

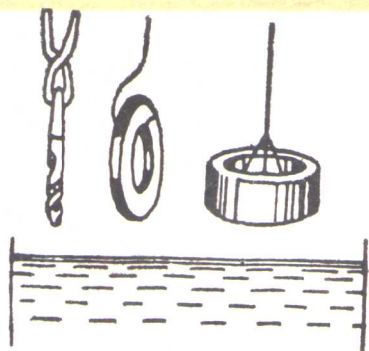
机械工人学习材料

JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

淬 火 介 质

杨 淑 范 陈 守 介 编 著

热 处 理



机 械 工 业 出 版 社

内容提要 本书从钢在淬火时加热和冷却过程的组织转变出发,分析了钢在淬火时的冷却过程,论述了淬火介质的基本性能要求、影响淬火介质冷却性能的因素,比较系统地介绍了我国近年来常用的、效果较好的淬火介质。书中侧重介绍水溶性淬火介质和各种淬火油,对冷却性能测试方法和其他测试技术,也作了扼要的叙述。本书内容简明、实用,浅显易懂,可供现场热处理工人和技术人员阅读,也可供技校或中专学校热处理专业师生参考。

淬 火 介 质

杨淑范 陈守介 编著

*

责任编辑:程淑华 版式设计:张世琴

责任校对:熊天荣

*

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所可配出字第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 $787 \times 1092 \frac{1}{82}$ · 印张 $3 \frac{7}{8}$ · 字数 86 千字

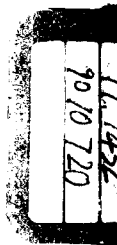
1990 年 8 月北京第一版·1990 年 8 月北京第一次印刷

印数 0,001—4,380 · 定价:2.65 元

*

科技新书目: 224—008

ISBN 7-111-01870-2/TG·471



目 次

一、钢的淬火加热和冷却.....	(2)
1 加热过程中的组织转变(2)——2 冷却过程中的组织转变(5)——3 临界冷却速度(9)——4 理想冷却速度(11)	
二、工件在淬火介质中的冷却过程.....	(13)
1 淬火介质的分类(14)——2 工件在发生物态变化的淬火介质中的冷却过程(15)——3 工件在不发生物态变化的淬火介质中的冷却过程(18)	
三、影响淬火介质冷却能力的因素.....	(20)
1 介质本身物理性质对冷却能力的影响(20)——2 外界条件对介质冷却能力的影响(22)	
四、对淬火介质性能的要求及不同淬火冷却方法.....	(26)
1 对淬火介质性能的要求(26)——2 不同的淬火冷却方法(26)	
五、淬火介质冷却能力的评定方法.....	(31)
1 热电偶探头法(32)——2 磁性法(35)——3 热丝法(36)——4 量热计法(又称五秒钟法)(36)——5 淬火冷却强度法(37)——6 淬火硬度法(39)	
六、水及无机盐水溶性淬火介质.....	(40)
1 水(41)——2 氯化钠(NaCl)水溶液(42)——3 碳酸钠(Na_2CO_3)水溶液(43)——4 氢氧化钠(NaOH)水溶液(44)——5 氯化钙(CaCl_2)水溶液(47)——6 氯化锌-碱液($\text{ZnCl}_2\text{-NaOH}$)(48)——7 过饱和硝酸盐水溶液(49)——8 水玻璃水溶液(52)——9 氯化镁水溶液(54)	

七、有机聚合物水溶性淬火介质..... (55)

1 聚乙烯醇 (PVA) 合成淬火剂 (55) —— 2 聚醚 (聚二醇) 水溶液 (59) —— 3 聚醚-乙二醇水溶液 (63) —— 4 聚丙烯酸盐水溶液 (65) —— 5 羟乙基纤维素水溶液 (68) —— 6 水溶性淬火介质浓度测定法 (69)

八、淬火油..... (75)

1 机械油 (机油) (78) —— 2 普通淬火油 (82) —— 3 光亮淬火油 (85) —— 4 真空淬火油 (87) —— 5 等温、分级淬火油 (89) —— 6 回火油 (91)

九、热浴..... (92)

1 金属浴 (92) —— 2 盐浴 (93) —— 3 碱浴 (94) —— 4 碱和盐的混合浴 (94)

十、流态层..... (95)

1 气固流态层 (95) —— 2 气液固流态层 (100)

