



低压电器工人

模 具 热 处 理

(特 刊)

——内部交流——

2.4

一九七三年二月

毛主席语录

备战、备荒、为人民。

政治工作是一切经济工作的生命线。

社会主义革命和社会主义建设，必须坚持群众路线，放手发动群众，大搞群众运动。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

我们必须全心全意地依靠工人阶级，团结其他劳动群众，争取知识分子。

TG 162.9
2

目 录

第一章 热处理基础知识

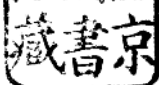
第一节 铁-碳平衡图	1
第二节 奥氏体等温转变图 (C-曲线图)	5
第三节 奥氏体在连续冷却时的转变	7
第四节 钢的基本组织及其性能	8
第五节 钢的淬透性	11
第六节 钢的淬火	12
第七节 钢的回火	16
第八节 钢的退火和正火	18

第二章 常用模具钢及其热处理性能

第一节 碳素工具钢 T10A 介绍	22
第二节 高碳低合金模具钢 9Mn2V 介绍	27
第三节 Cr12 型高碳高铬高耐磨模具钢介绍	33
第四节 高碳中铬模具钢 Cr6WV 介绍	41
第五节 高耐磨微变形模具钢 120Cr4W2MoV 介绍	46
第六节 压铸模钢 3Cr2W8 介绍	51
第七节 热锻模钢 5CrNiMo、5CrMnMo 介绍	57
第八节 无镍热锻模钢 5CrMnSiMoV 介绍	62
第九节 合金工具钢 9CrSi 介绍	68
第十节 合金工具钢 CrWMn 介绍	72
第十一节 滚珠轴承钢 GCr15 介绍	77
第十二节 高速工具钢 W18Cr4V 介绍	81
第十三节 常用模具钢的火花鉴别	89

第三章 模具热处理工艺

第一节 模具的工作条件、选用材料和工艺流程	93
-----------------------	----



A840729

第二节	冷冲模热处理工艺	102
第三节	成型模热处理工艺	111
第四节	热锻模和压铸模热处理工艺	117
第五节	冷却介质——聚乙烯醇水溶液介绍	129
附 录 碱浴配制、维护与水份测定等(四篇)		132
第四章 模具化学热处理与氧化处理		
第一节	模具的渗碳工艺	138
第二节	模具的碳氮共渗	151
第三节	气体氰化剂三乙醇胺介绍	154
第四节	模具的软氮化处理	159
第五节	模具的固体粉末渗铬	166
第六节	模具的碱性氧化处理	171
第五章 模具的热处理变形		
第一节	变形的原因	179
第二节	变形的一般倾向	181
第三节	控制和减少变形的若干方法	186
第四节	变形后的校正	199
第六章 模具热处理常见缺陷分析		
第一节	开裂与脆性	205
第二节	表面腐蚀	214
第三节	淬火软点与硬度不足	215
第七章 模具热处理常用设备		
第一节	盐浴加热炉	217
第二节	空气加热炉和井式渗碳炉	223
第三节	测温仪器	226
第四节	硬度试验计及使用	228
编 后		

毛主席语录

自然科学是人们争取自由的一种武装。人们为着要在社会上得到自由，就要用社会科学来了解社会，改造社会进行社会革命。人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然界里得到自由。

第一章 热处理基础知识

所谓热处理就是改变钢的结构组织，以达到改变其性能的一种方法；因此热处理是使钢件获得新的性能的一门工艺。它扩大了金属和合金的使用范围，保证工件具有符合于使用要求的性能。

对于模具生产来说，热处理是关键工艺之一，它对模具质量和寿命有着很大的影响。在介绍模具热处理有关工艺之前，有必要先了解一下热处理的基本知识，亦即钢在热处理过程中结构组织的变化，也就是说，钢在加热和冷却过程中的变化。要掌握钢在加热和冷却过程中的变化规律，必须学习下面两个基本图——铁碳平衡图和奥氏体等温转变图。

第一节 铁-碳平衡图

一、铁-碳平衡图中组元的性能

(1) 铁：一般工程上用的铁并非纯铁，它的纯度为99.9%，另含有0.1%的杂质，称为工程铁。为研究方便，可把工程铁认为纯铁。铁是一种多相性的金属，具有三种同素异形体，随着温度变化而转变，见表1-1和图1-1

