

# 钢的不完全淬火特性及机械性能

华骏电源技术有限公司(河南南阳 473006)

杨凌平

南阳理工学院

熊运昌

**【摘要】**对模具热处理的质量标准提出质疑,研究了钢因不同热处理制度而获得相同硬度情况下的其他机械性能;阐述了钢的淬硬性(硬化能力)与钢的淬透性(硬化深度)及其影响因素;介绍了钢的淬火(硬化)机制,残余奥氏体对钢的机械性能影响及控制方法,分析了钢的不完全淬火特性及影响因素,讨论了模具热处理的质量要求及控制方法。

**关键词** 机械性能 淬火 硬度 马氏体 残余奥氏体 冲击韧性

## 1 引言

现有的模具工厂,在实际生产中基本上都是按最后获得的模具硬度来衡量热处理质量,这显然与模具设计者对热处理提出的技术要求有关,如:一般的设计者,均在设计图的标题栏内或上方标示“热处理 HRC48~53”等字样,而对热处理后,模具的其他机械性能未提任何要求。这实际上是模具设计及热处理方法的误区。因为根据模具的服役条件和常见的失效形式,对模具不仅要求高的强硬度,还要有良好的耐磨性,冲击韧性及抗疲劳、抗粘着、热硬性等。而对同一钢件,要获得指定的硬度,可采用不同的热处理方法,其硬度虽达到了设计要求,但其他机械性能却存在着较大差异,如:抗拉强度、耐磨性、屈服点、延伸率、冲击值等。例如:Cr12MoV 钢从 1040℃淬火、200℃回火以及 1090℃淬火经不同温度回火均可达到 HRC59~62 的硬度要求,而在前一种情况下,模具的强度和寿命要高得多。

## 2 充分淬火的机械性能

考虑淬火、回火的机械性能时,一个很重要的问题是经过充分淬火并回火的钢,其机械性能要比淬火不充分而通过降低回火温度而达到相同硬度的钢的机械性能要好。下面以实验结果说明。

(1)把 40Cr 钢试样加热到该钢种的正常淬火温度 830℃,通过改变淬火冷却速度获得不同的淬火硬度,然后以不同回火温度进行回火,使之获得不同的回火硬度,最后测出各试样的机械性能示于图 1,横轴表示淬火硬度,纵轴表示机械性能,圆圈内的数字表示回火硬度(HRC),由图可见,抗拉强度决定于最后的回火硬

度,基本上不受淬火硬度的影响,而屈服点、延伸率、断面收缩率和冲击值均与淬火硬度有关,即使回火至相同硬度,这些性能指标也因最初的淬火硬度不同而不同(随最初淬火硬度的升高而提高)。

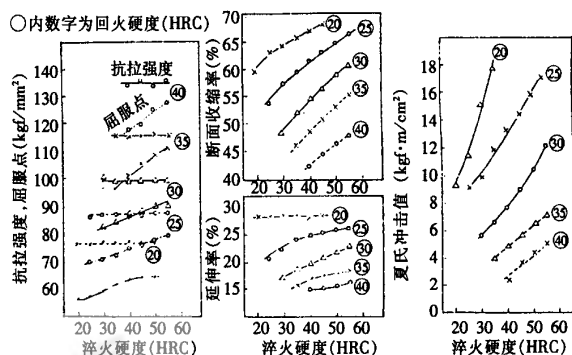


图 1 40Cr 钢因淬火程度不同而引起的机械性能变化

(2)把 40、40Cr 和 42CrMo 钢试样自正常淬火温度 840℃和比该温度低的 760℃淬火,通过调整回火温度,使淬火硬度不同的试样达到相同的回火硬度,然后作扭转试验,结果列于表 1,由此可见,对上述三种结构钢而言,都是淬火充的试样显示了高的疲劳强度。

表 1 淬火程度与扭转疲劳强度

| 淬火程度 | 钢种     | 淬 火     |          | 回 火     |          | 扭转疲劳强度 (kgf/mm²) |
|------|--------|---------|----------|---------|----------|------------------|
|      |        | 温度 (°C) | 硬度 (HRC) | 温度 (°C) | 硬度 (HRC) |                  |
| 充分   | 40     | 840 水冷  | 56       | 450 油冷  | 35       | 37               |
|      | 40Cr   | 840 油冷  | 56       | 550 油冷  | 33       | 43               |
|      | 40CrMo | 840 油冷  | 57       | 550 油冷  | 36       | 44               |
| 不充分  | 40     | 760 水冷  | 46       | 200 油冷  | 34       | 33               |
|      | 40Cr   | 760 油冷  | 47       | 460 油冷  | 35       | 27               |
|      | 40CrMo | 760 油冷  | 48       | 500 油冷  | 36       | 31               |

