

钢的等温热处理

刘云旭 编著

机械工业出版社



76.4
855

钢的等温热处理

刘云旭 编著



机械工业出版社

1103360

2576/22

本书较全面而系统地叙述了钢的分级淬火、等温淬火和等温退火的基本原理和方法，并介绍了等温热处理用的冷却介质和设备。书中举有很多实例，内容比较实用。可供从事这方面工作的技术人员和熟练工人阅读，也适宜于各类学校热处理专业学生学习参考之用。

钢的等温热处理

刘云旭 编著

(根据中国工业出版社纸型重印)

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可証出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $5 \frac{6}{16}$ · 插页 3 字数 184 千字

1966 年 3 月北京新一版 · 1973 年 4 月北京第二次印刷

印数 6,101—42,100 · 定价 0.57 元

(1964 年 1 月北京第一版)

*

统一书号: 15033 · 3615

目 录

绪言	1
一、钢的组织与性能	5
1 钢的相变	5
2 奥氏体转变产物的性能	13
3 奥氏体等温转变曲线	17
二、钢的分级淬火	24
1 分级淬火的操作方法	24
2 分级淬火的操作举例	29
3 分级淬火的应用范围	54
三、钢的等温淬火	57
1 等温淬火的操作方法	58
2 等温淬火的操作举例	64
3 等温淬火的应用范围	82
四、钢的等温退火	85
1 等温退火的操作方法	85
2 等温退火的操作举例	88
3 等温退火的应用范围	103
五、分级淬火及等温淬火所用的冷却介质	105
1 分级淬火及等温淬火冷却介质的性能	106
2 冷却介质的使用	112
3 影响工件在热浴中冷却速度的因素	114
4 钢的等温处理兼行发蓝处理	124
六、钢经等温处理后的机械性能	129
1 结构钢等温处理后的机械性能	129

IV

2 工具钢等温处理后的机械性能	148
七、工件等温处理用的设备	153
附录	172
参考文献	174

绪 言

热处理在机器制造业中所以能得到广泛应用，主要是因为热处理能够在很大范围内改变钢铁材料的性能。

在工业上，用来改善钢件性能的热处理方法，最常用的是淬火和相应的回火处理等。

淬火，就是将钢加热到临界温度(A_1 或 A_3) 以上，并保持一定的时间，使其奥氏体化之后，以大于临界淬火速度的冷却速度急剧冷却，而获得马氏体组织的操作过程。钢经淬火之后，一般都具有高的硬度、强度和耐磨性能。

淬火后的工件，通常都残留有较大的内应力，又因为马氏体本身一般具有较大的脆性，所以工件经淬火之后，通常都要进行回火处理。

回火，就是将经淬火后的工件，加热到临界点 (A_1) 以下的温度而后冷却的操作过程。钢经回火之后，可以消除应力、稳定尺寸以及使工件获得所需要的组织和性能。

加热后的工件，在冷却过程中，由于表面与中心以及厚的部分与薄的部分冷却快慢不同，结果造成了表面与中心的温度差以及厚薄部分之间的温度差，致使产生了内应力。这种应力就是所谓热应力。此外，工件在冷却过程中，奥氏体的转变并非同时发生(冷得快的先转变，冷得慢的后转变)，或者，在工件各处产生比容不同的组织转变(冷得快的转变为比容大的马氏体，冷得慢的可能转变为比容较小的屈氏体或索氏体)，结果由于组织转变先后以及转变产物的类型不同而造成了体积差，以致引起了内应力，这种应力即所谓组织

1103360

应力。冷却速度愈快，所产生的热应力及组织应力也愈大，实际上工件承受着这两种应力的综合作用。

由于工件在淬火时，一般都需要较大的冷却速度，因而使工件产生了较大的内应力。这种应力，有使工件发生变形甚至开裂的危险，对于形状复杂、厚薄不均的工件，其危险性更大。

为了保证工件既能淬硬又能避免变形、开裂等疵病的发生，故在淬火时通常皆采用在临界区域（珠光体或贝氏体转变区域）内快冷（保证淬硬），而在危险区域（马氏体转变区域）内慢冷（减小应力）的冷却方法。就是在避免过冷奥氏体发生珠光体和贝氏体转变的情况下，应该尽可能的进行缓慢冷却，理想的冷却情况如图 1 所示。

