

清华大学试用教材

金 属 学

下 册

清 华 大 学 机 械 系

1975.2.

金 属 学

(下册)

目 录

第六章 合金的固态相变.....	1
6—1 目的.....	1
6—2 鋼在加热时的转变.....	3
一、为什么要讨论这个问题.....	3
二、奥氏体形成的过程.....	3
三、奥氏体形成的速度.....	4
四、奥氏体晶粒的大小.....	9
五、思考讨论题.....	11
6—3 鋼在冷却时的转变.....	11
一、研究这个问题的重大意义.....	11
二、連續冷却时奥氏体的转变.....	12
三、过冷奥氏体的恒温转变.....	15
四、奥氏体連續冷却转变曲线与恒温转变曲线之间的关系.....	20
五、影响过冷奥氏体转变的因素.....	22
六、思考讨论题.....	25
6—4 鋼在冷却时各种组织的形成及其形态特征.....	26
一、珠光体的形成.....	26
二、初生鉄素体的析出.....	27
三、马氏体的形成.....	29
四、貝氏体的形成.....	37
五、思考讨论题.....	39
6—5 淬火鋼在回火时的转变.....	40
一、淬火鋼为什么还要回火.....	40
二、淬火鋼回火时组织、结构的变化.....	40
三、淬火鋼回火时机械性能的变化.....	43
四、淬火鋼回火时韧性的变化.....	45
五、思考讨论题.....	47
6—6 合金的时效.....	47
一、合金时效的基本情况及其重要意义.....	47
二、合金时效过程中组织、结构的变化.....	49

三、合金时效过程中性能的变化	51
四、硬铝的时效强化	53
五、工业纯铁和低碳钢的时效	54
六 思考讨论题	56
第七章 碳鋼及鑄鉄	57
7—1 碳鋼	57
一、碳及常存杂质的影响	56
二、普通碳素结构鋼	59
三、优质碳素结构鋼	63
四、专用碳素结构鋼	66
五、碳素工具鋼	67
六、思考讨论题	69
7—2 鑄鉄	70
一、鑄鉄的性能特点	70
二、鑄鉄组织的形成过程	71
三、影响鑄鉄组织的因素	73
四、常用鑄鉄	74
五、思考讨论题	78
第八章 鋼的热处理	79
8—1 目的	79
8—2 热处理工艺过程的基本要素	80
一、加热	80
二、保温	85
三、冷却	86
8—3 内应力	92
一、热应力	93
二、组织应力	93
三、残余内应力与磨损	94
四、残余内应力与疲劳强度	94
8—4 普通热处理	95
一、退火	95
二、正火	98
三、淬火	99
四、回火	103
五、单一处理	106
8—5 等温热处理	107
一、等温退火	107

二、分级淬火	108
三、贝氏体等温淬火	108
四、马氏体等温淬火	110
8—6 表面淬火	112
8—7 表面化学热处理	115
一、渗碳	115
二、氮化	121
三、氰化	123
四、表面渗金属	124
8—8 形变热处理	125
一、高温形变热处理	125
二、中温形变热处理	126
三、配登处理	127
附录一、常用钢的热处理规范	128
附录二、符号、名称对照表	139
附录三、金相图片	141

第六章 合金的固态相变

6-1 目 的

一、为什么要研究合金的固态相变？

常用锯钢料的手锯条，具有硬而脆的性能，硬才能锯断钢料，脆才能使其一弯即断，如将其加热后慢冷，就变成软而韧，再也锯不断钢料，反复弯曲也不断。性能发生如此巨大变化的原因在于钢在加热及冷却时发生了相变，从而改变了钢的内部组织结构。钢及其他工业合金在锻造、轧制、焊接、热处理等热加工过程中都会发生各式各样的相变，形成不同的组织，因而会反映出性能的变化。只有当我们了解了合金固态相变的规律，才可能建立正确的合理的加工处理工艺，有效地改进合金的性能。

二、研究那些合金的固态相变？

大多数工业合金中都具有各式各样的固态相变，如固溶体的同素异晶转变，固溶体的有序化转变，固溶体的共析转变，马氏体转变，过饱和固溶体的脱溶分解等等。本章讨论以下二种常见的固态相变：

（一）钢在加热及冷却时的转变：

钢是工业、国防、科学技术上应用极为广泛的重要材料，因此讨论钢的各种固态相变具有重大的实际意义。另外，具有与 Fe—C 合金相图相同类型的那些合金，其固态相变过程与钢极为相似，如航空工业，国防工业广泛应用的 Ti 基合金或 Cu 基合金等 [如图 6-1(a)(b)(c) 所示]。

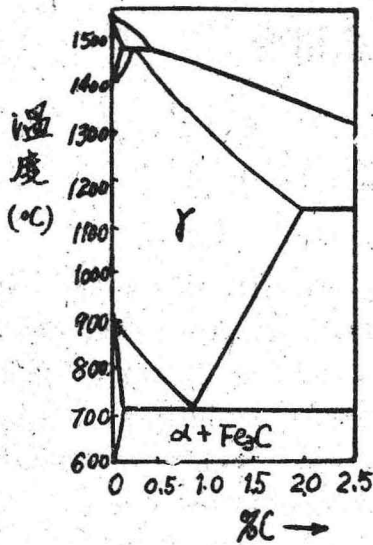
（二）铝合金过饱和固溶体的分解：

Al—Cu 合金 [如图 6-1(d)] 就具有这类相变。含 Cu 小于 5.7% 的合金，加热到 α 区，其组织为单相 α 固溶体，随后急冷使 θ 相来不及析出，而把高温 α 固溶体原封不动的保留下来，得到过饱和的 α 固溶体。随后，在一定条件下使过饱和 α 固溶体脱溶分解，引起弥散强化。