综上所述,淬火充分的钢无论是静载机械性能还是动载机械性能都能显示出较高的指标,这一情况在考虑工件强度、工件失效及其预防措施时,必须予以重视。

在实际生产中,工件能否获得完全的淬火组织(充分淬火),其影响因素是多而复杂的。如:设计时所选用的钢种,热处理选用的工艺方法(淬火温度、保温时间、冷却方法等),工件的形状效应等,这些因素的影响将在后面详述。

### 3 钢的淬硬性 & 淬透性

#### 3.1 钢的最高淬火硬度 (淬硬性)

淬火是获得马氏体组织,提高材料强度、发挥材料各项潜能的重要途径,淬火获得的马氏体组织是一种过饱和固溶体,具有很高的强度和硬度。

马氏体硬度主要取决于马氏体的 C 浓度,如图 2a 所示,因此,对于某一钢种而言,其基体硬化能力(最高淬火硬度)只与含碳量有关,而与其他合金元素含量无关,如图 2b 所示,当钢中(无论是碳素钢,还是合金钢)的含碳量达 0.6% 以上时,其淬火硬度就稳定在 HRC65 左右,而随着含碳量的继续增加,淬火硬度不再继续增加(其原因将于本文的 4.3 中予以解释),因此,根据设计要求的硬度,仅可对材料的含碳量作出选择。

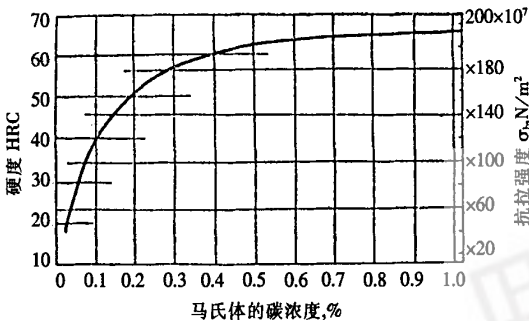


图 2a 马氏体的强度与硬度与其碳浓度的关系

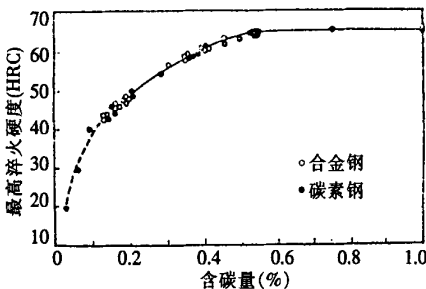


图 2b 钢的含碳量与最高淬火硬度的关系

#### 3.2 钢的硬化层厚度 (淬透性)

在含碳量相同的情况下,当钢中合金元素含量(化

学在分)不同时,其硬化层(淬硬层)厚度却有很大差别,也就是说,钢的淬透性与钢的合金成分有密切关系,如图 3 所示。要想获取一定的淬火硬度,又要取得一定的硬化层厚度,就必须综合考虑钢的含碳量和合金化机理,选择高淬透性钢。强调钢的淬透性,具有十分重要的意义,因为淬透性对热处理后的机械性能影响很大,如果工件被淬透了,其表里都是高强硬度的马氏体组织,经适当回火后,断面各处可获得均匀一致性的高强度的马氏体组织,充分发挥了材料的潜力,如果未淬透,表层是马氏体组织,而心部为非马氏体组织,过渡区则二者兼有之,回火后,整个截面性能不一,屈服强度和冲击韧性明显下降,这是由于未淬透的心部和过渡区的非马氏体组织回火后仍保持其低性能(未得到强化)的特征,只有表层的马氏体组织经回火后,获得较高的综合机械性能,因而整个截面的机械性能较差。

