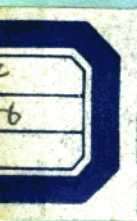




钢铁厂技术培训参考丛书

厚板热处理

冶金工业出版社



钢铁厂技术培训参考丛书

厚板热处理

崔永植 译

张 泉 校

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书是《钢铁厂技术培训参考丛书》之一。全书共分三章。第1章热处理原理介绍铁—碳平衡状态图、等温转变及连续冷却转变图以及退火、正火、淬火、回火等基本概念。第2章热处理设备概况论述各种热处理炉型、淬火设备以及有关的附属设备——喷丸清理机以及矫直机等。第3章热处理作业及其实际情况叙述了热处理的作业工序、热处理条件的选择、各种钢的热处理制度、热处理炉的操作、喷丸矫直作业以及各项作业的管理等。为便于读者加深了解，本书书后的教学指导书中还对前面出现的一些专业术语作了解释和说明。

钢铁厂技术培训参考丛书

厚 板 热 处 理

崔永植 译

张 泉 校

*

冶金工业出版社出版发行

(北京灯市口74号)

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16

印张 4 1/4 字数 97 千字

1984年2月第一版

1984年2月第一次印刷

印数00,001~3,000册

统一书号: 15062·4061

定价0.50元

出版说明

《钢铁厂技术培训参考丛书》(以下简称《丛书》)是为了适应我国钢铁企业开展职工技术培训工作的需要,由我社组织翻译的一套日本的技术培训教材,拟分册陆续出版,由我社内部发行,供钢铁企业开展技术培训时参考,也可以供具有初中以上文化程度的职工自学技术时参考。

这套《丛书》包括技术基础知识11本,专业概论8本,冶炼和轧钢专业知识46本(冶炼专业13本,轧钢专业33本),共计65本(具体书名见书末的《钢铁厂技术培训参考丛书》书目)。

这套《丛书》所介绍的工艺、设备和管理知识,取材都比较新,反映了日本钢铁工业的技术水平和管理水平。这套书在编写时,对理论方面的知识,作了深入浅出的表达;对设备方面的知识,配有大量的结构图,简明易懂;对工艺方面的知识,给出了较多的操作工艺参数,具体明确。这套《丛书》的编写特点可以概括为:新、广、浅,即所介绍的知识比较新,所涉及的知识面比较广,内容的深度比较浅。

为了便于教和学,书的每章都附有练习题,概括了该章的主要内容;每本书的后面都附教学指导书,既有技术内容的补充深化和技术名词的解释,又有练习题的答案。

根据我们了解,日本对这套书的使用方法是:技术基础知识部分和专业概论部分是所有参加培训学员的共同课程;冶炼和轧钢专业知识部分是供专业教学用的。由此可以看出,日本的职工技术培训,主要强调的是扩大知识面。强调现代钢铁厂的工人,应该具有广博的科技知识。这一点,对我们今后制订技工学校和职工技术培训的教学计划,是会有参考意义的。

我们认为这套《丛书》不仅适合钢铁企业技工学校和工人技术培训作教学或自学参考书,也可作中等专业学校编写教材的参考书,其中的技术基础知识部分和专业概论部分也可作各级企业管理干部的技术培训或自学参考书。

在翻译和编辑过程中,对原书中与技术无关的部分内容我们作了删节。另外,对于原书中某些在我国尚无通用术语相对应的技术名词,我们有的作为新词引进了;有的虽然译成了中文,但可能不尽妥当,希望读者在使用过程中进一步研讨。

参加这套《丛书》翻译、审校工作的有上海宝山钢铁厂、东北工学院、鞍山钢铁公司、北京钢铁学院、武汉钢铁公司、冶金部情报研究总所等单位的有关同志。现借这套《丛书》出版的机会,向上述单位和参加工作的同志表示感谢。

整套《丛书》的书目较多,篇幅较大,而翻译、出版时间又较仓促,书中错误和不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

一九八〇年二月

序 言

厚板生产中有一项叫做热处理的工序。本书说明热处理在厚板生产中的必要性以及进行热处理的方法，叙述进行热处理的设备——热处理炉的概况，较详细地叙述一般通用热处理炉的操作与管理，还介绍了厚板热处理操作的实际情况。

学习本书时，最好先充分理解热处理理论，然后再去理解厚板热处理设备的构造、操作及其实际情况。

目 录

第1章 热处理原理 1	第3章 热处理作业及其实际情况34
1. 热处理的必要性..... 1	1. 热处理的作业工序.....34
2. 热处理的种类..... 1	2. 热处理条件的选择.....35
(1) 同素异形转变和铁-碳平衡状 态图..... 1	(1) 加热温度.....35
(2) 转变图..... 3	(2) 在炉时间.....36
(3) 正火..... 6	(3) 冷却时间(淬火速度).....36
(4) 淬火..... 7	3. 各种钢的热处理.....37
(5) 回火.....14	4. 热处理炉的运转操作.....38
(6) 退火.....15	(1) 钢板的装炉.....38
练习题.....17	(2) 钢板的移送方法.....38
第2章 热处理设备概况19	(3) 钢板的出炉.....39
1. 炉体.....19	5. 附属作业.....40
(1) 炉子种类.....19	(1) 粗喷丸作业.....40
(2) 热处理设备的主要组成.....22	(2) 热处理矫正作业.....40
2. 淬火设备.....29	(3) 钢板装卸作业.....40
(1) 淬火设备的种类与变化.....29	6. 作业管理.....40
(2) 供水设备.....30	(1) 热处理条件的管理.....41
3. 附属设备.....30	(2) 质量管理.....41
(1) 前后辊道.....30	(3) 单位耗损的管理.....42
(2) 喷丸设备.....31	(4) 设备、计量仪器的管理.....43
(3) 热处理矫直机.....32	7. 标准化.....43
练习题.....33	练习题.....43