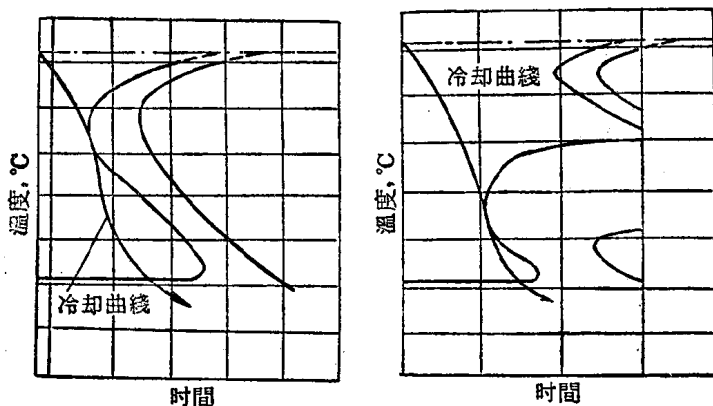


图 1 不同钢材理想的临界冷却情况示意图

此外，在淬火时，应该力求工件冷却均匀。在可能的条件下，尽量采用冷却比较温和的淬火介质，以减小工件各部分的温度差。赤热圆柱形工件，在各种冷却介质中，在不同

的时间内表面与心部温度变化的情况，如图 2 所示。

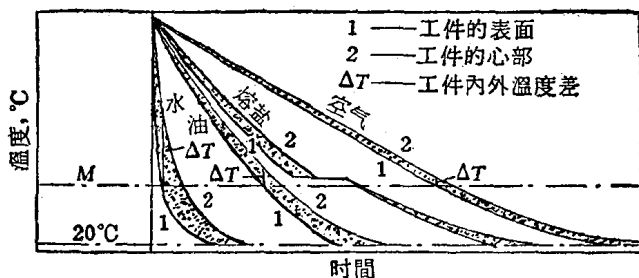


图 2 圆柱形工件在各种冷却介质中内外层的温度变化情况示意图^{〔1〕}

在实际生产中，虽然对上述问题给予了足够的重视，但工件因淬火而产生的变形、开裂现象仍然不能杜绝，常常会出现大量的返修品或废品，而造成材料和工时的巨大浪费。

因此，防止工件在淬火过程中发生变形、开裂的问题，已成为热处理工艺中非常关键的问题之一。

使用分级淬火代替普通淬火，等温淬火代替淬火-低温回火或淬火-中温回火，就是解决上述问题的重要措施之一。同时，等温处理的方法也较普通淬火或淬火-回火处理的方法容易控制，被处理工件的质量也比较稳定。此外，根据近年来的许多研究表明，钢经等温热处理之后，也具有较高的机械性能。

合金钢在锻造之后，都需要进行退火处理，以降低硬度和改善组织。通常，如果使用普通退火的方法进行处理，往往很难将硬度降低或处理过程的时间需要很长。如果采用等温退火的方法进行处理，常常很容易将钢的硬度降低，而且可以大大地缩短生产周期。

分级淬火、等温淬火和等温退火，统称为等温热处理，这是一种优良的热处理方法，是解决工件热处理关键问题——变形和开裂的有效方法。这种方法，由于具有卓越的优点，目前不仅在工具钢和调质钢中得到了广泛的应用，而且已经扩展到了渗碳钢和氰化钢。