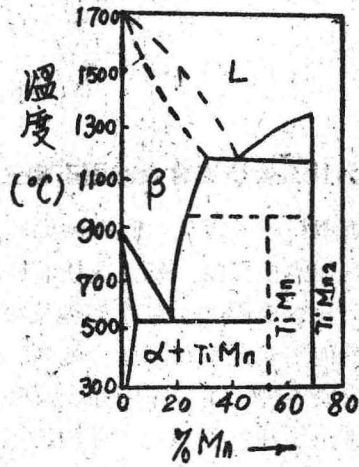
铝合金是航空工业中应用极为广泛的重要材料，因此研究它们相变过程的规律也是十分重要的。另外，某些具有与此相图相同类型的合金都具有这种相变过程，如铁基、镍基耐热合金，镍基精密电阻合金以及铜合金，镁合金等。

三、那些因素对固态相变发生影响？

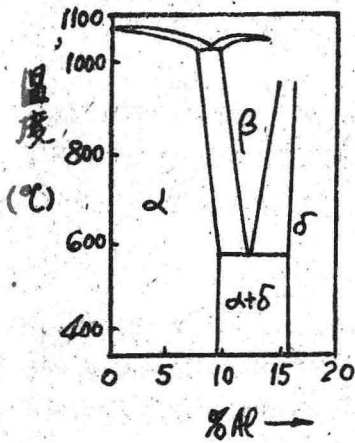
合金成份和温度对相变的影响，在合金相图一章中已详细地讨论过：如某成份合金在某温度下是什么状态或发生什么相变以及与性能的大致关系。但讨论上述这些问题的前提是平衡状态，即加热或冷却都是在十分缓慢条件下进行的。所以状态图没有时间概



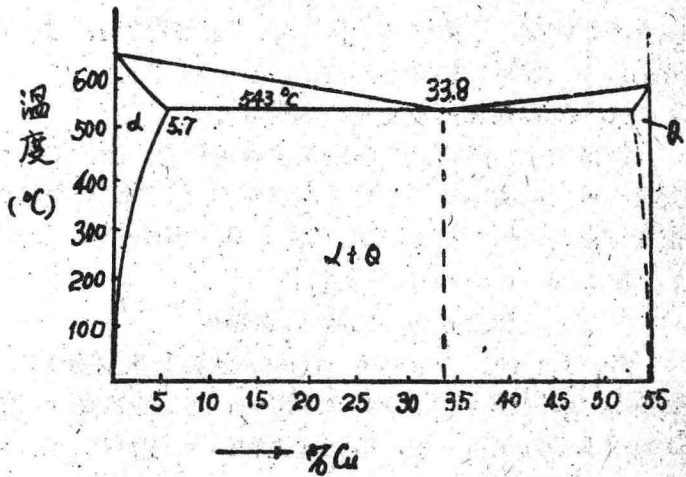
(a) Fe—C 合金相图



(b) Ti—Mn 合金相图



(c) Cu—Al 合金相图



(d) Al—Cu 合金相图

图 6—1 能够发生固态相变的典型二元合金相图

念，表示的是平衡组织。假如改变加热或冷却速度，破坏了平衡状态，改变了相变条件，就会得到各种不平衡的组织。随之就会有不同的性能。要说明这些问题，平衡状态图已不够用了。因之，影响固态相变的因素除合金成份及温度外还要加上时间因素。讨论相变主要是弄清上述因素对相变过程的影响，会形成那些组织以及性能变化等等。这也是合金热处理的原理。

6-2 钢在加热时的转变

一、为什么要讨论这个问题

钢的热处理在多数情况下都是首先把钢件加热到奥氏体区，使珠光体变成奥氏体，随后再以指定的速度冷却下来，获得由奥氏体转变来的所需要的组织结构，从而使钢件达到要求的性能。冷却后获得的组织结构，在很大程度上取决于加热时形成奥氏体组织的状态特性。

钢材焊接时，由于热的影响，钢材某区域被加热到奥氏体状态，这时形成奥氏体组织的特性也会影响冷却下来钢材的组织与性能。

钢材在锻造时，总是先加热到奥氏体区，这时形成奥氏体组织的特性也会影响锻造性能及冷却下来锻件的组织与性能。

总之，研究钢在加热时奥氏体是如何形成的，以及影响奥氏体组织特性的主要因素是非常重要的！

二、奥氏体形成的过程

(一) 共析钢加热时奥氏体形成的过程。

由铁碳状态图知道，共析钢中的珠光体加热到 A_1 温度以上，就会自发地转变成奥氏体，这是因为在此温度时奥氏体的自由能低于珠光体的自由能，即奥氏体状态比珠光体状态更稳定。

奥氏体形成过程也是生核、长大的过程，但由于转变前的组织为成份相差甚大的二相混合物（铁素体和渗碳体），因此这个生核及核长大过程有自己的特点。

1. 生核：

奥氏体的核心总是在渗碳体和铁素体的交界面上生成，如图 6-2 所示。这是因为交界面上碳的浓度起伏较大，在某些微观区域内碳量接近 0.8%，到 A_1 温度以上，变得很不稳定而转变成奥氏体，如这些区域达到一定的临界尺寸时，就成为奥氏体的晶核。

2. 长大：

在铁素体和渗碳体的异相界面上产生奥氏体晶核后，即出现了二个新的异相界面——奥氏体和铁素体的相界面以及奥氏体和渗碳体的相界面。奥氏体晶核通过这二个异相界面向原来的旧相推移而长大。为什么这二个新的异相界面会向二边推移呢？这要用浓度平衡的概念来说明。