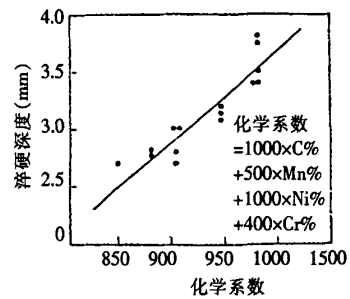


图 3 硬化深度与化学系数的关系

### 4 钢的淬火(硬化)机制

#### 4.1 碳在钢中的溶解机理

钢实际上是一种铁碳合金,在室温状态下,碳只能微量溶解于  $\alpha$ -Fe(体心立方晶格)的间隙形成间隙固溶体。由于  $\alpha$ -Fe 的最大间隙半径只有 0.31,比碳原子半径(0.77Å)小得多,从理论上讲, $\alpha$ -Fe 几乎不能溶入碳,但实验证明,在  $\alpha$ -Fe 中可溶解 0.0057%~0.218% 的碳。碳原子的微量溶入和晶体缺陷有关,晶体结构中的位错,空位和比较松散的晶界有利于碳的溶入,因此,含碳量较高的钢,其碳主要以渗碳体( $\text{Fe}_3\text{C}$ )形式存在于钢的基体中。

当温度高于下临界点  $A_1$  时, $\alpha$ -Fe 开始向  $\gamma$ -Fe 转变(同素异晶转变),而  $\gamma$ -Fe 具有面心立方晶格,其间隙较大,因而具有较高的溶碳能力,如果碳原子全部溶入 Fe 原子组成的八面体间隙,则其浓度可达 50%按质量百分比计则为 20%,但实际上,奥氏体( $\gamma$ -Fe)含碳量

最高只能达 2.11%(质量)。这是因为,  $\gamma$ -Fe 的晶格常数为 3.64Å, 最大间隙半径约为 0.52Å, 而碳原子的半径为 0.77Å, 当一个碳原子占据一个八面体间隙后, 必然引起晶格畸变(一种高弹性状态), 使周边的间隙缩小, 难以溶入碳原子, 所以从理论上讲, 碳原子在  $\gamma$ -Fe 晶格中, 最多只能占据 10% 的八面体间隙位置。大约 2~3 个  $\gamma$ -Fe 晶胞可溶解一个碳原子。

#### 4.2 钢的淬火意味着快冷

淬火是获得马氏体组织(具有很高的强度和硬度)、提高材料基体强度、发挥材料潜力的重要途径, 淬火是历史悠久, 用途最广的热处理方法。早在公元前八至七世纪荷马史诗《奥德赛》第九卷就有记载: 铁匠把灼热的斧头浸入冷水里, 就有狂暴的嘶嘶声响, 这实际上是一种淬火加回火, 它增加了铁的强度……。荷马史诗所描述的实际上是一种渗碳淬火工艺, 因为当时并没有钢, 而古人所用的土法熟铁在炉膛加热时已渗上碳。如亚力斯多德就曾指出: 最好的钢能用炉膛多次加热而获得, 这种热处理使表面增碳, 保证淬火后较高的强度和硬度, 老普林尼(一世纪)曾写过: 薄的钢件, 必须油中淬火, 以防翘曲和开裂。

淬火(硬化)处理是将钢件加热到一定温度( $T_A$ )并保温一定时间, 使碳原子充分固溶于  $\gamma$ -Fe 中, 然后以较快的冷却速度使之冷却到室温, 使碳原子来不及脱溶析出, 而形成碳在  $\alpha$ -Fe 中的过饱和固溶体(马氏体组织), 在冷却过程中,  $\gamma$ -Fe 晶格切变为  $\alpha$ -Fe 晶格, 碳原子被冻结在马氏体中, 且择优分布于  $\alpha$ -Fe 沿 c 轴的扁八面体间隙, 因而使  $\alpha$ -Fe 的体心正方晶格发生正方畸变, 其碳浓度越高, 则晶格常数 c 越大而 a 越小, 正方度 c/a 越大, 形成的马氏体硬度越高。

#### 4.3 钢的基体硬度

钢的基体硬度主要取决于淬火后所形成的马氏体硬度及马氏体数量(淬火的充分性与否), 故马氏体的碳浓度越高, 其强度硬度越高, 且淬火后形成的马氏体量越多, 则钢的强度、硬度越高。但随着碳原子的大量溶入, 将大大降低钢的马氏体转变点( $M_s$ - $M_f$ ), 当奥氏体中的碳浓度达 0.6% 以上后, 其  $M_f$  点(马氏体转变终了点)就降至室温以下, 此外由于添加不同种类和不同含量的合金元素, 促使奥氏体稳定, 进一步降低马氏体转变点, 由于马氏体是在降温过程爆发式形成, 它的相变驱动力是过冷度(温差), 温度每降低一个梯度便形成

一批马氏体, 而与在某一温度的停留时间无关。因此, 当钢件加热奥氏体化淬火至室温后, 并不完全形成马氏体(因为  $M_f$  点在室温以下), 而残留一部分奥氏体, 奥氏体溶碳量越高,  $M_f$  点越低, 残留奥氏体(A')越多, 从而使淬火后的马氏体数量相对减少, 钢的(基体)硬度反而有所降低, 如图 4 所示。