一、钢的组织与性能

钢的性能，主要决定于它的化学成分和组织结构状态，其中尤其是显微组织与机械性能更是密切相关。热处理的主要目的，就是要改变钢的组织，以改变其机械性能和工艺性能。

钢在室温下的显微组织，主要决定于它从高温冷却到室温的过程中所发生相变的类型和转变的温度范围。

钢的组织，通常都是由铁素体、渗碳体(碳化物)、马氏体、奥氏体四个相中的两个相或更多的相混合组成。在了解钢的组织与性能的关系的同时，应该了解钢中的相变。

1 钢 的 相 变

钢加热到临界温度(A_1 或 A_3)以上，保温一定时间之后，将转变为奥氏体，其显微组织如图 3 所示。

奥氏体是碳及合金元素溶于面心立方晶格 γ -铁中的固溶体，碳原子处在铁原子的间隙之中，呈“填隙”状态，合金元素则取代铁原子处在晶格的结点之上，而呈“置代”状态。

钢中的奥氏体是高温存在相，只有当钢中含有一定数量的某种合金元素（譬如镍、铬镍等）时，才可能在室温下存在。

奥氏体一般都具有高的塑性、低的硬度和低的强度。含有某种合金元素的奥氏体，还具有特殊的物理、化学性能，如耐磨、不锈等。

在一般情况之下，奥氏体的性能对于工件热处理后的性

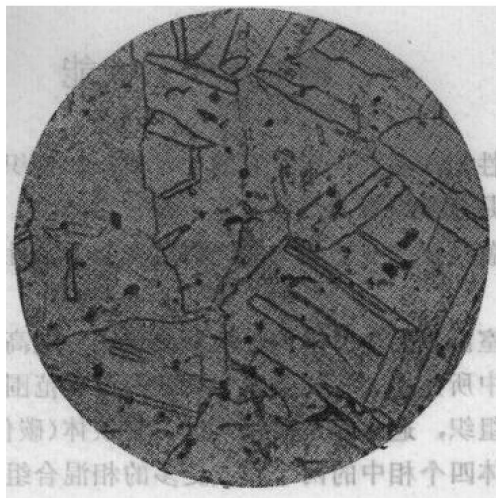


图3 奥氏体的显微组织 $\times 500$

能影响很小。工件的性能，主要决定于奥氏体在冷却时的转变产物。应该指出：奥氏体的成分、均匀度和晶粒大小，对于钢在冷却时转变产物的类型、性能也有一定的影响。

奥氏体在不同的冷却情况下，可以得到不同的转变产物，而这些不同的转变产物，又各具有不同的性能。所以，如能够控制奥氏体在冷却时转变所得到的产物，则在很大程度上可以说是掌握了热处理工艺。

实验得出，钢在冷却时，使奥氏体在不同的温度下发生转变，所得到的显微组织也可能不同。所以，研究奥氏体在不同温度下的转变情况，是热处理原理的最重要内容之一。

奥氏体在临界温度（ A_1 ）以下的转变情况，基本上有下述三种类型，其转变温度范围如图4所示。

1. 珠光体型转变 转变发生在 $450\sim 723^{\circ}\text{C}$ 之间，这种转

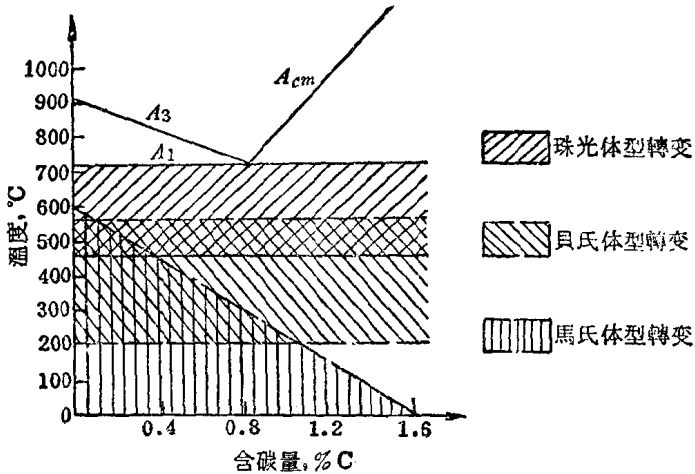


图4 奥氏体转变产物与温度及含碳量的关系示意图

变的主要特征是由于转变在较高温度进行,故具有扩散性质。在转变过程中,碳原子能进行扩散,合金元素以及铁原子也能进行扩散。与奥氏体相较,在转变完成之后,碳及合金元素[●]一般皆进行了重新分布,也就是进行了再结晶。这种转变的方式也称为 $A_{r'}$ 转变。其转变产物是珠光体、索氏体、屈氏体或者是珠光体+铁素体、珠光体+渗碳体。

珠光体是一种由含碳量很低($<0.02\%$)的铁素体和含碳量很高(6.67%)的渗碳体所组成的机械混合物。在一般情况下,铁素体和渗碳体呈片状(或层状)存在,如图5所示。有时也具有球状(粒状)的组织,渗碳体以颗粒状分布于铁素体基体之中,如图6所示。