十一、淬火介质的选用..... (100)

1 冷却能力 (101) —— 2 钢材 (101) —— 3 工件的尺寸和形状 (104) —— 4 特殊要求 (106)

十二、淬火介质的控制和管理..... (106)

1 水 (106) —— 2 合成淬火剂 (107) —— 3 淬火油 (111)

十三、淬火介质废液处理及油的再生..... (116)

1 淬火介质废液处理 (117) —— 2 淬火油的再生 (118)

淬火是热处理工艺中的一个重要工序。通过淬火处理可以使金属材料的各项性能，如强度、硬度、韧性、抗腐蚀性、耐磨性能、抗疲劳性能以及工艺性能等，都会有很大的改善，可充分发挥金属材料的潜力，以满足各种产品工件对金属材料的要求。

工件在淬火过程中，由于处理不当，往往会发生金相组织或机械性能达不到要求，以及出现变形、开裂、软点等缺陷。这些疵病的产生，除了与钢材的化学成分、原始状态、工件的形状尺寸和加热工艺规范等因素有关外，还与所选用的淬火冷却介质及冷却方法有密切的关系。所以，在淬火中合理地选择和使用淬火介质，就成为保证热处理质量的一个关键问题。

在人类历史上，很早就有关于淬火介质的记载，远在公元前9至8世纪希腊诗人荷马（Homer）写的著名诗篇奥德赛（Odyssey）中就有关于用水作为淬火介质进行斧头淬火的论述。我国远在战国时代（公元前4至3世纪）就已经掌握了淬火技术。公元6世纪就有关于用动物油作为淬火介质进行兵器淬火的记载。

然而，真正对淬火介质进行比较系统的科学研究，还是近50年的事。特别是50年代以来，随着金属材料和热处理工艺技术的发展，以及石油化学工业的发展，各工业发达国家相继研究和各种类型的一系列新的淬火介质，以适应金属材料和机械制造工业发展的需要，并且对各种淬火介质的冷却性能及其物理、化学性能，以及评价冷却能力的装置和方法等方面，逐步进行了比较系统的研究，并取得了许多新的成就，有的已形成了标准，有的正在趋于完善。

本书结合热处理生产的实际情况，简单叙述钢在加热和

冷却时的相变过程，在淬火介质中冷却过程的特点，淬火介质冷却能力的评定方法和影响淬火冷却能力的因素。结合生产介绍几种常用的淬火介质及近年来的发展，以及如何选择淬火介质和使用过程中应该注意的问题，以供热处理工作人员参考。

一、钢的淬火加热和冷却

工件的淬火主要由加热（包括保温）和冷却两个环节组成。淬火的效果、工件的质量取决于这两个环节进行得是否恰当。

1 加热过程中的组织转变 在制定淬火加热规范时，首先在于确定合适的加热温度，其次是在该温度下的保温时间。

（一）加热温度：确定加热温度的重要依据是钢的铁碳平衡图。亚共析的碳素钢和合金钢，要求加热到 $A_{c_3} + 30 \sim 50^\circ\text{C}$ 的温度范围，使珠光体转变为奥氏体和使过剩铁素体全部溶解到奥氏体中去，然后通过适当的保温，再进行淬火冷却，从而得到马氏体组织，即称为完全淬火。

过共析钢的原始组织中有一定数量的过剩渗碳体（碳化物），一般只加热到 $A_{c_1} + 30 \sim 50^\circ\text{C}$ 的温度范围，使珠光体转变成奥氏体，并保留部分过剩渗碳体，然后进行保温和随后的淬火冷却，所得组织为马氏体 + 渗碳体，称为不完全淬火。这样，可以减少淬火组织中残留奥氏体的数量，提高工件淬火后的硬度和组织稳定性。