教 学 指 导 书

第1章 热处理原理44	1-9 珠光体.....46
1. 学习目的.....44	(2) 转变图.....46
2. 归纳与术语解释.....44	1-10 等温转变图.....46
(1) 同素异形转变和铁-碳平衡状态图.....44	1-11 连续冷却转变图.....46
1-1 面心立方晶格.....44	1-12 索氏体.....47
1-2 体心立方晶格.....44	1-13 屈氏体.....47
1-3 同素异形体.....44	1-14 贝氏体.....47
1-4 同素异形转变.....44	1-15 马氏体.....48
1-5 铁-碳平衡状态图.....44	(3) 正火.....48
1-6 奥氏体.....45	(4) 淬火.....48
1-7 铁素体.....45	1-16 下临界冷却速度.....48
1-8 渗碳体.....46	1-17 上临界冷却速度.....48

1-18 特征温度	48	(4) 淬火设备的主要组成	52
1-19 淬火应力	48	(5) 附属设备	52
1-20 淬透性	49	2-1 炉壳	53
1-21 质量效应	49	2-2 耐火材料	53
1-22 临界硬度	49	2-3 喷嘴	54
1-23 临界直径	49	2-4 鼓风机	54
1-24 理想临界直径	49	2-5 辐射管	54
1-25 末端淬透性试验	49	2-6 热交换器	54
1-26 冷却能力	49	2-7 运送设备	54
(5) 回火	49	2-8 控制装置	54
1-27 正火回火	49	2-9 冷却设备	54
1-28 回火组织	49	2-10 供水设备	54
1-29 ϵ -碳化物	49	3. 练习题解答	55
1-30 回火脆性	49	第3章 热处理作业及其实际情况	56
(6) 退火	50	1. 学习目的	56
1-31 扩散退火	50	2. 归纳与术语解释	56
1-32 完全退火	50	3-1 热处理作业工序	56
1-33 低温退火	50	3-2 热处理条件的选择	56
1-34 等温退火	50	(1) 正火	56
1-35 球化退火	50	(2) 淬火	57
3. 练习题解答	50	(3) 回火	57
第2章 热处理设备概况	51	(4) 退火	57
1. 学习目的	51	3-3 热处理炉的运转操作	58
2. 归纳与术语解释	51	3-4 热处理条件的管理	58
(1) 炉子种类	51	3-5 质量管理	58
(2) 热处理炉的主要组成	51	3. 练习题解答	58
(3) 淬火设备的种类	52		
附:《钢铁厂技术培训参考丛书》书目	60		

第1章 热处理原理

1. 热处理的必要性

所谓钢的热处理，就是通过各种制度控制加热及冷却使成分扩散或者再结晶，阻止或促进转变或析出，把钢的性能调整为各种各样的处理方法。热处理多以提高强度、改善韧性为主要目的。

战后迅速发展起来的高强度钢，在抗拉强度从50公斤/毫米²级提高到60公斤/毫米²，进而提高到80公斤/毫米²、100公斤/毫米²的过程中，在作为高强度钢必须具备良好的焊接性能的要求下，想出了对厚板进行热处理的方法。这是因为，作为最初的步骤，调整化学成分虽然可以得到所要求的强度，但如要得到更高的强度，即使提高化学成分含量，在焊接性能方面也有限制，况且添加昂贵的合金元素在经济上也有问题，因此后来就采用了淬火→回火这种热处理方法。

另外，根据用途，调整轧制状态的晶粒，得到均匀的细晶粒以提高韧性为目的而进行正火；因焊接性能方面的问题，从降低表面硬度考虑也进行退火。在热处理中这些作业是不可缺少的组成部分。

根据上述可知，在厚板的生产过程中热处理是不可缺少的作业。下面试述厚板通用的热处理方法。

2. 热处理的种类

(1) 同素异形转变和铁-碳平衡状态图

如果从常温缓慢加热纯铁，则随着温度的上升，纯铁将产生热膨胀；当进一步加热到911°C时，如图1-1所示，纯铁将急骤收缩。之后，纯铁以比以前稍微陡峭的斜率继续膨胀，到1392°C时纯铁又急骤沿着911°C以下的曲线的延长线再次膨胀。