当转变温度降低,过冷度较大时,珠光体的层间距离减

● 在某些情况下,钢中发生珠光体型的转变之后,合金元素不进行重新分布。

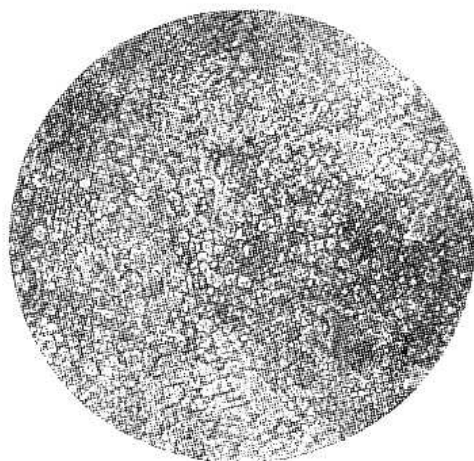


图 5 层状珠光体的组织 $\times 400$

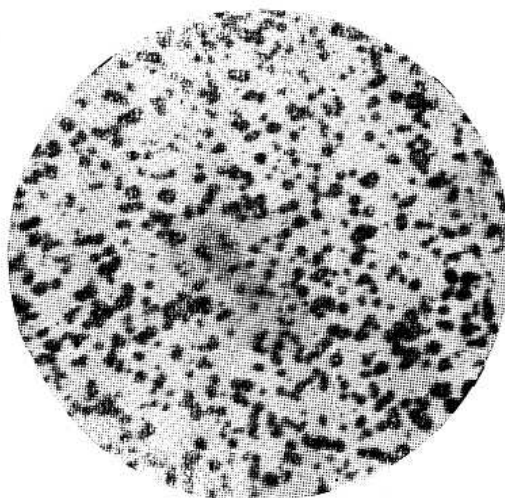


图 6 球状珠光体的组织 $\times 400$

小，组织分散度增大，形成了较细的珠光体，一般称为索氏体。转变温度更低（相当于奥氏体等温转变曲线的珠光体鼻子部分，参阅第17页“奥氏体等温转变曲线”），形成的组织分散度更大，在金相显微镜下几乎分辨不出铁素体和渗碳体，所形成的极细的珠光体，普通称为屈氏体，但它们的转变特征与珠光体完全相同。

奥氏体在珠光体型转变区域内进行等温保持时，需要经过一定的时间（孕育期）之后，才开始发生转变，而后，则随着等温保持时间的延长，其转变量逐渐增多，直至转变完成。

对于含碳量较低的亚共析钢，在珠光体形成之前，常常先从奥氏体中析出自由铁素体，转变结束之后，其显微组织为珠光体+铁素体。同理，对于含碳量较高的过共析钢，在珠光体形成之前，常常先从奥氏体中析出自由渗碳体，转变结束之后，其显微组织为珠光体+渗碳体。

珠光体型的转变，可以在等温保持的过程中发生，也可以在连续冷却过程中发生。

2. 贝氏体型转变 转变发生在 $200\sim 550^{\circ}\text{C}$ 之间，其转变的主要特征是在转变过程中碳原子进行扩散，合金元素及铁原子完全不发生或部分发生自扩散，以共格的转变方式长大而成。与奥氏体相较，转变完成之后，一般除了碳进行重新分布之外，合金元素的分布并没有发生变化。这种转变方式，也称为 $A_{r''}$ 转变，其转变产物是贝氏体[●]。