在实际操作中确定某一钢种的淬火温度时，应首先了解

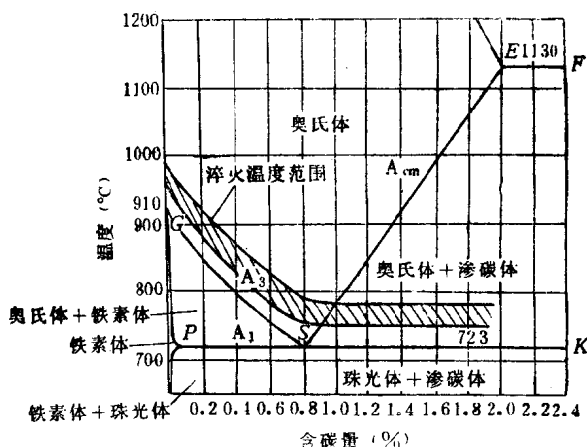


图1 按照铁碳平衡图确定碳素钢淬火温度的示意图

该种钢的临界温度，以及有关平衡图的状态。图1为确定碳素钢的淬火温度的示意图。

奥氏体不锈钢、马氏体时效钢、某些耐热合金和铝合金等淬火加热的主要目的是促使合金中的第二相固溶到基体组织中。所以，加热的温度范围要达到第二相充分溶解，然后进行淬火冷却，以改善材料的塑性、韧性或抗腐蚀性能。有些时效硬化的合金材料，还可以进一步做时效处理，以提高其强度、硬度和其他性能。

以上只是确定一般淬火加热温度范围的原则，在实际生产中还必须考虑到具体材料的品种、淬火目的、工件尺寸和形状等因素。如大截面、形状简单的本质细晶粒钢的工件，为了得到所要求的淬火硬度和淬透深度，可以适当提高淬火温度；而小截面、形状复杂的工件，则可适当采用较低的淬火温度，也可以采取淬火前的空气中预冷。对于容易

产生过热和晶粒粗化的高含锰量钢种，则应适当降低淬火温度。钢中含有形成稳定碳化物的元素，如钛、钒、铌等，则可采用较高的淬火温度，促使这类碳化物有效地固溶，这样可改善钢的淬透性和其他性能。当采用感应加热或其他快速加热方法时，应采用较高的淬火温度，可在 $A_{c_3} + 100 \sim 150^\circ\text{C}$ 温度范围。如淬火介质冷却能力大，也可适当降低淬火温度，通常水淬时的淬火温度比油淬时约低 $20 \sim 30^\circ\text{C}$ 。

(二) 加热时间与保温时间：加热时间是指从工件装炉后，炉温升到淬火温度时所需要的时间。保温时间是指炉温在淬火温度下保持的时间，直到工件出炉为止。保温的目的是使工件表面和心部的温度达到一致，转变为成分均匀的细晶粒奥氏体组织（或还保留部分细小碳化物）。对于尺寸较小的工件，一般把升温时间和保温时间计算在一起，统称保温时间。只有在处理大型工件或装炉量很大时，才将升温时间和保温时间分开考虑。

保温时间的确定与很多因素有关，当钢中碳及合金元素的含量越高，导热性越差，则需要保温时间越长。加热介质不同时，其加热速度不同，因而保温时间也不同。不同的炉型，如空气炉、火焰炉、盐浴炉、铅浴炉，其加热时间的比值依次为 $4:3:2:1$ 。当工件的尺寸越大，装炉量越多时，保温时间也就越长。提高炉温可以缩短保温时间。一般快速加热时的炉温比正常温度高出 $50 \sim 100^\circ\text{C}$ ，但在操作中须注意严格控制，以免过热。工件在炉中放置的方法、排列情况对保温时间也有很大影响。工件堆放时的保温时间要比单放时长，总之保温时间还应根据具体情况以及实际经验综合考虑。

由于影响加热时间的因素较多，因此在实际生产当中往

往借助于经验数据和公式，来初步确定加热保温时间，以后再通过具体实际验证予以确定。

常用的经验公式是：

$$t = a K D$$

式中 t ——加热保温时间(分)；

a ——加热系数 (分/毫米)；

K ——装炉间隙修正系数；

D ——工件有效厚度或称计算厚度(毫米)。

a 值以箱式炉加热为1.0~1.8, 盐浴炉加热为0.3~0.5, K 值以一件单放为1, 堆放为2~4; D 值应根据有效加热厚度来确定。

2 冷却过程中的组织转变 在确定淬火冷却规范时，首先要根据钢的临界点 A_{c3} 或 A_{c1} ，并了解钢的等温转变曲线或连续冷却曲线，然后确定所采用的冷却介质。再将加热至奥氏体化的钢，以不同的冷却方式和不同的冷却速度进行冷却，获得所要求的组织和性能。