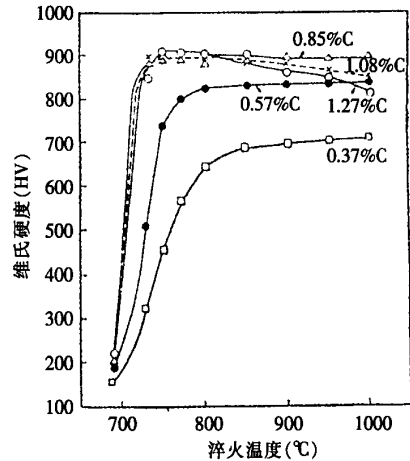


图4 各种碳素钢的淬火温度和淬火硬度

这就是 3.1 中所述, 当钢的含碳量达 0.6% 以上时, 随着含碳量的继续增加其最高基体硬度稳定在 HRC65 左右, 而不再增加的原因。

欲使 A' 继续形成马氏体, 则淬火冷却要持续到室温以下直至  $M_f$  点, 这就是通常所说的冷处理(或称冰冷处理)。

#### 5 淬火钢的残余奥氏体

钢经淬火后, 其残余奥氏体 A' 的含量是钢的成分、淬火温度和冷却速度的函数, 可利用这种关系, 制定合理的热处理制度以控制热处理引起的尺寸变化。因为钢在加热时发生收缩, 然后再发生膨胀, 在淬火时, 过冷奥氏体达到  $M_s$  点前发生收缩, 冷至  $M_s$  点以下即发生膨胀直至马氏体转变完成, 一种无变形(或微变形)钢能残留适量的奥氏体, 以平衡二者的差异, 即从铁素体+珠光体(或珠光体+渗碳体)转变成奥氏体所发生的收缩及形成回火马氏体所引起的膨胀。

##### 5.1 A' 的性能特点及对钢件机械性能的影响

###### 5.1.1 A' 的性能特点及有害性

(1) A' 软而且粘, 耐磨性差。

(2) 不稳定, 易产生时效变形, 对精密量具应予控

制。

- (3)易产生磨削裂纹。
- (4)降低淬火硬度,使工具钢疲劳强度下降。

5.1.2 A'的有利作用

- (1)当淬火残存适量的 A'时,可起到减震作用。
- (2)使冷模用钢,低温用钢的韧性有所改善。
- (3)在交变应用作用下,可提高旋转疲劳强度,能有效防止啮合面发生点蚀。

5.2 A'的控制方法

一般而言,在淬火高碳钢中,约有 10%~30%的过冷奥氏体被残留在马氏体组织中,而高碳高铬钢经高温淬火后 A'量高达 90%以上。一般合金工具钢经正常热处理均残留 30%左右的 A'。图 5 描述了不同淬火温度、不同淬火介质对不同含碳量碳素钢 A'量的影响。

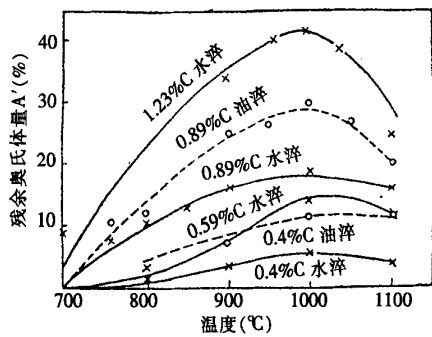


图 5 不同含碳量碳素钢的淬火温度与 A'量

如前所述,A'是钢的合金成分,淬火温度冷却方法的函数,可根据这三个影响因子,对钢的 A'预先设计控制,如下表 2。

表 2 对钢中 A'予以控制所考虑的因素

| 控制因素                      | A' % |              | 控制机理                       |
|---------------------------|------|--------------|----------------------------|
|                           | 多    | 少            |                            |
| 合金化(合金成分)<br>C、Mn、Cr、Ni、N | 高    | 低            | Ms(M <sub>f</sub> )下降或升高   |
| 奥氏体化条件                    | 温度   | 高            | T <sub>A</sub> 越高,碳化物溶入量越多 |
|                           | 时间   | 长            | T <sub>A</sub> 越大,碳化物溶入量越多 |
| 冷却方法                      | 介质   | 油            | Ms-M <sub>f</sub> 冷速大小     |
|                           | 方法   | 等温淬火<br>冷空淬火 | 快冷<br>淬火                   |