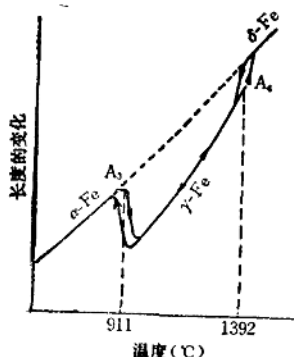
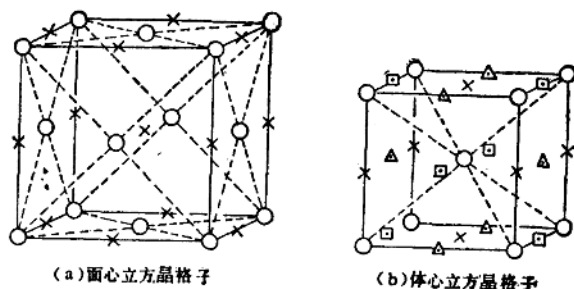


图 1-1 纯铁的加热曲线



○Fe原子，×△□ C原子可能占据的位置(实际占据其中一部分)

图 1-2 面心立方晶格和体心立方晶格的晶体结构

从图1-1还可知道，在911°C~1392°C温度范围内显示有与在其他温度范围不同的晶体结构。这是因为纯铁在911°C以上收缩，在1392°C以上又膨胀，因此在这个温度范围的晶体结构体积小。这个结构就是面心立方晶格（参见指导书1-1），叫做γ-Fe。在其他温度

范围，在911°C以下、1392°C以上范围的是体心立方晶格（参见指导书1-2）的晶体结构，分别叫做 α -Fe、 δ -Fe。图1-2中示出了面心立方与体心立方的晶体结构。这种晶体结构不同的相同物质叫作同素异形体（参见指导书1-3）；由于温度变化而产生 α -Fe $\rightleftharpoons\gamma$ -Fe，这样的转变叫作同素异形转变（参见指导书1-4）。如上所述，随温度变化而产生转变，表示在某温度下什么状态（相）为稳定状态（相）的这一类图就是状态图。所谓钢就是往纯铁里添加小于2.0%碳的合金，常使用的状态图就是铁—渗碳体平衡状态图（参见指导书1-5）。图1-3示出这种平衡状态图。在平衡状态图中，对热处理重要的部分是 γ -Fe以下的部分。 γ -Fe也叫做奥氏体（参见指导书1-6）。 γ -Fe $\rightleftharpoons\alpha$ -Fe的转变点叫做 A_3 点。 α -Fe被称之为铁素体（参见指导书1-7）。在723°C以下，图1-3的PQ线为碳的固溶线，只固溶极

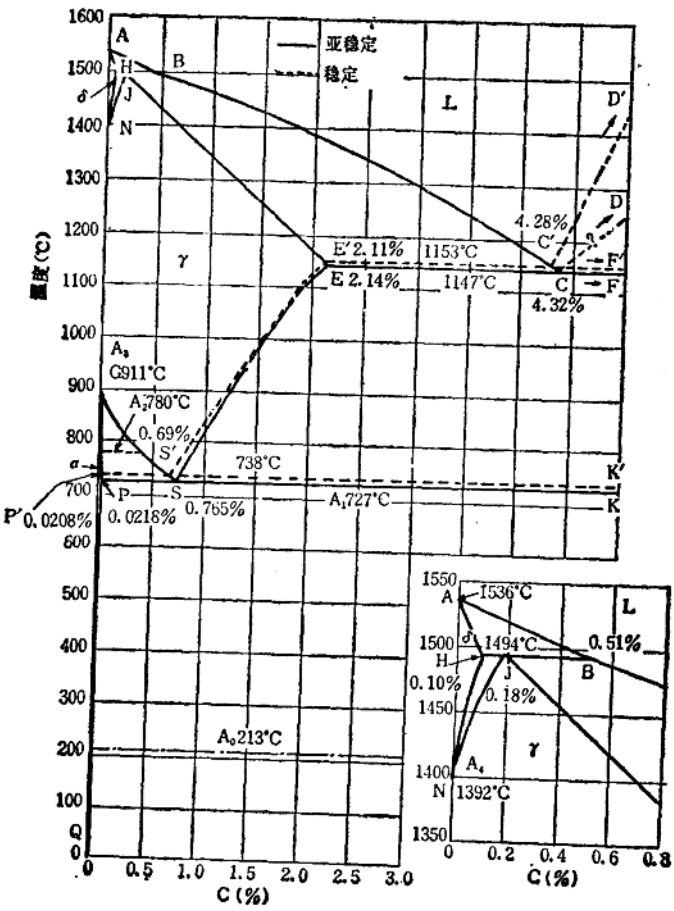


图 1-3 铁—渗碳体平衡状态图

图中主要点说明：

- A₁：纯铁凝固点；E： γ 固溶体中碳的最大溶解度；C₁：共晶点；G₁：纯铁的 A₃ 转变点；H₁： δ 固溶体中碳的最大溶解度；P₁： α 固溶体中碳的最大溶解度；N₁：纯铁的 A₄ 转变点；S₁：共晶点（A₁ 转变点）

微量的碳。其余的碳形成叫做渗碳体（参见指导书1-8）的化合物。在图1-3中在 C = 0.765%

点处从奥氏体中同时析出铁素体和渗碳体。这种转变称之为共析转变，这时的温度称之为 A_1 点。其组织是铁素体与渗碳体交替排列，叫做珠光体（参见指导书1-9）。比共析点（ $C=0.765\%$ ）含碳量低的钢叫做亚共析钢，比共析点含碳量高的钢叫做过共析钢。