表 1-1

名 称	定 义	稳定状态的 温 度 范 围	性 质
α -铁	铁的原子排列为体心立方晶格	$\leq 910^{\circ}\text{C}$	溶解碳原子能力差, 含碳量 $\leq 0.02\%$; 有良好的磁性, 但在 $\geq 768^{\circ}\text{C}$ 时磁性消失
γ -铁	铁的原子排列为面心立方晶格	$910\sim 1390^{\circ}\text{C}$	溶解碳原子能力高, 达 2.0% , 无磁性
δ -铁	体心立方晶格, 是 α -铁的高温相	$1390\sim 1535^{\circ}\text{C}$	性质同 α -铁, 无磁性

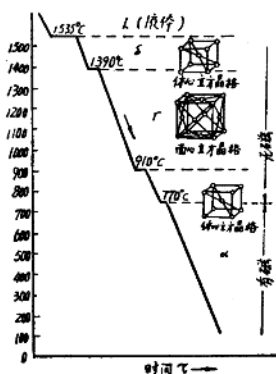
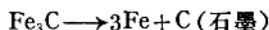


图 1-1

碳在 α -铁中的固溶体称为铁素体; 碳在 γ -铁中的固溶体称为奥氏体, 由于铁素体中碳溶量极低, 因而铁素体可认作为纯铁。

(2) 渗碳体: 铁和碳的化合物(Fe_3C), 其中含碳量为 6.67% 。渗碳体在一定的条件下可以分解, 而形成石墨(游离碳):



二、铁-碳平衡图

铁-碳合金平衡图见图 1-2。

在图中, 横轴表示合金中碳的含量($\% \text{C}$), 直轴表示温度($^{\circ}\text{C}$)。图的最左边是纯铁; 右边是渗碳体。含碳量高于 6.67% 的铁碳合金, 由于脆性很大, 没有使用价值。所以, 这里所谓铁碳合金平衡图, 实际上是 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 平衡图。

在铁碳平衡图上, 根据碳的含量, 可以分为两大类: 含碳量

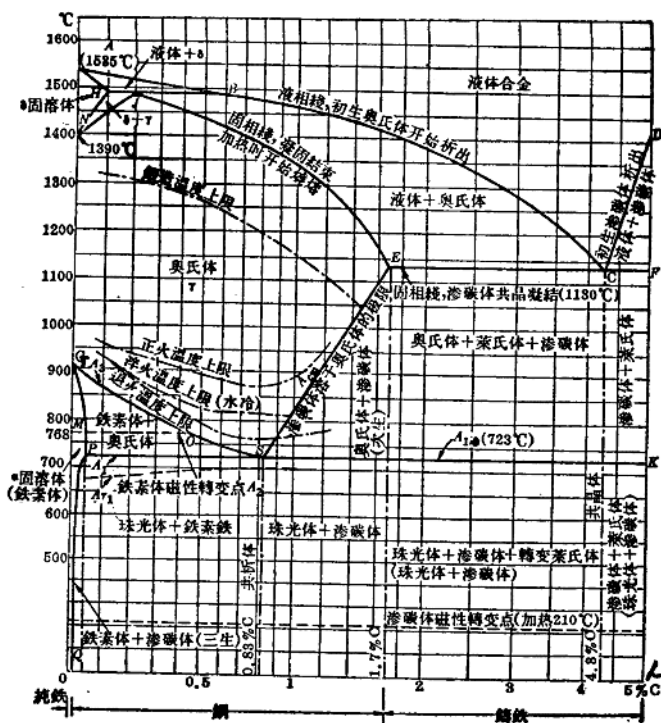


图 1-2 铁碳平衡图

在 2.0% 以下的铁碳合金叫做钢; 含碳 2.0~6.67% 的叫铸铁。

从平衡图可以看到：含碳量为 0.83% 的钢（又叫共析钢），在加热以前是由单一的珠光体（铁素体与渗碳体的混合物）组成；含碳量在 0.83% 以下的钢（又叫亚共析钢），在加热以前是由铁素体 + 珠光体组成；而含碳量在 0.83~2.0% 的钢（又叫过共析钢），在加热以前是由渗碳体 + 珠光体组成。