(一) 等温冷却组织转变：把已加热至奥氏体化的钢急速冷却到临界温度以下某一温度，使奥氏体过冷，并在这一温度下保温一定时间进行组织转变，即为奥氏体的等温转变，而尚未发生转变的奥氏体称为过冷奥氏体。

过冷奥氏体在 A_1 以下不同温度需保持不同时间才开始发生转变。保持的时间称为转变的孕育期，以后随着保温时间的延长，组织转变量不断增加，直至转变终了。反映一种钢号在不同过冷温度下转变量和转变时间的关系曲线称为奥氏体等温转变曲线，又称C曲线或TTT曲线(如图2、3所示)。

奥氏体转变前的孕育期，在临界温度以下的不同温度

时，时间不同，长短不一。孕育期最短的部位称为等温转变的鼻端。该处过冷奥氏体最不稳定，在此温度下等温时过冷奥氏体最容易发生转变。

根据等温转变的温度和生成转变产物的不同，一般钢的等温转变曲线可按温度划分为三个区域：

从 A_1 至 550°C 左右的温度区间，称为高温转变区，过冷奥氏体在此温度区间等温转变成珠光体，接近上限温度时，转变为粗珠光体，接近下限温度时，转变为细珠光体以及索氏体和屈氏体等。

从 550°C 至马氏体转变开始温度（ M_s 点）的区间称为中温转变区域，过冷奥氏体可转变为贝氏体。由于转变温度的不同又分为上贝氏体和下贝氏体，一般下贝氏体的形成温度在 350°C 左右。

从 M_s 点以下直到马氏体转变温度终止（ M_f 点）称为低温转变区域，其转变产物主要是马氏体。

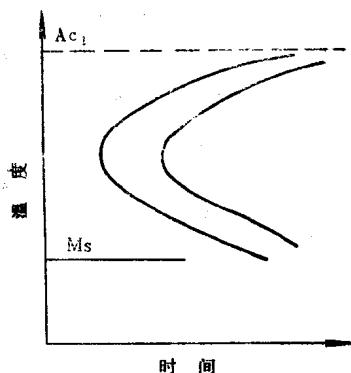


图2 含有少量或非碳化物形成元素的钢过冷奥氏体等温转变曲线

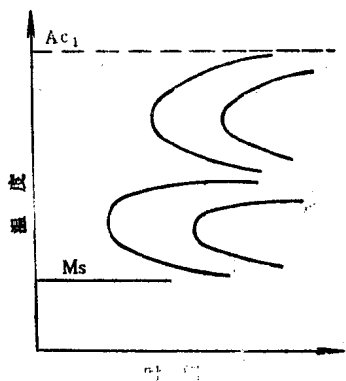


图3 含有较多碳化物形成元素的钢过冷奥氏体等温转变曲线

过冷奥氏体等温转变曲线，根据钢的化学成分不同，基本上有两种形式：

1) 在 A_1 至 M_s 之间过冷奥氏体只有一个最不稳定的区域，即有一个C曲线鼻子，如图2所示。具有这种类型等温转变曲线的钢种：有碳素钢，含有不形成碳化物元素、或形成弱碳化物元素（Mn、Cu、Ni、Si等）、或微量形成强碳化物元素（Ti、V、Nb、Cr、W、Mo等）的低合金钢。

2) 在 A_1 至 M_s 之间过冷奥氏体有两个不稳定区域，即有两个曲线的鼻子，如图3所示。含有Cr、Mo、W、V等形成强烈碳化物元素的合金钢，随着合金含量的增高，其等温转变曲线都有两个鼻子。

影响奥氏体等温转变的因素很多，主要是钢中的碳及合金元素，此外，奥氏体化温度、保温时间、晶粒度大小等，都对等温转变曲线形式有一定影响，在热处理实践中都需予以考虑。

（二）连续冷却组织转变：将加热至奥氏体化的钢，以各种不同的冷却速度连续冷却至室温，在连续冷却过程中奥氏体因过冷而发生组织转变，称为连续冷却转变。采用连续冷却的速度不同，转变后所得到的组织也不同。因此，可以测定出各种不同冷却速度下，奥氏体转变的产物和转变开始的温度、转变终了温度，以及画出它们与时间的关系曲线，此曲线称作奥氏体连续冷却转变曲线，又称CCT曲线，如图4.5所示。