转变需要一定的时间，因此加热时在较高温度下，冷却时在较低温度下都产生同素异形转变。这样，加热时加 c (chauffage)，冷却时加 r (refroidissement)，例如对 A_1 转变分别用 Ac_1 、 Ar_1 表示。

(2) 转变图

从奥氏体冷却时，除了根据(1)中所叙述的铁-碳平衡状态图所知的冷却后稳定相之外，还有一种表示急冷所得到的相的图。这就是转变图。转变图有等温转变曲线图（参见指导书1-10）及连续冷却转变曲线图（参见指导书1-11）两种。两者虽都以时间对数的刻度为横坐标，表示随时间的迁移而产生的相转变。在这一点上虽然相似，但其意义却全然不同。下面将简单说明这两种转变图。

a. 等温转变曲线图

把钢从奥氏体状态急冷到 A_1 转变点以下的各种温度，并在各该温度下保温，不久钢就开始转变，经过一定时间后转变结束。在横坐标上取时间对数刻度，按顺序分别连接转变开始点与转变终了点，所得曲线就是等温转变曲线图。这种图也叫做等温转变曲线 (Time-Temperature Transformation)，简称 TTT 曲线，由图可知，曲线呈 S 形，因此也叫 S 曲线。

图1-4所示为共析钢的等温转变曲线。在 A_1 点以下，随着等温度逐渐降低，曲线往时间短的一方靠近，在 550°C 附近时间最短，再往下曲线平稳地往时间长的方向移动，在 220°C 附近，奥氏体区域突然消失。这里把 550°C 附近的曲线靠近时间短的一方的这部分称之为“鼻子”，把 300°C 附近的曲线平稳地往时间长的方向移动的这部分称为“湾部”。

金属学指出， A_1 点正下面区域是一般的珠光体，靠近“鼻子”区域将出现细珠光体

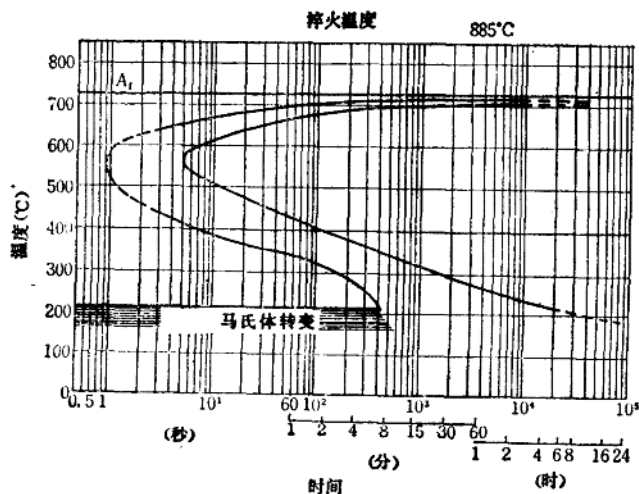


图 1-4 共析钢的等温转变曲线图

(索氏体, 参见指导书1-12; 屈氏体, 参见指导书1-13)。因此, 把“鼻子”以上的区域叫做珠光体阶段。

由“鼻子”往更低的温度一方下来, 将出现羽毛状或针状组织。这是在一般的冷却下不会出现的组织。在“鼻子”温度正下面的羽毛状组织叫做上贝氏体, 在“腰部”(等温转变曲线)附近的针状组织叫做下贝氏体。因此, 从“鼻子”以下到 220°C 附近的温度区域叫做贝氏体阶段(中间阶段)(参见指导书1-14)。

再往下到 220°C 附近时, 已经不需要过冷时间, 奥氏体直接转变为马氏体。因此, 这个温度以下的区域叫做马氏体阶段(参见指导书1-15)。

b. 连续冷却转变图

将钢从奥氏体状态以各种冷却速度冷却, 取时间对数刻度为横坐标, 把冷却曲线上的转变开始点与终止点分别按顺序连接起来, 所得曲线就是连续冷却转变曲线(Continuous Cooling Transformation diagram), 简称为CCT曲线。在 a 节叙述过的等温转变曲线中, 由于是在某一温度急冷后又保持一定时间后开始转变与结束转变, 这两点是平行时间轴的, 而在连续冷却转变曲线中, 转变开始与转变终止点却形成冷却曲线。

图1-5示出了共析钢的连续冷却转变曲线。图中所示的粗线 P_s 线、 P_f 线是连续冷却转变曲线。即以各种速度进行冷却时, 在冷却曲线与 P_s 线相交点处开始珠光体转变, 在与 P_f 线相交处结束珠光体转变。在此图中以比冷却曲线 (b) 快的速度冷却时, 珠光体转变就不