铁-碳平衡图上各临界点的意义可见表 1-2

表 1-2

符 号	曲 线	意 义
亚共析钢的转变点		
Ac ₁	PS	加热过程中, 珠光体全部转变为奥氏体, 铁素体开始溶入奥氏体
Ac ₂	MO	加热过程中, 铁素体消失磁性
Ac ₃	SG	加热过程中, 铁素体向奥氏体转变終了
Ar ₃	GS	冷却过程中, 奥氏体中开始析出铁素体
Ar ₂	MO	冷却过程中, 铁素体发生磁性变化, 具有磁性作用
Ar ₁	SP	冷却过程中, 奥氏体中析出铁素体終了。剩余奥氏体此时达共析成分, 转变为珠光体。
过共析钢的转变点		
Acm	ES	加热过程中, 渗碳体溶入奥氏体完毕 冷却过程中, 奥氏体开始析出渗碳体
Ar ₁	SK	冷却过程中, 奥氏体析出渗碳体过程结束, 其余奥氏体此时达共析成分, 全部转变为珠光体组织
Ac ₁	SK	加热过程中, 珠光体全部转变为奥氏体; 渗碳体开始溶入奥氏体

三、名词解释

(1) 相: 合金中具有均一成分和性能的组成部分, 称为相。相与相之间有明显的界限。

(2) 固溶体: 合金组元凝固后, 彼此能够互相溶解而形成的物体叫固溶体。

(3) 晶格: 任何物质都是由原子集合而成的。在固体状态金属中的原子有一定的排列状态, 叫做晶格。

(4) 晶粒与晶粒度：组成钢铁结构组织中的微小颗粒叫做晶粒；颗粒的大小叫做晶粒度。

(5) 临界点：当钢的组织在加热或冷却过程中，开始发生转变的温度叫做临界点。为了区别起见，加热时临界点符号用 Ac_1 、 Ac_2 、 Ac_3 表示；冷却时临界点符号用 Ar_1 、 Ar_2 、 Ar_3 表示。

第二节 奥氏体等温转变图(C-曲线图)

奥氏体过冷至 A_1 点以下不同温度等温转变结果而得到的曲线图，叫做奥氏体等温转变图(图 1-3)，因为图上曲线形状象字母“C”，所以又叫 C-曲线图。

图上横坐标轴代表时间(对数标度)；纵坐标轴代表温度。曲线 I 表示奥氏体在不同的过冷度下转变为铁素体+渗碳体混合物时所需经历的时间，即奥氏体转变时所需的“孕育期”。由纵轴至转变开始曲线(曲线 I)的线长，即可作为衡量奥氏体不稳定度的

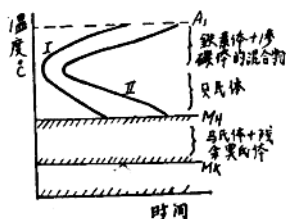


图 1-3 奥氏体等温转变图
(共析碳钢)

标准。此线段在 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 时最短(此处又可称为“C”曲线鼻部，因其突出状似人鼻)，亦即奥氏体在此时最不稳定。曲线 II 是奥氏体转变终了线，即表示奥氏体全部转变为铁素体+渗碳体混合物时所需的时间。在 C-曲线鼻部这种时间也是最短的。

水平线 M_H 、 M_K 分别表示马氏体转变开始温度和结束温度。这种转变机构与形成铁素体+渗碳体混合物的机构不同。

各种钢的 C-曲线形状和位置各不相同，这主要决定于钢的化学成分。亚共析钢和过共析钢的 C-曲线图，与共析钢的不同点是奥氏体在转变成为铁素体+渗碳体的混合物以前，在亚共析钢中首先有过剩相铁素体形成；而在过共析钢中则先有渗碳

体析出。

根据等温转变产物的特性, 可以将 C- 曲线分为下面三个区域来说明:

1. 奥氏体在 C- 曲线上部区域的转变

共析钢在 C- 曲线鼻部至 A_1 区域内转变时 (图 1-2), 形成的组织是铁素体 + 渗碳体的混合物。在高温时, 即在极小的过冷度下所得到者为粗大的铁素体 + 渗碳体的混合物, 称为珠光体。在较低温度下, 即当过冷度较大时, 组织的弥散度增加, 这种较细的珠光体组织, 称为索氏体。如果温度更低 (接近于 C- 曲线的鼻部), 产物的弥散度更大, 此时形成的组织称为屈氏体。

2. 奥氏体在 C- 曲线中部区域的转变

C- 曲线中部区域是包括从 C- 曲线鼻部到 M_H 点之间的范围。在这区域中, 奥氏体等温转变所得的组织称为贝氏体。贝氏体虽然也是铁素体 + 渗碳体的机械混合物, 但由于其形成的机构不同, 故其形态与珠光体类产物有很大差别。