当等温转变的温度较高时，所形成的贝氏体的显微组织，具有羽毛状的特征，如图7所示，也就是所谓上贝氏体。这种组织，与珠光体相似的是一种铁素体与渗碳体的混合物，

● 一般也称为“针状屈氏体”或称石氏体。

而与珠光体不同的是渗碳体以极细的颗粒均匀分布在铁素体的片层之间，而且铁素体的片层极薄，使用一般金相显微镜

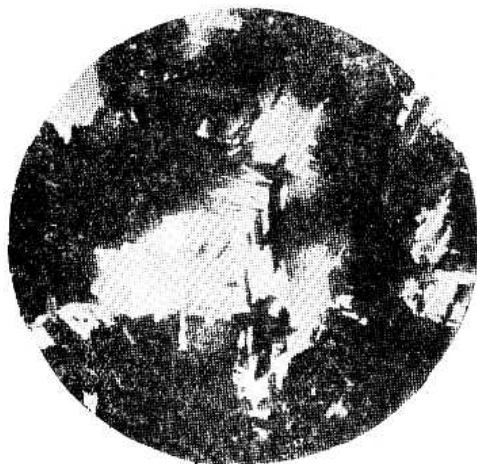


图7 上贝氏体的显微组织 $\times 400$

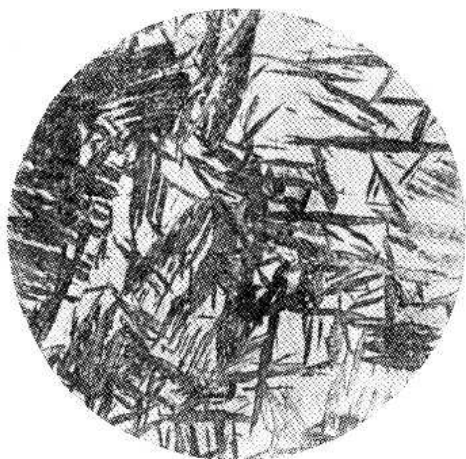


图8 下贝氏体的显微组织 $\times 400$

已难以鉴别。

当等温转变的温度较低时，所形成的贝氏体，其显微组织具有针状外形的特征，如图 8 所示，这就是所谓下贝氏体。这种组织，实际上也是一种铁素体与渗碳体^②的混合物，渗碳体是以极细的微粒均匀分布在针状铁素体的内部。下贝氏体中的铁素体与普通的铁素体不同，它具有一定的过饱和度，而且，随着转变温度的降低，其过饱和度增大。

贝氏体型的转变，在等温保持时，经过一定的孕育期之后，将随着时间的延长其转变量逐渐增加。但在许多合金钢中，往往不能完成 100% 的转变，将有部分的奥氏体转变为索氏体或屈氏体（在转变温度较高保持时间较长时），或在随后的冷却过程中转变为马氏体（在转变温度较低或保持时间较短时）。

贝氏体型的转变，可以在等温保持的过程中发生，在许多合金钢中，也可在连续冷却的过程中发生。

3. 马氏体型转变 转变一般发生在铁的再结晶温度（450°C）以下，其转变的主要特征是在转变过程中，碳、合金元素以及铁原子均不发生扩散，铁原子以共格的转变方式长大而成。所以，转变前后钢的浓度（碳及合金元素）没有发生变化，这种转变方式也称为 M 或 $A_{r''}$ 转变。转变产物是马氏体。

马氏体是碳在 α -铁中的过饱和固溶体，它的含碳量等于高温奥氏体的含碳量。它的显微组织的外形，一般皆呈针状（竹叶状），如图 9 所示。

马氏体型转变与珠光体和贝氏体型转变不同，其转变量

② 当等温转变的温度较低时，下贝氏体中的碳化物常呈 Fe_xC 的形式。

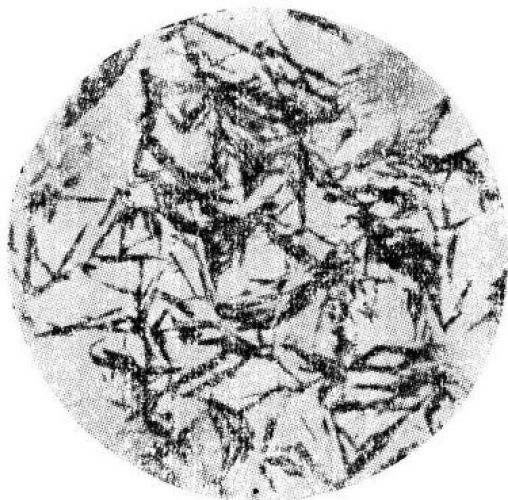


图9 马氏体的显微组织 $\times 600$

一般在等温保持时很少或者完全不能增加，而在降低温度的过程中，其转变量将不断增加，但不能形成100%的马氏体，将有部分的奥氏体保持原状[●]，这种奥氏体即所谓残留奥氏体。马氏体具有开始转变温度 (M 点) 和转变终结温度 (M_s 点)， M_s 点通常皆在室温以下。

M 点及 M_s 点主要决定于高温奥氏体的成分。奥氏体的含碳量愈高，所含合金元素愈多(除钴外)，其转变温度愈低，冷到室温后的残留奥氏体也愈多。

钢在加热时，如果能够保证碳化物全部溶解于奥氏体中时，对于含碳量为0.2~0.8%的钢，可用下列经验公式来计算马氏体的开始转变温度^[2]：

● 残留奥氏体由于承受了马氏体挤压的作用，可能有部分发生了塑性变形。