由于奥氏体晶核的形成，建立了铁素体、渗碳体和奥氏体三者的浓度平衡关系，如图 6-3 所示。例如在 T_1 温度时，与铁素体接触的奥氏体浓度（含碳量）为 C_1 ，与渗碳体接触的奥氏体浓度为 C_2 ，二者浓度差称为浓度梯度。由于 C_2 大于 C_1 ，因此碳

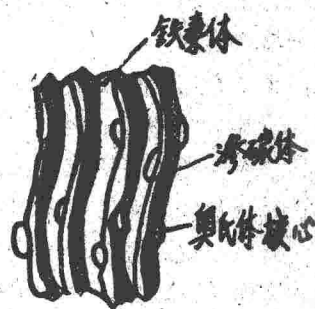


图 6-2 奥氏体形核示意图

原子就要由 C_2 向 C_1 方向扩散以减小浓度梯度。扩散的结果破坏了相界面的浓度平衡关系, 要维持原来的浓度平衡关系, 渗碳体就必须不断地溶入奥氏体中, 铁素体不断地转变成奥氏体, 结果就使得奥氏体晶核向二边长去。

3. 均匀化

奥氏体晶核向二边长大的速度并不相同, 向铁素体方向长大快得多, 因此在珠光体向奥氏体转变过程中总是铁素体比渗碳体消失得早些, 经过一段时间后渗碳体才最后消失。这是因为铁素体与奥氏体的碳浓度差比渗碳体与奥氏体的碳浓度差小得多。这就是说, 要维持碳浓度的平衡, 较少的渗碳体溶入奥氏体中, 就须要更多的铁素体转变成奥氏体。

当渗碳体全部溶解之后, 奥氏体各部分的碳含量是不均匀的, 原来是渗碳体的地方转变成奥氏体后, 碳含量就高些; 原来是铁素体的地方转变成奥氏体后, 碳含量就低些, 因此还要经过一段保温时间使奥氏体成份扩散均匀。这时, 珠光体转变成奥氏体的过程才告结束。

在热处理实际生产中会遇到这种情况, 当加热保温时间短时, 共析钢中会得到碳含量低于平均含量的奥氏体及未溶渗碳体, 如立即急冷淬火下来就可得到马氏体(由奥氏体转变成的不平衡组织)和未溶渗碳体, 甚至在亚共析钢中, 淬火后也可能得到马氏体和未溶渗碳体。

(二) 亚共析钢或过共析钢加热时奥氏体形成的过程:

亚共析钢加热前的组织除珠光体外还有初生铁素体, 当加热温度高于 A_1 而低于 A_3 时, 钢中珠光体转变成奥氏体而初生铁素体被部分地保留下来。温度继续升高, 被保留下来的铁素体逐渐转变成奥氏体。一直加热到 A_3 以上才全部转变成奥氏体。

当以很快的速度一下子就加热到 A_3 温度以上并等温保持时, 情况就不同了。首先是珠光体转变成奥氏体, 但珠光体中的渗碳体并没有全部溶入奥氏体。随保温时间的延长, 初生铁素体逐渐转变成奥氏体, 渗碳体逐渐溶入奥氏体中。直到初生铁素体完全转变成奥氏体后仍有残留的渗碳体。再继续延长保温时间, 渗碳体才最后溶入奥氏体中, 并进行奥氏体成份的均匀化。

过共析钢中奥氏体形成过程与亚共析钢相似, 当珠光体转变成奥氏体后, 除仍残留有珠光体中的渗碳体外, 还有二次渗碳体。当加热温度升高到 A_{cm} 以上并保温时, 这些未溶渗碳体逐渐溶入奥氏体中, 并进行奥氏体成份的均匀化。

三、奥氏体形成的速度

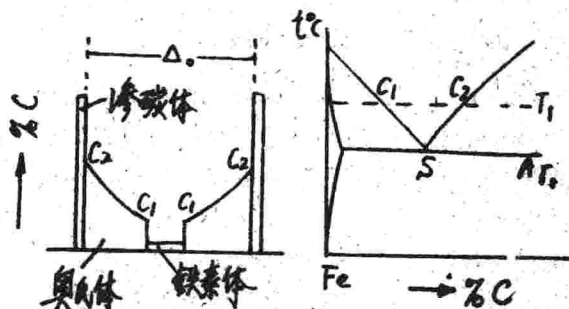


图 6-3 奥氏体形成时碳浓度分布示意图

(一) 讨论这个问题的意义:

在热处理和热加工过程中,多数情况要把钢件或钢坯加热到形成奥氏体的温度,但不能马上冷却下来或立即进行加工,而须要一定的保温时间。这个保温时间除了为了烧透钢件使内外温度一致外,还要保证转变过程的完成。例如用加热速度较小的加热炉加热钢件,为保证转变过程的完成,就须较长的保温时间,用加热速度很大的电感应加热法加热钢件,只须非常短暂的保温时间即可完成转变过程。这是因为加热速度对奥氏体形成温度有很大影响,从而使奥氏体形成速度有巨大的差别,可见讨论奥氏体形成速度及其影响因素有重大的实际意义。

(二) 共析钢的奥氏体等温形成曲线

上述分析指出:奥氏体形成是通过生核及核长大进行的,生核多,长大快,形成奥氏体速度就大。在讨论结晶过程时曾指出:过冷度对结晶过程的形核率及长大速度有十分巨大的影响。在讨论奥氏体形成时就要着重研究“过热度”对奥氏体形核率及长大速度的影响。先看一下下述实验。

1. 把共析钢样品非常迅速地分别加热到 A_1 以上不同温度,如 730°C , 745°C , 765°C , 800°C 等等。
2. 在每个温度上保持不同的时间,如 1 秒, 10 秒, 20 秒, ……等等,然后急冷淬火。
3. 测量上述样品中马氏体量。这个量就是不同温度加热,保温不同时间后形成的奥氏体量。