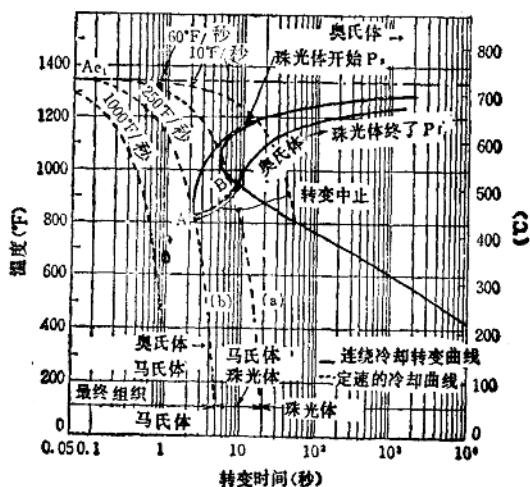


图 1-5 共析钢的连续冷却转变曲线图

产生, 而往马氏体转变。以介于 (b) 和 (a) 中间的冷却速度冷却时, 在与 P_s 线交点处产生珠光体转变之后, 在与 AB 线相交点处中止转变, 而在这种状态下过冷的残余奥氏体将产生马氏体转变。因此, 冷却曲线 (a) 是下临界冷却速度, (b) 是上临界冷却速度。

这个图是表示有关共析钢转变的最典型的转变曲线, 而一般在低碳钢中除了明显地出现贝氏体阶段之外, 还出现铁素体阶段, 因此就形成如图1-6所示那样的复杂的曲线。

c. 影响转变曲线图的各种因素的作用

对转变图有影响的因素，可举出合金元素、加热温度等。这里将只研究等温转变曲线。有关连续冷却曲线（其影响）也可认为大致是一样的。

说到合金元素，在钢中形成碳化物的元素，即Cr、Mo、V、W、Ti、Nb等，使珠光体阶段明显地往时间长的方向移动。但是，由于贝氏体阶段没有那样明显地移动，因此贝氏体阶段就显出往左突出的形态，其曲线如图1-7所示，呈二重S形状。还有像Ni、Mn、Co

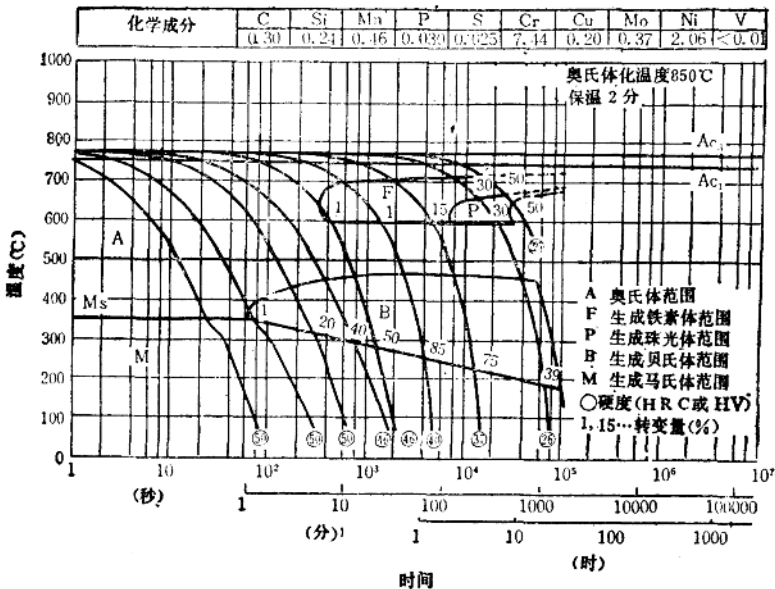


图 1-6 低碳钢的连续冷却转变曲线图

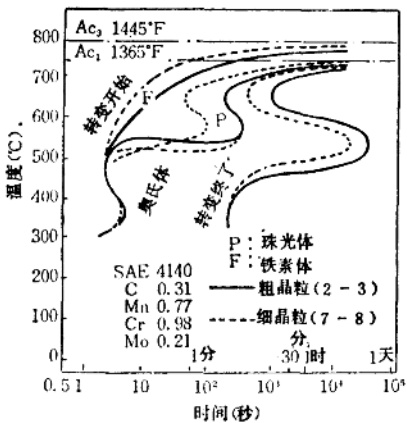


图 1-7 珠光体阶段向时间长的
一方移动的等温转变曲线

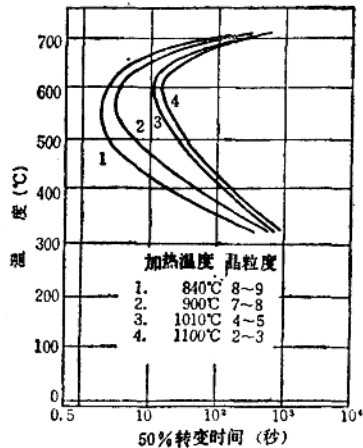


图 1-8 由加热温度引起的等温转变
曲线的移动

那样的形成奥氏体的元素可使奥氏体稳定，使奥氏体区域多少有点扩展，使整个曲线往右

移动，但不如前者那样明显。不管怎样，使曲线往右移动可使淬透性提高，因此可以把这些元素叫做提高淬透性元素。

如果加热温度变高，奥氏体晶粒就变粗，等温转变图的珠光体阶段就往时间长的一方移动。这是因为晶粒粗大使奥氏体晶粒间界变少，珠光体的形核率变小的缘故。图 1-8 示出了这种倾向。另外，加热温度高，淬透性就好，这是因为像 Mo、V、Nb 那样的强碳化物形成元素不到高温，即 1000°C 以上，就不固溶于奥氏体。因此，在那个温度以下，这些元素既以碳化物形式析出，其作用也就失去。