连续冷却转变曲线，更接近于热处理实际情况，如一般淬火、正火、退火等的热处理工艺，多为连续冷却，所以连续冷却曲线具有较大的实用意义。

以30钢连续冷却曲线为例，见图4，将已奥氏体化的

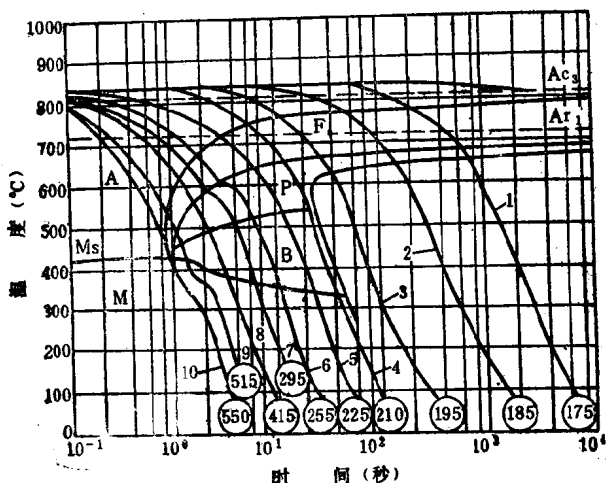


图 4 30钢连续冷却转变曲线

试验用钢: C 0.30%, Si 0.29%, Mn 0.39%

加热温度: 830°C, 保温时间15分

钢, 用相当于曲线 1 最慢的平均冷却速度冷至室温, 得到的组织约为70%铁素体和约30%珠光体, 硬度为175HV, 当平均冷却速度加快到曲线 2 和曲线 3 时, 转变后的组织中铁素体与珠光体的比例基本不变, 但珠光体中片层间距变小, 硬度也相应上升, 硬度为 185HV 和 195HV。平均冷却速度加快到曲线 4, 转变后的组织约为60%铁素体和约38%珠光体, 贝氏体和马氏体量均为1%左右。再加快平均冷却速度, 转变后的组织中铁素体和珠光体、贝氏体量都逐步减少, 而马氏体量则增加, 随着马氏体量的增加, 钢的硬度也急剧升高。当平均冷却速度增大到曲线10或超过它时, 室温下得到的组织几乎全部是马氏体, 硬度高达550HV。可以看出, 钢奥氏体化后, 采用的冷却速度不同, 将在很大程度上改变其

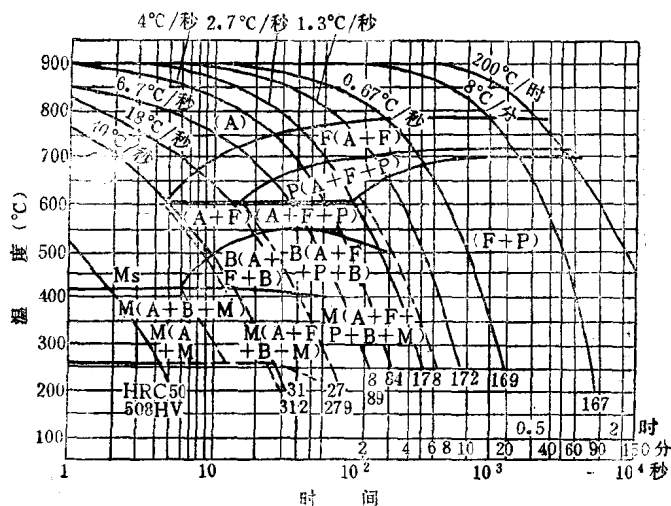


图5 20Cr钢的连续冷却转变曲线

试验用钢: C 0.2%, Si 0.32%, Mn 0.67%, Cr 1.02%

加热温度: 900°C, 保温10分

组织和性能。淬火介质的作用, 也就是提供不同的冷却速度, 使钢件淬火后获得所要求的组织和性能。

由图5和图6可以看出, 钢中化学成分不同时, 连续冷却转变曲线所产生的变化。由于钢中元素Ni、Cr、Mo的增加, 奥氏体的稳定程度加大, 曲线的位置相应地向右移动, 而且曲线的形状也有很大改变。此外, 还应注意奥氏体化温度和保温时间、未溶于奥氏体中的质点。以及晶粒度对奥氏体稳定性的影响, 使连续冷却曲线形状和位置都有所改变。