把上述的实验结果画在以时间和奥氏体形成量为座标的图表上,就得到了共析钢奥氏体等温形成动力学曲线,如图 6—4 所示。为了研究方便,常常把动力学曲线改画成奥氏体等温形成曲线,如图 6—5 所示。

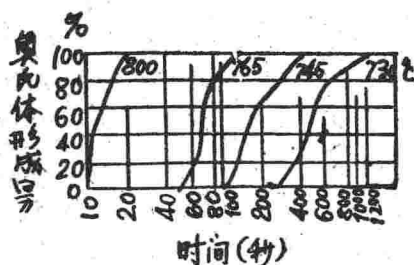
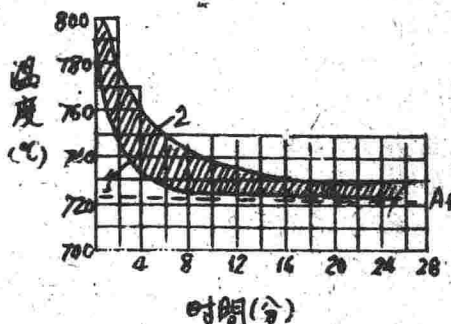


图 6—4 奥氏体形成动力学曲线



- 1——珠向奥转变开始
2——珠向奥转变结束

图 6—5 奥氏体等温形成曲线

实验结果表明:奥氏体形成温度(即过热度)对奥氏体形成过程的速度有很大影响,可归纳为:

1. 迅速加热到高于 A_1 温度的各个温度时, 转变并不立即开始, 例如: 加热到 730°C 时约经过 250 秒之后, 才开始形成奥氏体; 765°C 时约经过 50 秒之后才开始; 800°C 时约经过几秒之后就开始了。

转变前这一段时间被称为“孕育期”, 就是为转变做准备所需要的时间。奥氏体形成温度愈高则孕育期愈短, 这是因为新旧相的自由能差大, 扩散加速, 以致较容易地在短时间内获得形核时所需要的浓度起伏及能量起伏。

2. 奥氏体形成的速度在整个过程中是不同的, 开始时形成速度慢慢增加, 到奥氏体形成约达 50% 左右时速度为最大, 随后速度又开始减小, 直到转变完成为止。这是因为开始形成一批奥氏体核心后, 随时间延长, 这批核心继续长大, 同时又有一批新的晶核出现, 随着这二批晶核的继续长大, 又有新的晶核出现, 因此转变速度愈来愈大, 当奥氏体形成约达 50% 时, 有些奥氏体晶粒已长大到相互接触而停止长大, 因此转变速度开始减小, 直到全部转变成奥氏体。

3. 转变温度愈高, 即过热度愈大, 则完成转变所需时间愈短, 即转变速度愈大, 例如: 730°C 时转变所需时间约为 900 秒, 而 800°C 时仅须不到 20 秒, 即可完成转变。相差达 45 倍。这是因为随转变温度升高 N 和 G 都显著增加, 如表 6—1 所示。

表 6—1 过热度对奥氏体的形核率及长大速度的影响

转变温度 ($^{\circ}\text{C}$)	过 热 度 ($^{\circ}\text{C}$)	形核率 (N) 晶核数/毫米 ³ ·秒	长大速度 (G) 毫米/秒	转变一半所需时间 (秒)
740	17	2280	0.0005	100
760	37	11000	0.01	9
780	57	51500	0.026	3
800	77	616000	0.041	1

奥氏体形成后, 仍残留有珠光体中的渗碳体, 须经一段时间使其溶入奥氏体中, 随后经过均匀化得到均匀的奥氏体。如果把这二个过程也表示在奥氏体等温形成曲线上, 就如图 6—6 所示。

(三) 亚共析钢的奥氏体等温形成曲线

亚共析钢加热转变前为珠光体和初生铁素体, 如把初生铁素体转变成奥氏体的完成曲线, 在奥氏体等温形成曲线上表示出来即成为亚共析钢的奥氏体等温形成曲线, 如图 6—7 所示。

(四) 原始组织对奥氏体等温形成的影响

奥氏体的形核率及长大速度对组织具有敏感性, 因此原始组织不同它们会有很大的变化。原始组织的珠光体中渗碳体有二种存在形式, 即片状 (称为片状珠光体) 及粒状 (称为粒状珠光体)。当渗碳体以片状形式存在时, 奥氏体形成速度比粒状形式存在要大。这是因为片状珠光体的渗碳体与铁素体的交界面比粒状珠光体的大, 形成奥氏体晶

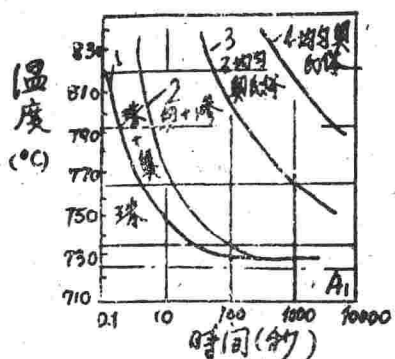


图 6—6 共析钢的奥氏体等温形成曲线

1. 开始形成奥氏体
2. 奥氏体形成结束
3. 渗碳体溶解结束
4. 形成均匀奥氏体

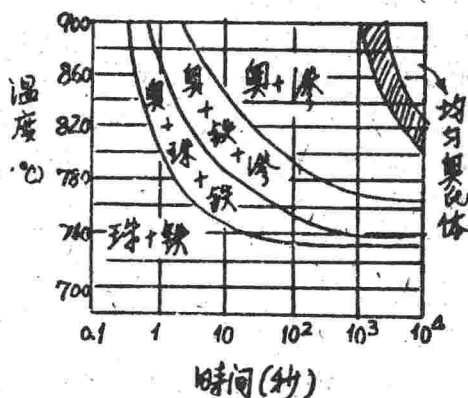


图 6—7 亚共析钢的奥氏体等温形成曲线

核的机会就多，因此转变加速。

原始组织珠光体中的渗碳体层片间距愈小，即分散度愈大，则渗碳体与铁素体的界面愈多，形成奥氏体晶核的机会就愈多。同时，由于渗碳体层片间距 (d_0) 减短，使 C_1 与 C_2 之间的浓度梯度增大 (参照图 6—3)，从而加速了碳原子的扩散，碳原子扩散加速的直接结果使奥氏体晶核长大速度增大。图 6—8 的实验结果就证明了这一点。