(3) 正火

a. 正火的目的及方法

进行正火的目的是细化晶粒，或者调整由于轧制加工而产生的不均匀的晶粒组织。有时根据情况，也有为消除内部应力而进行正火的。

正火的方法是将钢加热到 A_3 转变点以上的适当的温度，在奥氏体区域保温后，在大气中自然冷却。对亚共析钢温度是在 A_{c3} 以上，对过共析钢是在 A_{cm} 以上各 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 。

b. 正火的冶金意义

正火是一种从奥氏体单相区缓慢冷却的（热处理）方法，在冷却过程中，最初亚共析钢析出铁素体，过共析钢析出渗碳体。

这里试举一个亚共析钢的例子。当铁素体析出时，由于铁素体碳浓度低，奥氏体的碳浓度就增高。这是因为温度不同的新相析出并长大，使母相的碳浓度发生变化，碳的扩散成为重要的因素。像正火那样，当在大气中自然冷却时，由于冷却速度稍微变快，限于析出的时间没有富余，奥氏体被过冷。而过冷的奥氏体碳的过饱和度变大，这就使析出的驱动力增加，此外析出形核的临界自由能也下降，因此，奥氏体中到处析出小的核，通过扩散析出就进一步地进行。这样就可得到细晶粒，即正火组织。就组织而言，亚共析钢是铁素体 + 珠光体，过共析钢是珠光体 + 渗碳体。图 1-9 示出了正火组织一例。

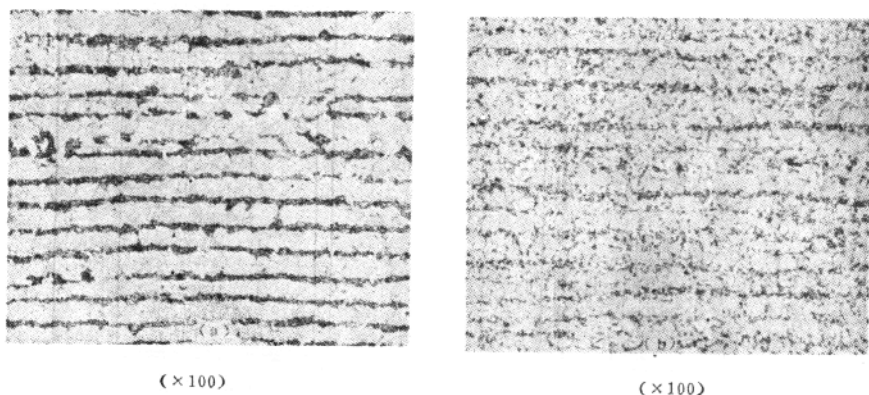


图 1-9 由于正火而引起的组织变化

(a) 轧制后；(b) $900^{\circ}\text{C} \times 1.5$ 小时正火后

c. 正火引起的机械性能变化

图1-10示出了因正火而引起的机械性能变化的有关数据。由于进行正火，屈服点与抗拉强度有所改善，延伸率与夏氏冲击值明显提高。但是，对以提高强度为目的、利用诸如Nb、V等析出强化元素而设计的钢板，轧制后弥散析出的强度相，由于正火而重新固溶、聚集，强度就下降。