3 临界冷却速度 钢件淬火时, 为了获得完全的淬火组织, 避免产生珠光体型等非马氏体型转变, 淬火冷却速度

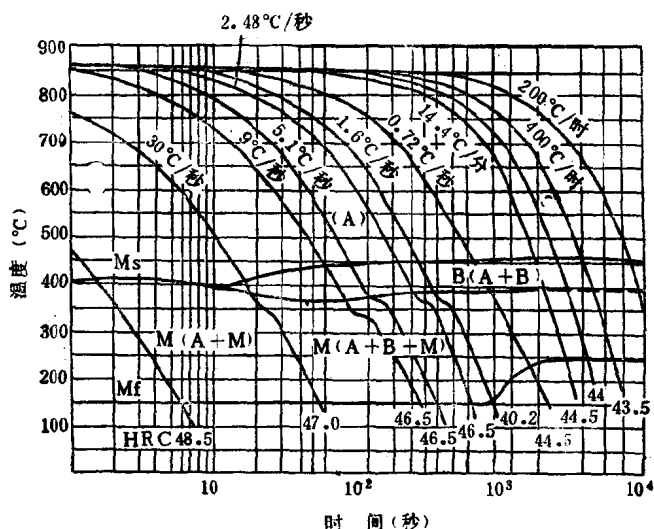


图 6 20CrNiMo钢的连续冷却转变曲线

试验用钢: C 0.20%, Si 0.29%, Mn 0.89%, Cr 1.51%,

Ni 2.85%, Mo 0.46%

加热温度: 860°C, 保温 10 分

应不低于某一一定的最低值, 这一冷却速度称临界冷却速度, 从钢的连续冷却转变曲线可以直接找出该钢种的临界冷却速度。如图 4 中 30 钢连续冷却转变曲线的曲线 10, 为临界冷却速度, 当冷却速度低于曲线 10 时就出现珠光体或贝氏体转变, 故采用的淬火冷却速度应不低于曲线 10。

也可由等温冷却转变曲线近似地估计出钢在连续冷却时的临界冷却速度。例如, 含 0.8% 碳的共析碳素钢的等温冷却转变曲线如图 7, 在曲线的鼻子处珠光体开始转变时间 (τ_n) 为 0.8 秒, 温度 (t_n) 为 550°C, 可按下式计算得到临界冷却速度 (V_c) 为:

$$V_c = \frac{Ac_1 - t_m}{1.5\tau_m} = \frac{727 - 550}{1.5 \times 0.8} = 148 \text{ } ^\circ\text{C/秒}$$

然后根据这种钢的临界冷却速度，选择合适的淬火介质，须以大于此速度进行淬火冷却。

碳素钢的临界冷却速度随含碳量多少而变化，一般为 $100 \sim 600^\circ\text{C/秒}$ 左右；而合金钢则随合金元素含量的不同，其变化也较大，可以从 0.1°C/秒 到 100°C/秒 。然而钢的临界冷却速度不仅与钢的化学成分有关，也与钢的

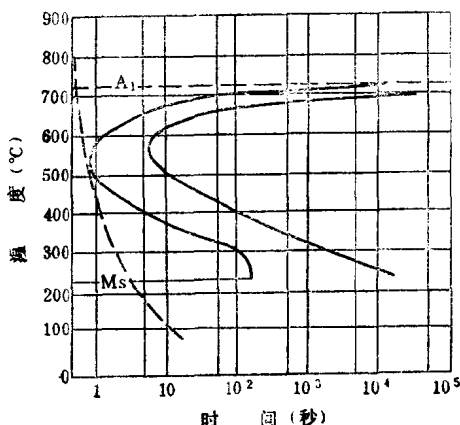


图7 碳素钢 (C 0.80%) 的等温转变曲线

原始组织、淬火加热温度、奥氏体化均匀程度及晶粒度大小等都有一定的关系，所以在实际当中要考虑到这些因素的影响。

4 理想冷却速度 工件在淬火冷却时，为了避免奥氏体在较高的温度区域产生珠光体类型的转变，故必须在过冷奥氏体最不稳定区域，以大于临界冷却速度 (V_c) 进行快速冷却，才能获得预期的马氏体组织。如果采用较快的冷却速度，一直冷却至室温，将使工件在高温区产生较大的热应力，在钢尚处于塑性状态时应力的影响不大，当冷却至 M_s 点以下，不仅有热应力，而且还有由于马氏体急剧转变产生的组织应力，这将导致工件产生较大的变形，甚至开裂。因