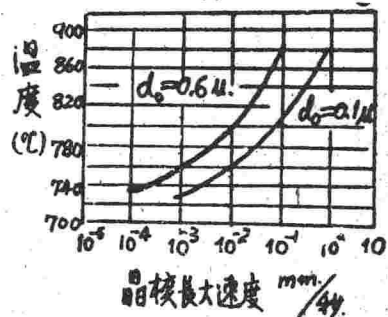
总之，分散度大的片状珠光体，在转变温度相同时，其转变速度比分散度小的粒状珠光体要大。

(五) 共析钢连续加热时的奥氏体形成曲线
上边讨论了奥氏体等温形成的规律性。在实际生产中，多数情况下，奥氏体是在连续加热过程中形成的，或即有连续加热时形成的部分也有等温形成的部分。因此有必要进一步研究在连续加热时奥氏体形成的规律性。

我们再来分析下述的实验：

1. 把共析钢样品以不同速度如 $10^\circ\text{C}/\text{秒}$ ， $60^\circ\text{C}/\text{秒}$ ， $160^\circ\text{C}/\text{秒}$ ， $350^\circ\text{C}/\text{秒}$ 分别加热到不同温度如 730°C ， 735°C ， 740°C ……等等。
2. 测量奥氏体形成的数量。

把实验中测得的数据画在以温度及时间为坐标的图上，如图 6—9 所示，称为连续加热时奥氏体形成曲线。这个曲线形状与奥氏体等温形成曲线相类似，它表示了那些规律性的东西呢？可归纳如下：

图 6—8 渗碳体层片间距 (d_0) 对长大速度的影响

1. 缓慢加热时，珠光体可在稍高于 A_1 温度时，基本上等温转变成奥氏体（接近于 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 系相图的相变情况）。随加热速度的增加，转变温度不断升高。这是因为加热速度大，原子扩散来不及进行，温度就升上去了，致使开始转变温度升高。另外，当加热速度增大到使钢件得到的热量大于奥氏体形成所需要的热量时，多余的热量就用来加热钢件，这样，在奥氏体形成的同时，钢件温度也在升高，即转变在一个温度范围内进行。

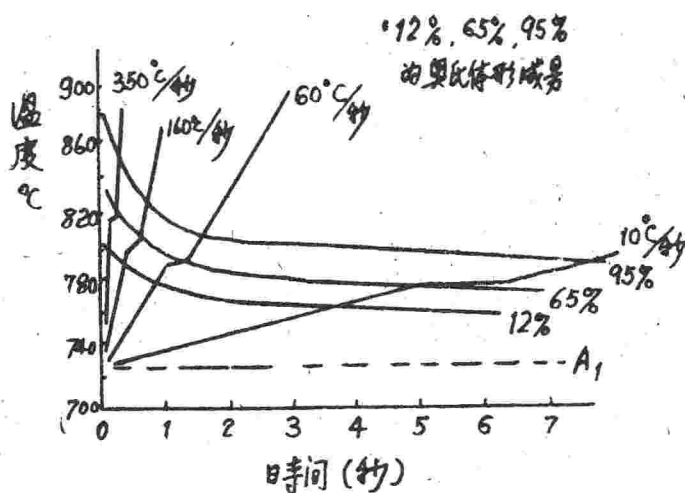


图 6—9 共析钢连续加热时的奥氏体形成曲线

2. 缓慢加热时，转变在略高于 A_1 温度进行，这个温度在生产上称为加热时的临界温度或临界点，以 A_{c1} 表示。当加热速度增大时，转变是在一个温度范围内进行，此时， A_{c1} 仅表示转变速度最大时的温度（如图 6—9 中加热曲线上出现台阶的温度），也就是说在低于 A_{c1} 温度时，转变已经开始，只是进行缓慢而已。图 6—9 表明：随加热速度的增大， A_{c1} 在升高。一般手册中给出的各种钢的 A_{c1} 数据，是在加热炉中缓慢加热条件下测得的，因此不适用于快速加热。

亚共析钢缓慢加热时，全部转变成奥氏体的临界点以 A_{c3} 表示，过共析钢以 A_{cm} 表示。

3. 缓慢加热时，转变要经较长时间才能完成。随加热速度增加，转变温度升高，过热度增大，使转变速度加大。例如以 $10^\circ\text{C}/\text{秒}$ 速度加热时，在升温过程中，经 6~7 秒钟转变完成，以 $160^\circ\text{C}/\text{秒}$ 速度加热时，转变在升温过程中不到一秒钟就完成了。这就表明：采用快速加热时，不必担心在很短时间内加热到所需温度而转变来不及进行。

4. 奥氏体形成后，仍须一段时间使未溶的渗碳体溶入奥氏体中及奥氏体成份均匀化。另外，钢的原始组织等影响与等温转变相同。

四、奥氏体晶粒的大小

(一) 研究这个问题的重要性

由 Fe—Fe₃C 系合金相图可以知道,奥氏体是在 A_1 温度以上才存在的高温相,室温使用的钢材一般情况下不存在奥氏体组织,那么,为什么还要讨论奥氏体晶粒大小呢?这是因为室温时钢的组织都是由奥氏体转变来的,因此奥氏体晶粒大小必然会影响到它的后代——冷却后得到的组织及性能。例如:

1. 高碳工具钢制造的刀具,加热过程中奥氏体晶粒长的很粗大,急冷淬火后得到的组织——马氏体也很粗大,这种粗大马氏体是脆性大的组织,致使刀具在使用时易崩刃。

2. 焊接过程中,靠近焊缝的母材被加热到很高温度,奥氏体晶粒长的很粗大,冷却后组织也很粗大,致使焊件的强度及韧性下降,因此对重要的钢结构焊接后要经过细化组织的热处理。

可见,奥氏体晶粒大小具有十分重要的实际意义,为此建立了奥氏体晶粒大小的等级标准——分成 8 级,1 级奥氏体晶粒为最粗,8 级为最细,以及测定奥氏体晶粒度的方法,作为钢材质量的鉴定指标。

(二) 奥氏体的各种晶粒度及其主要影响因素。

1. 初始晶粒度:

刚刚转变完成时的奥氏体晶粒度称为初始晶粒度。这种晶粒度大小取决于生核率 (N) 及长大速度 (G),而影响 N 及 G 的是转变温度或过热度。随过热度增大 N 及 G 都在增加,但 N 的增加比 G 快得多,如表 6—1 所示,当过热度由 17°C 增大到 77°C 时, N 增加 270 倍, G 增加 82 倍。这就表明:随过热度增大(即转变温度升高)初始奥氏体晶粒细化。因此生产中采用快速加热法,不仅可提高生产效率而且还能获得晶粒细小的奥氏体组织,冷却后获得细小的室温组织及优良的性能。

用普通的加热方法,初始奥氏体晶粒可细化到 8 级,即每个奥氏体晶粒平均直径约为 25 μ 。但如经过多次急热急冷法处理,由于反复相变都经历生核,长大的过程,因之可使奥氏体晶粒平均直径缩小到 10~5 μ ,甚至达 3 μ ,从而使钢材的强度,特别是韧性得到显著地提高。

但是,必须指出:这种在较高转变温度下得到的初始奥氏体晶粒是非常容易长大的,因此不能在此温度上做较长时间的停留,否则奥氏体晶粒会长得很粗大。

2. 本质晶粒度:

初始奥氏体晶粒形成后,再继续升温或在此温度上保持一段时间,由于晶粒小,界面多,总表面能高的原因,初始奥氏体晶粒要长大,以减少表面能。但发现钢种不同,奥氏体晶粒长大的快慢也不同。图 6—10 为二种钢,随加热温度升高奥氏体晶粒长大的情况,图中表明:在一定温度范围内,有的钢奥氏体晶粒长得快(称为本质粗晶粒钢),有的钢长得慢(称为本质细晶粒钢)。可见本质晶粒度是指在一定温度范围内奥

氏体晶粒长大的倾向，倾向大者为本质粗晶粒，小者为本质细晶粒。

为什么在加热时奥氏体晶粒长大的倾向不同呢？研究结果指出：钢中加入少量铝（每吨钢水约加 0.4~1 公斤铝）脱氧，即可使奥氏体晶粒长大倾向变小，成为本质细晶粒钢。因为钢中形成了超显微的 Al_2O_3 及 AlN 等质点，分布在奥氏体晶界上阻碍其长大。只有当加热到 $1000^\circ C$ 以上， Al_2O_3 和 AlN 等溶入奥氏体中，消除了阻碍作用之后，奥氏体晶粒才急剧长大。而不用铝脱氧的钢，晶界上没有阻碍其长大的质点存在，因此随着加热温度升高奥氏体晶粒迅速长大。同样，如钢中存在 Ti、V 等元素，由于能形成分布在奥氏体晶界上的稳定化合物，如 TiC 、 VC 或 TiN 、 VN 等，也可起阻碍奥氏体晶粒长大的作用。反之，钢中含碳量或含锰量高时都易使奥氏体晶粒长大，其原因还没有彻底搞清。

如何评定钢的本质晶粒度？先加热到本质细晶粒钢的奥氏体晶粒尚未开始长大，而本质粗晶粒钢的奥氏体晶粒已强烈长大的温度，一般为 $930-950^\circ C$ 。然后设法测定此时的奥氏体晶粒度。晶粒度 1—4 级者为本质粗晶粒，5—8 级者为本质细晶粒。

3. 实际晶粒度：

钢在具体的热处理或热加工条件下，实际得到的奥氏体晶粒大小为奥氏体的实际晶粒度。它是直接影响钢的性能的。

在一般的热处理条件下，加热温度不超过 $950^\circ C$ ，这时本质晶粒度与实际晶粒度是一致的，也就是说：将本质细晶粒钢进行各种热处理后得到的奥氏体实际晶粒度一定是细小的。反之，高碳含 Mn 的本质粗晶粒钢，经较高温度（不超过 $950^\circ C$ ）热处理后，奥氏体实际晶粒会长得很粗大。

加热温度超过 $1100^\circ C$ 时，如焊接时的过热区温度及热加工的温度，这时本质晶粒度与实际晶粒度并不一致，甚至相反。也就是说：在 $1100^\circ C$ 以上加热时本质细晶粒钢的奥氏体晶粒也会迅速地长大，结果本质细晶粒钢与本质粗晶粒钢的奥氏体实际晶粒度相差不大，甚至本质粗晶粒钢的奥氏体实际晶粒更细些。