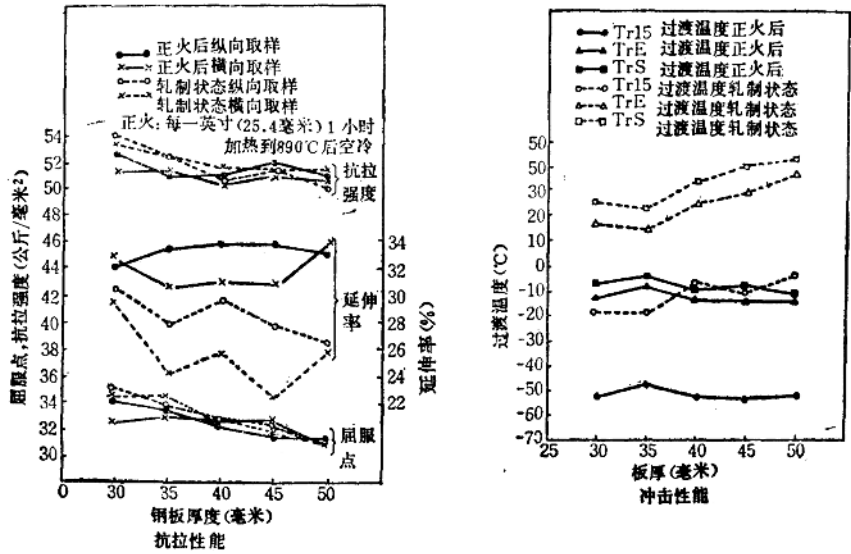


图 1-10 正火引起的机械性能的变化

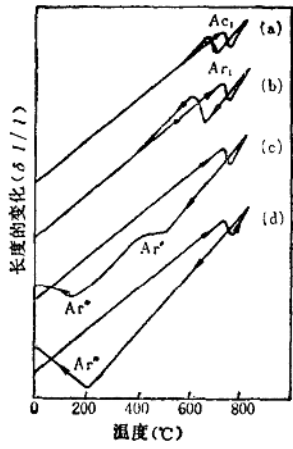


图 1-11 共析钢在各种冷却曲线上的过冷情况

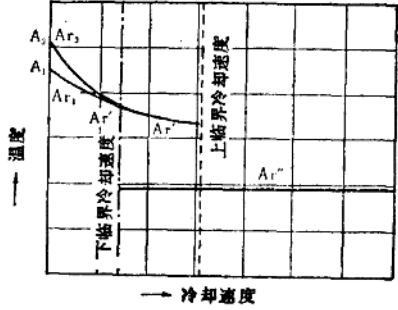


图 1-12 亚共析钢中转变点的过冷情况

(4) 淬火

a. 淬火的目及方法

淬火是为了使钢硬化，使强度增加而进行的一种热处理。其方法是将钢加热到 A_3 转

变点以上的奥氏体区域，保温以后，放入水、油等冷却剂里急速地冷却，使钢产生马氏体转变。

b. 马氏体转变

图1-11 示出共析钢在奥氏体区域加热后，以各种冷却速度冷却时， A_1 点被过冷的情况。图中冷却速度按 (a)、(b)、(c)、(d) 的顺序变快，按这样顺序被过冷的 A_1 点即 Ar_1 逐渐往低温一方移动。当 (b) 情况进而变为 (c) 情况的时候， A_1 点被过冷的钢一部分在 Ar'_1 产生转变，其余的被进一步过冷，在 200°C 附近发生伴有很大膨胀的转变 Ar'' 。待进一步变到 (d) 时，甚至 Ar'_1 转变也不产生，全部只是 Ar'' 转变。

图1-12 示出了亚共析钢转变点的过冷情况与冷却速度的关系。 A_3 、 A_1 转变点因冷却速度加快逐渐往低温一方移动；当冷却速度进一步加快时，就出现 Ar'' 转变点（参见指导书1-11）；当 Ar_3 靠近 Ar_1 点时就变成 Ar' 转变点（参见指导书1-11）。其后，随着冷却速度的增加， Ar'' 的转变量增加，当达到某一冷却速度时，最终只产生 Ar'' 转变。该图中，出现 Ar'' 转变点时的冷却速度叫做下临界冷却速度（参见指导书1-16）， Ar' 转变点已不出现的冷却速度叫做上临界冷却速度（参见指导书1-17）。这样，当转变点被过冷时， A_3 转变点就变低，而由 A_1 转变产生的珠光体层间距离变短。当更进一步被过冷至 Ar' 时，就变成称作索氏体、更细的称作屈氏体的细珠光体组织。

这里， Ar'' 转变与 Ar_3 或 Ar_1 转变有本质区别，这个转变叫做马氏体转变。 Ar'' 转变不受冷却速度所左右，而主要决定于钢的成分，在一定的温度开始，在极短的时间内结束。马氏体转变开始及转变终了温度分别称做 M_s 点、 M_f 点。

Ar'' 转变与 Ar_3 或者 Ar_1 转变的本质区别在于它是一种没有扩散相伴随的转变。由于奥氏体是面心立方晶格，马氏体是体心立方晶格，其转变机理是复杂的。但是如果用图象来研究，就可以用图1-13说明。图中示出奥氏体的面心立方晶格，若从粗线来看其晶格，虽然晶格边长不同，但也可视为体心立方晶格。因此，如果这个体心立方晶格的晶轴适当伸缩，就可得到马氏体。实际上，由于马氏体是奥氏体在某一特定方位生成的，图中所示变形虽不能当作转变机理，但作为马氏体的基本位移（原子最小位移 $\odot$ ）却很重要，这个位移称为贝氏位移。

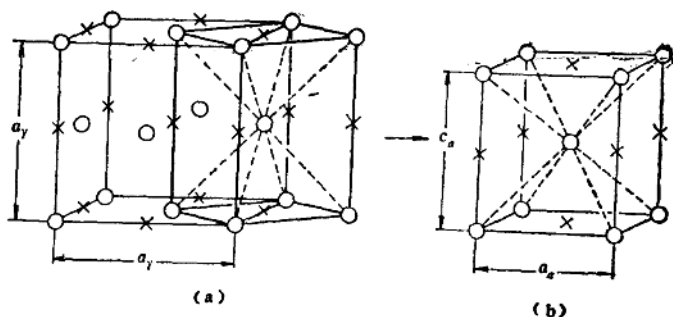


图 1-13 贝氏体转变图
○—Fe 原子，×—C 原子可以占据的位置

- ① 原书中为 Ar_1 ，疑为 Ar' 之误。——译者
② 译者所理解的解释，仅供参考。——译者

马氏体是碳过饱和的固溶状态组织，在常温下非常不稳定。图 1-14 所示为马氏体组织。

c. 淬火的冷却过程

将钢板淬火时，虽说钢板表面的温度梯度跟钢板表面温度与冷却剂温度之差成比例，但根据牛顿法则可以认为其冷却过程是单纯从表面往内部进行的。实际上，通过冷却剂冷却钢板的过程是由图1-15所示三个阶段构成的。