3. 奥氏体在 C- 曲线下部区域的转变

奥氏体在低于 M_H 点以下的温度分解, 就转变成为马氏体及残余奥氏体组织。转变的温度越低, 那么得到的组织中含马氏体的数量也就越多, 钢的硬度也越高。直到 M_K 点的温度, 马氏体的转变宣告终止。

马氏体转变的特点是有固定的开始温度和终了温度。马氏体转变的开始温度 (M_H) 和终了温度 (M_K) 主要决定于钢的成分, 含碳越高则 M_H 和 M_K 点越低; 并且马氏体的转变只是在继续冷却的条件下才能进行, 如果在 M_H 点以下停止冷却时, 则奥氏体向马氏体的转变也随之停止; 此外, 马氏体的转变是不能 100% 完成的, 最后总有一定数量的奥氏体未发生转变, 这部分奥氏体叫做残留奥氏体。

第三节 奥氏体在连续冷却时的转变

将已加热至高温的共析钢以不同的冷却速度连续冷却，当冷却速度很小时，奥氏体仅在较小的过冷度下进行转变，随冷却速度的增大，奥氏体的过冷度增加，故转变也发生在较低的温度。以不同的冷却速度连续冷却时，奥氏体转变温度与冷却速度之间的关系如图 1-4 所示。

当冷却很慢时，如图 1-4 所示以 V_1 的速度冷却，奥氏体最后转变成珠光体。当以 V_2 速度冷却时，则形成索氏体；以 V_3 速度冷却时，最后形成屈氏体。以 V_4 速度冷却时，奥氏体在高温时的分解来不及完成，剩余一部分则在 M_H 点后转变成马氏体，结果形成

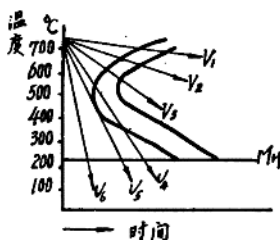


图 1-4

屈氏体 + 贝氏体 + 马氏体。如果继续增加冷却速度，恰好以 V_5 的速度冷却，此时奥氏体在高温不发生分解，而在 M_H 点以下转变为马氏体，结果形成马氏体 + 残余奥氏体。

使奥氏体全部在 M_H 点以下向马氏体转变的最小冷却速度称为临界冷却速度。不同化学成分的钢具有不同的临界冷却速度。对碳钢来说，含碳量越低，临界冷却速度越大。一般，合金钢的临界冷却速度要比碳钢来得小。当临界冷却速度大到一定程度时，这种钢在冷却时就很难得到马氏体组织。这种性能叫做钢的可淬性。

化学成分不同的钢，冷却后得到的马氏体具有不同的硬度，对碳素钢来说，含碳量越高，马氏体硬度越大。

当以更大的冷却速度 V_6 冷却时，转变的温度与 V_5 一样，即在 M_H 点以下，奥氏体转变为马氏体。

第四节 钢的基本组织及其性能

钢件经过不同的热处理过程后,得到各种不同的结构组织,因而也就具有不同的性能。下面分别说明各种结构组织和性能之间的关系。

1. 铁素体(图 1-5)

铁素体是碳在 α -铁中的固溶体,在铁素体中允许的碳的含量最低,不能超过 0.02% (近乎纯铁)。所以铁素体强度低,硬度小,塑性好,韧性高,且具有磁性。含碳量低于 0.83% 的亚共析钢中含有铁素体组织,钢中含碳量越低,则铁素体的数量也就越多。

2. 奥氏体(图 1-6)

奥氏体是碳在 γ -铁中的固溶体,它允许碳溶解的程度很大,可达 2.0% (相当铁碳状态图上 E 点)。奥氏体性韧软,承受冲击力的作用和耐磨的性能都很好;与铁素体不同的是它为无磁性的。

3. 渗碳体(图 1-7)

渗碳体又叫碳化铁(Fe_3C),是碳与铁的化合物,熔点约为 1600°C 。渗碳体硬度极高($\text{HB}\approx 800$),性脆。

4. 珠光体

珠光体是铁素体与渗碳体的共析混合物,含碳 0.83%;珠光体有呈片层状的(图 1-8)和球状的(图 1-9),它们的性质也不同。珠光体硬度低,便于切削加工。

5. 索氏体(图 1-10)

索氏体是一种细的珠光体组织,它也是由铁素体和渗碳体混合成的,但其硬度较珠光体为高。在各种组织中,索氏体具有最高的综合机械性能:屈服极限(σ_s),抗拉强度(σ_b),延伸率(δ)和冲击韧性(a_k)。

