不够大,不易淬硬,不适用于厚度超过 5~8 mm 的碳钢工件,多用于一些合金钢的淬火。而且价格又较高,容易燃烧,淬火件不易洗清等缺点。

在使用水、油淬火剂时,水温宜低一些,油温宜高一些,以降低黏度,增加流动性,提高冷却能力。当然油温也不宜太高,以免引起油面燃烧。

用于淬火的还有盐浴、碱浴等淬火剂。这些淬火剂淬火能力在水、油之间,有良好的流动性,但有强烈的腐蚀性,使用时要采取保护措施。

我国在寻找新淬火剂方面作了不少工作,取得了一定成绩,如水玻璃溶液。这种溶液在高温区冷却能力很大,低温区由于水玻璃在工件表面上形成一层薄膜,能使冷却速度降低。还有聚乙烯醇水溶液、氧化锌—碱水溶液等新型淬火剂均有较好的冷却能力,但价格较高、易老化、不够稳定。

4) 淬火方法 淬火方法是根据工件特点(化学成分、形状尺寸、要求等),结合各种淬火剂特性,保证淬火质量所采用的方法。常用的淬火方法有:

①单液淬火法 这种方法是将加热到奥氏体化后的工件淬入水、油或水溶液中,冷却至马氏体转变区,然后取出空冷的方法。由于冷却是在一种介质中完成的,所以叫单液淬火,如图 1—9①所示。

②双液淬火法 双液淬火法是将加热到奥氏体化后的工件,先淬入高温区快冷的第一种介质(水或盐水)以抑制奥氏体转变,当冷却到 300~

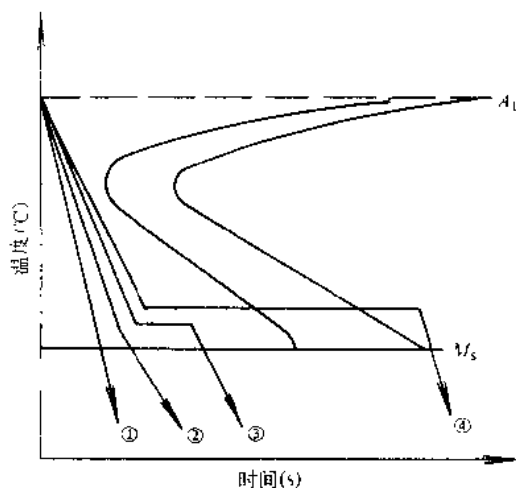


图 1—9 常用的淬火方法冷却曲线

①单液淬火 ②双液淬火 ③分级淬火 ④等温淬火