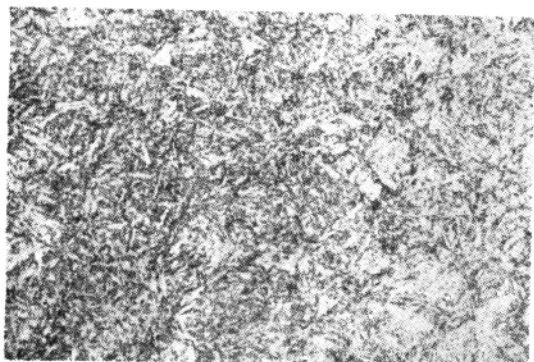


图 1-14 马氏体组织 (×400)

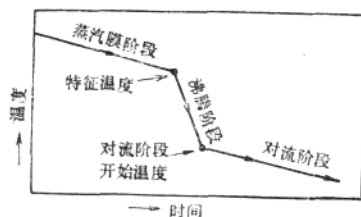


图 1-15 淬火时的冷却过程

(a) 蒸气膜阶段

蒸气膜阶段为冷却的初期阶段，钢板为冷却剂的蒸气膜所覆盖。由于冷却液不直接接触钢板，因此冷却以缓慢的速度进行。

(b) 沸腾阶段

覆盖在钢板上的蒸气膜被破坏并从钢板离去，在冷却液不断沸腾的同时冷却在进行。由于冷却液直接接触钢板，冷却速度很快。但是随着时间的过去，冷却水温不断地上升，冷却作用在减弱，进而过渡到下个阶段。

(c) 对流阶段

在冷却水内产生对流，在接触钢板表面的冷却水水温在被阻止上升的同时冷却在进行。这种冷却是在钢板温度变得比较低的阶段产生的，且冷却速度也慢。

经过上述各阶段冷却，蒸气膜阶段越短，沸腾阶段越快，冷却效果就越大。从蒸气膜阶段过渡到沸腾阶段的温度称为特征温度（参见指导书1-18）。特征温度越高，冷却速度就越快。

d. 淬火变形

淬火中重要的问题是由于淬火而引起的变形。由于冷却是从表面往内部进行的，钢材表面与内部之间冷却情况不一致，由此产生的内应力使钢材变形。可以认为内部应力有热应力（参见指导书1-19）及转变应力（参见指导书1-19）两种。

(a) 热应力

当从外部冷却钢材时，钢材表面和内部之间产生温差。热应力就是由于这种温度差而产生的应力。冷却过程中表面收缩，中心部位就受压缩，因而就产生图1-16所示的变形。

冷却后，中心部位产生拉应力，表面部位产生压应力而残留下来。急冷度越大加上冷却又不均匀，钢材的热传导率又小热应力就越大。

(b) 转变应力

如图1-11已示出的那样，马氏体转变发生时产生剧烈的膨胀。转变应力就是伴随马氏体转变的膨胀而产生的应力，图1-17示出了由这种转变应力而引起的变形。在冷却过程中，由于表面先达到 M_s 点，表面先产生大的膨胀。若急冷到 M_s 点以下的话，只有表面部位急剧进行马氏体转变，因此转变应力将更大。如上所述，由淬火而引起的变形多半起因于冷却方法。但对于厚钢板来说，主要是在冷却不均匀时产生的为多，关于这点下面将叙述。

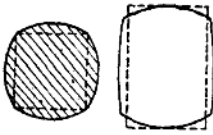


图 1-16 热应力引起的变形

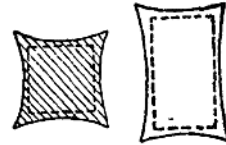


图 1-17 转变应力引起的变形

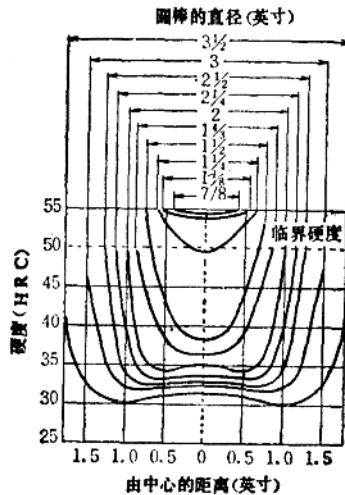


图 1-18 钢的断面硬度分布曲线●

e. 淬透性的评价

将钢淬火，就是使其马氏体化，这一点已在前面叙述过。由于所处理的钢板大小不同，还要考虑到没有充分淬透的情况。影响钢的淬透性（参见指导书 1-20）的因素可举出有钢的硬化能力、钢材的大小、冷却剂的冷却能力等。

(a) 钢的硬化能力的定量表示

甲、淬火硬化的标准

①原文图中 $1\frac{4}{3}$ 应改为 $1\frac{3}{4}$ 。——译者