钢淬火后，再加热到 $550\sim 650^{\circ}\text{C}$ 的温度进行回火，结果得到回火索氏体组织。回火索氏体强度、硬度与索氏体同，但韧性大大增加。

6. 屈氏体(图 1-11)

屈氏体是一种更细的珠光体组织，它也是由铁素体和渗碳体混合成的。由于它比索氏体更细，故硬度也更高。淬硬钢再在 $450\sim 550^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内回火，可得回火屈氏体组织。

7. 贝氏体(图 1-12)

贝氏体又称针状屈氏体，形似马氏体，但针状较马氏体细小，它是由极细的铁素体和渗碳体混合组成。贝氏体的特点是具有较高的硬度和很好的韧性。

8. 马氏体(图 1-13)

马氏体是碳在 α -铁中的过饱和固溶体。它具有高的硬度(HB600~700, 仅次于渗碳体)和高的抗拉强度;但韧性很低, 性又脆。马氏体常呈针状, 故俗称针状马氏体。马氏体具有磁性。

上面介绍的各种组织，其性能可用表 1-3 来说明。金相照片如图 1-5 至图 1-13 所示。

表 1-3

结 构 组 织	布氏硬度(HB)	抗 拉 强 度 (公斤/毫米 ²)	延伸率(%)
铁 素 体	80~100	25	50
奥 氏 体	170~220	—	—
渗 碳 体	820	—	0
珠 光 体	片状: 190~230 球状: 160~190	88	20~25
索 氏 体	270~320	70~141	10~20
屈 氏 体	330~400	141~176	5~10
贝 氏 体	400~600	—	—
马 氏 体	646~760	176~211	2~8

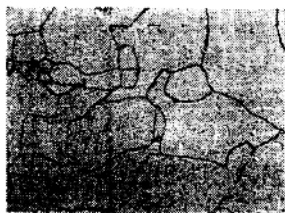


图 1-5 铁素体 100×

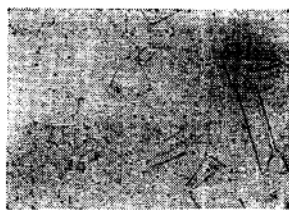


图 1-6 奥氏体 500×

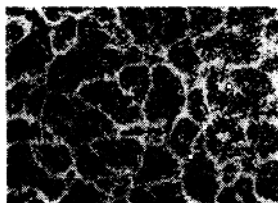


图 1-7 渗碳体 100×

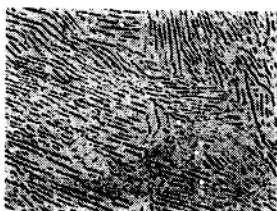


图 1-8 片层状珠光体 500×

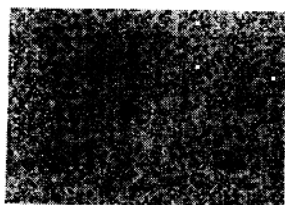


图 1-9 球状珠光体 500×

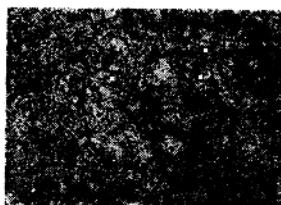


图 1-10 索氏体 500×

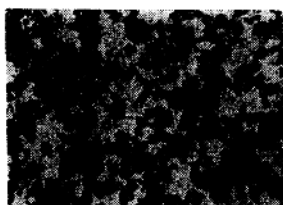


图 1-11 屈氏体 500×

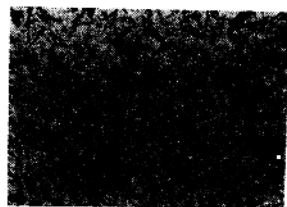


图 1-13 马氏体 500×



图 1-12 贝氏体 1000×

第五节 钢的淬透性

把钢加热使它奥氏体化然后快速冷却，在冷却时其表面及中心冷却速度不同，表面的冷却速度较中心快，由于冷却速度不同，冷却后所得到的组织和硬度也不同。图 1-14a 表示一零件在距离中心不同距离的各点冷却速度分布，如以水平虚线表示临界冷却速度，则图中画有断面线部分的冷却速度皆大于临界冷却速度，故此层能形成高硬度的马氏体区。高硬层的深度（即淬硬层的深度）叫做钢的淬透性。由此可见，淬透性的大小决定于钢的临界冷却速度，临界冷却速度越小，则高硬度层越深，钢的淬透性越大。