总之，钢的本质晶粒度可以告诉我们：在不同的加热规范条件下，奥氏体晶粒长大的倾向。

（三）钢在加热时的过热及过烧

在较高温度加热时，钢的奥氏体实际晶粒长得很粗大，以致明显地使室温性能变坏

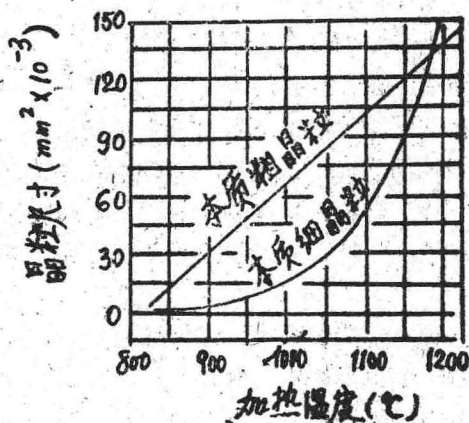


图 6—10 随加热温度升高奥氏体晶粒的长大

的现象称为过热。照片 6—1* 为 0.4%C 鋼经 1100°C 加热再空冷后的过热组织。这种粗大的过热组织会使韧性显著下降,因之在生产上是不允许的。如鋼材已发生过热,可以通过重新加热到略高于 A_{c_3} 温度空冷来细化。因为在重新形成奥氏体时,晶核在铁素体和渗碳体界面上形成,这种界面数量很大,形成奥氏体核心甚多,所以奥氏体晶粒被细化,冷却时再一次相变,进一步细化。照片 6—2 为过热组织经相变重结晶而细化。

加热温度非常高,以致使奥氏体晶界发生氧化或局部熔化的现象称为过烧。照片 6—3 为低碳 MnMo 鋼鍛造加热时形成的过烧组织,晶界上分布着网状氧化物。照片 6—4 为高速鋼淬火加热温度过高,使晶界局部熔化,产生莱氏体低熔点共晶组织。过烧的鋼件无法补救只有报废。

五、思考讨论题:

1. 试举出些现象,来说明鋼中或合金中发生了固态相变?
2. 什么是奥氏体初始晶粒度?奥氏体本质晶粒度?奥氏体实际晶粒度?它们之间有什么联系?有什么区别?
3. 如何获得均匀细小的奥氏体实际晶粒?
4. 具有非常粗大珠光体和铁素体的中碳鋼,用什么方法可使其组织细化?为什么?
5. 用二种大小相差甚大的速度加热鋼件,它们的奥氏体形成温度,形成速度及初始晶粒度有何不同?
6. A_1 , A_{c_1} 有何区别?那些因素影响 A_{c_1} ?

6-3 钢在冷却时的转变

一、研究这个问题的重大意义

鋼加热后,以不同速度冷却下来,在性能上会表现出非常大的差别。这正是能够对鋼进行热处理以改善性能的依据。

我们先做几个简单的实验:

把二块含碳为 0.8% 的共析鋼加热到 780°C,保温一定时间后,得到成分均匀的奥氏体。一块放在水中快冷,一块随炉慢冷,测二者的硬度,发现相差甚大。随炉冷者布氏硬度 $HB=180$, 水中冷却者 $HB=620$ 。显微镜观察组织指出:随炉冷者为接近平衡状态的珠光体,即层片状组织。而水中冷却者组织为竹叶状,称为马氏体。这个实验说明冷却速度对鋼组织、性能的影响是非常巨大的。

另外,某些鋼的鍛件,鍛造后须要放在坑中用白灰埋起来,以使其缓慢冷却(称为灰冷)。这是为什么呢?有的同志可能回答出来:“如不用灰冷而放在空气中冷却,以后切削加工就困难。”这个回答是对的,但这又是为什么呢?

根据上述这些生产中经常出现的现象,人们用各种方法做了大量的实验研究工作。找出了它们之间的一些规律性东西。下面介绍鋼加热后,在冷却时所发生的一系列组织、

*所有金相图片见附录三。

性能的变化。

二、连续冷却时奥氏体的转变

(一) 冷速对共析钢转变过程的影响

共析钢加热到奥氏体状态后，缓慢冷却时，在稍低于 A_1 温度，转变成珠光体（参阅照片 6—5 到照片 6—10），与 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 系相图基本相符。如增大冷速，得到的组织与 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 系相图所指示的不同，性能就随之发生变化。

图 6—11 为加热到奥氏体状态的共析钢，以不同速度冷却时，得到的不同组织。缓慢冷却时得到的粗层片状珠光体；空气中冷却时得到的细层片状珠光体（又称为索氏体）；油中冷却时得到的极细层片状珠光体（又称为托氏体），呈黑色结瘤状分布在晶界上，（参阅照片 6—26）和呈竹叶状的过饱和固溶体称为马氏体；水中冷却时得到全部马氏体（参阅照片 6—40）。