此，在马氏体转变区域需要缓慢冷却。

通常情况下，对一般碳钢来说，在钢的奥氏体不稳定区域（俗称临界区或高温区） $650\sim 550^{\circ}\text{C}$ 温度范围要快速冷却；在马氏体转变区域（俗称危险区或低温区） $300\sim 200^{\circ}\text{C}$ 温度范围内要慢速冷却，既可以获得淬火组织；又可以减少内应力，具有这样的冷却速度称为理想冷却速度。

从含碳0.8%钢的等温冷却转变曲线（图7）来看，在 650°C 以上至 A_1 温度范围，奥氏体的分解速度很慢，以不出现铁素体（或渗碳体）为限，可以较慢冷却。在 $650\sim 400^{\circ}\text{C}$ 时奥氏体最不稳定要以大于

$148^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ （临界冷却速度）进行快速冷却。在 400°C 以下奥氏体又出现一个比较稳定的区域，可以缓慢冷却，特别是 M_s 点以下（ $<255^{\circ}\text{C}$ ）应尽可能慢地冷却。确定钢理想冷却曲线可根据钢在奥氏体不同温度范围内，不同的稳定程度，以不同的冷却速度适应钢的淬火要求。图8

所示为碳钢理想冷却速度曲线示意图。

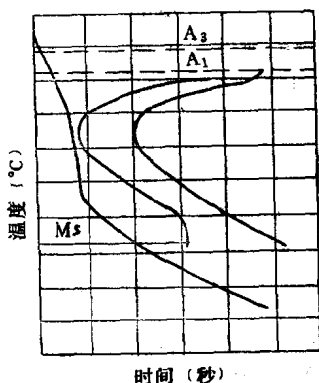


图8 碳钢的理想冷却曲线示意图

通常均以淬火介质在 $650\sim 550^{\circ}\text{C}$ 和 $300\sim 200^{\circ}\text{C}$ 两个温度区域的冷却速度作为衡量其冷却性能的重要数据。不同淬火介质的冷却速度见表1。

此外，有些合金钢奥氏体转变在 400°C 以下又重新加快，因此在 $400\sim 300^{\circ}\text{C}$ 温度范围内，又应以足够快的速度进行冷

表 1 $\phi 20$ 毫米银球在不同介质中的冷却速度

淬火介质	最大冷速时		在下列温度区间的 平均冷速($^{\circ}\text{C}/\text{秒}$)	
	所在温度 ($^{\circ}\text{C}$)	冷却速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{秒}$)	650~550 $^{\circ}\text{C}$	300~200 $^{\circ}\text{C}$
水20 $^{\circ}\text{C}$	270	780	370	730
水40 $^{\circ}\text{C}$	250	710	180	685
水50 $^{\circ}\text{C}$	240	630	60	550
水60 $^{\circ}\text{C}$	190	350	35	270
5%NaCl20 $^{\circ}\text{C}$	450	1800	1400	1000
15%NaCl20 $^{\circ}\text{C}$	450	2500	2300	1200
5%NaOH20 $^{\circ}\text{C}$	550	2200	2100	600
15%NaOH20 $^{\circ}\text{C}$	560	2550	2400	700
3号锭子油20 $^{\circ}\text{C}$	425	190	75	55
3号锭子油50 $^{\circ}\text{C}$	430	220	65	45

注：银球试样移动速度 $v = 25$ 厘米/秒。

却才能达到淬火目的。

目前，生产上采用的淬火介质虽然品种很多，也满足了一些产品的要求，但还很不够。对于水和水溶液来讲，是如何降低在低温区的冷却速度，对于油类介质，是如何提高其高温区的冷却速度。因此，热处理工作人员通过不同途径寻求在高温区具有快的冷却速度，在低温区具有缓慢的冷却速度的理想淬火介质。为满足不同钢种、不同工件的淬火要求，在发展和研究新淬火介质的同时，还应配合改进淬火冷却方法，以获得不同的冷却速度。

二、工件在淬火介质中的冷却过程

淬火时，工件被加热至奥氏体化以后，投入淬火介质中冷却，在冷却过程中，通过不同的冷却阶段（以不同的冷却