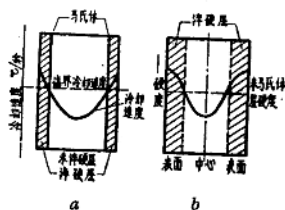


图 1-14 钢的淬透性示意图

实际淬火后钢的硬度由表面至半马氏体区 (50% 马氏体 + 50% 屈氏体) 后, 才开始急剧下降, 故目前淬硬层的深度都指由表面至半马氏体区的深度。(如图 1-14b 所示)

第六节 钢的淬火

将钢加热至略高于 Ac_1 或 Ac_3 的温度, 在该温度保持一定的时间, 然后很快地冷却, 这种热处理的过程称为淬火。

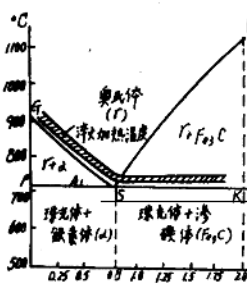
淬火的实质即是加热至奥氏体状态的钢急冷, 以阻止奥氏体分解为珠光体。通常, 淬火后都得到有很高硬度的马氏体。工具钢淬火的主要目的是为了提高硬度。

淬火后的钢性能很脆, 为了减低脆性和获得所需的机械性能, 在淬火之后要进行回火。

一、淬火温度的选择

碳钢淬火的加热温度是由其临界点的位置决定的。亚共析钢的淬火温度是 Ac_3 以上 $20\sim 40^\circ C$, 过共析钢的淬火温度是

Ac_1 以上 $20\sim 40^\circ C$ 。(如图 1-15)



亚共析钢加热至 Ac_1 和 Ac_3 之间时, 其组织为铁素体和奥氏体。淬火后奥氏体变为马氏体, 而铁素体仍保留在组织中, 结果降低了钢的硬度, 所以必须加热到 Ac_3 以上。

过共析钢加热至 Ac_1 和 A_{cm} 之间时, 其组织为奥氏体 + 渗碳体, 淬火后奥氏体转变为马氏体, 渗碳体仍保留。由于渗碳体是一种很硬的组成物, 所以不但不降低淬火后钢的硬度, 相反, 增加了钢的硬度。

不论亚共析钢还是过共析钢, 如果淬火温度过高, 则奥氏体晶粒长大, 淬火后钢的性能变差。

对于中合金钢、高合金钢来说, 淬火温度选择的原则与上有所不同, 还要考虑到钢中碳化物的溶解等情况, 因而, 应该根据试验结果决定。

二、加热速度和保温时间的确定

从提高生产率和降低成本的要求出发, 淬火时的加热速度应力求迅速; 但另一方面, 许多合金钢由于塑性和导热性较差, 过快的加热会产生较大的内应力, 以致造成变形和裂纹, 故加热速度受到了限制。各种不同钢种的加热速度应视实际情况决定。

当加热至淬火温度后, 必须保持一定的时间, 使零件在整个断面上均达到指定的温度, 并使钢内的转变过程完成, 成分均匀一致。保温时间决定于工件的大小, 原有的组织和钢的化学成分。

三、淬火剂

淬火时为了得到足够的冷却速度, 必须选择适当的淬火剂。为了保证奥氏体转变为马氏体, 并不需要在所有的温度范围内很快的冷却, 而只需要在 C-曲线鼻部区域(约 $550\sim 650^{\circ}\text{C}$ 温度范围) 急冷, 在此温度范围内的冷却速度不应低于临界冷却速度。此外, 在低于 M_H 点(一般为 $200^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ 左右) 的温度范围内应较缓慢的冷却, 因为在此温度范围内产生马氏体转变, 快冷会造成很大的应力, 以致引起严重变形甚至开裂。

常用的淬火剂有下列几种:

(1) 水 水是最便宜而且冷却能力很强的淬火剂。在水中溶有少量的盐(一般为 $10\%\text{NaCl}$), 可以大大增强其淬火能力。但水在 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ 以下的温度范围内, 冷却过于强烈, 因而在淬火过程中易于引起变形、裂纹及其它缺陷。随着水温的增高, 水的冷却能力显著削弱。(参看表 1-4)

(2) 油 油也是应用很广的淬火剂。它在 $550\sim 650^{\circ}\text{C}$ 的温度范围比水冷却速度小, 但其优点是在 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ 以下的范围