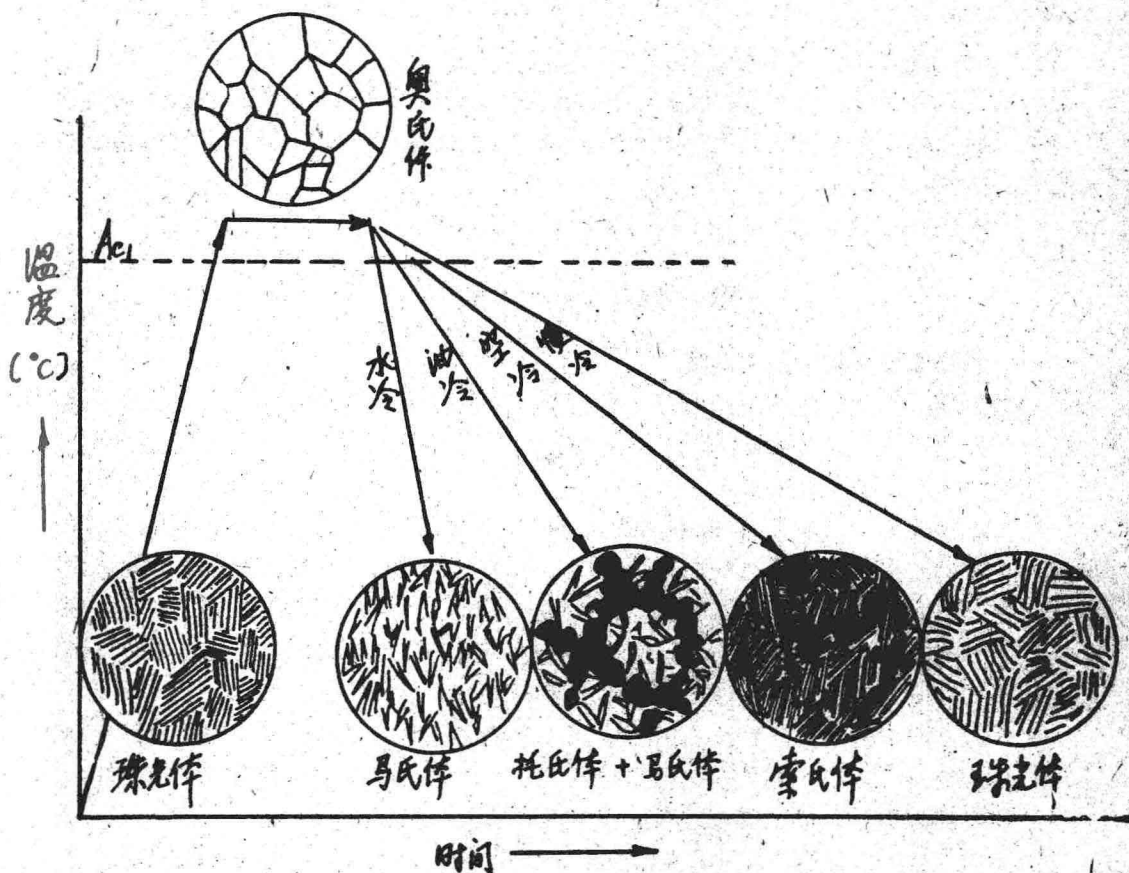


图 6—11 冷却速度对奥氏体转变产物的影响

冷却速度不仅对冷却后得到的转变产物的组织形态有影响，如珠光体层片的粗细，

而且还会发生根本不同的组织转变，例如出现马氏体。不同的产物就有不同的性能。图 6—12 说明共析钢奥氏体在不同冷速下的转变情况。由图上可以看到，有二个不同产物的转变温度区。高温的一个是在冷却速度小时 ($<V_2$) 发生的，这是发生珠光体转变。随冷速增加，转变温度逐渐下降，硬度值渐增，（反映转变温度愈低，珠光体层片愈细）。但当冷速超过 V_1 ，就会出现另一种低温转变产物，即马氏体，马氏体的转变开始温度 M_s 不随冷速变化。其硬度值要比珠光体类型的大得多。冷速在 V_1 和 V_2 之间，这二种转变都可发生，也就是部分奥氏体在高温形成珠光体，还有部分奥氏体保留到低温转变成马氏体。在 V_1, V_2 之间，马氏体量及硬度值随冷速增加而增加。

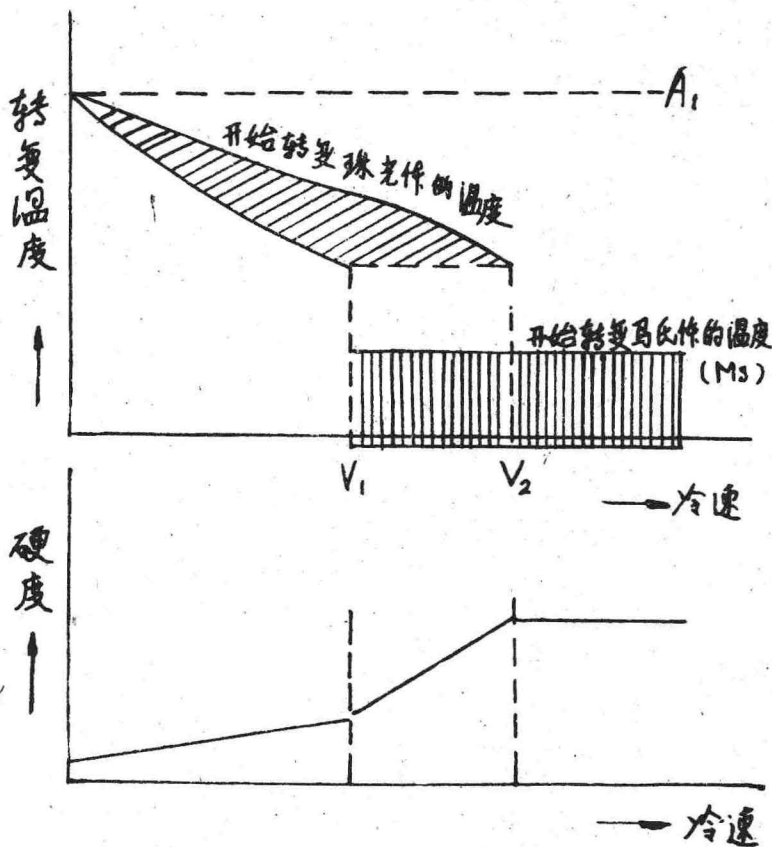


图 6—12 冷速对转变温度及硬度的影响

(二) 共析钢的奥氏体连续冷却转变曲线

通过实验办法，可以求出连续冷却时，经过多少冷却时间，在什么温度上转变开始了，随着温度的下降及时间的延长转变量增加了多少，又经过了多少时间，到什么温度转变结束了。

把每种冷速时转变开始的温度及时间，转变结束的温度及时间的数据划在以温度与