6 淬火不完全度及影响因素

6.1 基本概念

淬火不完全度是指由于淬火组织马氏体量不同而

引起的淬火硬度变化(差异)。所以完全淬火组织(100%M)时的硬度 R<sub>M</sub> 和实际淬火组织的硬度 R<sub>Q</sub> 之差越大,淬火不完全度越大(ΔR=R<sub>M</sub>-R<sub>Q</sub>)。

6.2 影响因素

如前所述,在工业生产中,工件能否获得完全的淬火组织,其影响因素是多而复杂的,现分别予以讨论说明。

6.2.1 合金成分的影响

如前 3.2 所述,钢中的合金元素含量直接影响着钢的淬透性,提高钢的淬透性元素由强到弱依次为:C、Mn、Mo、Cr、Si、Ni、Cu、P、B、N 等,钢的淬透性越高,则其冷却过程中,形成的硬化层越厚,淬火的不完全度越小。

6.2.2 冷却速度的影响

空气是淬火介质中冷却强度(表征冷却介质冷却能力的物理量,又称淬火烈变)最小(冷速最低)的淬火介质,水的冷却强度最大,但水温超过 30℃以下,与水不同的是:油的冷却强度在 60~80℃时最大,因此,开始淬火时,水冷淬火用于淬透性低的碳素钢,而油冷淬火多用于淬透性高的合金钢,淬火介质的冷却强度,因搅拌的剧烈程度而变化,表 3 列出了各种介质的冷却强度,以静止的清水为 1 作比较。

表 3 淬火介质的冷却速度

| 淬火介质或工件移动方法 |      | H:冷却强度(与静止水作为 1 相比) |         |          |     |
|-------------|------|---------------------|---------|----------|-----|
| 淬火介质        | 工 件  | 空气                  | 油       | 水        | 食盐水 |
| 静止          | 静 止  | 0.02                | 0.3     | 1.0      | 2.2 |
| 静止          | 缓慢移动 | —                   | 0.4~0.6 | 1.5~3.0  | —   |
| 静止          | 强烈移动 | —                   | 0.6~0.8 | 3.0~6.0  | 7.5 |
| 喷射          | —    | —                   | 1.0~1.7 | 6.0~12.0 | —   |

同一钢种采用不同冷却介质时,其淬火不完全度不同,水冷时,不完全度最小,油冷次之,空冷最大,如图 6。

要降低淬火的不完全度,则淬火介质的数量无论是水还是油均应充足,油冷时,一般规定油量为工件重量的 6~10 倍,空冷时,采用流动空气(吹空冷却)为佳。

6.2.3 淬火温度的影响

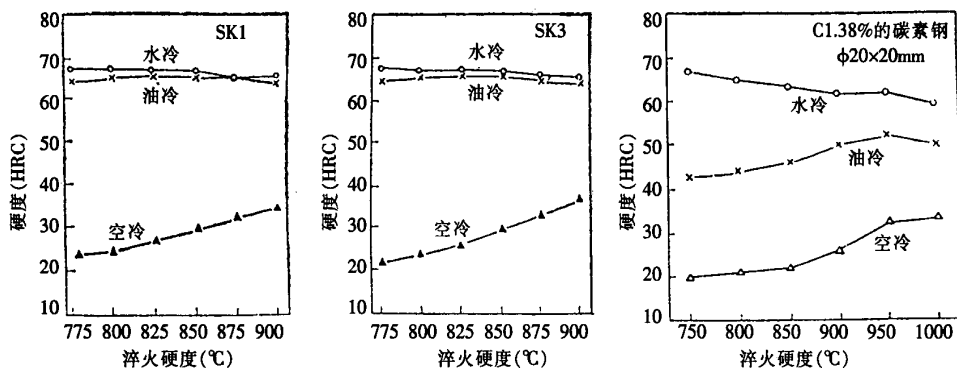


图6 水冷、油冷或空冷时温度与硬度的关系

对含碳量为 1.38% 的钢从 750~1000°C 的各种淬火温度水冷、油冷、空冷后的硬度见图 6(右), 对水冷而言, 淬火温度为 750°C 时, 可达最高硬度, 随着淬火温度的提高, 硬度则有所下降, 这是因为  $T_A$  过份提高, 提高了  $\gamma$ -Fe 的溶碳量, 降低了  $M_s$ - $M_f$  点, 增加了淬火后的  $A'$  (4.3 中已讲述), 与此相反, 在油冷或空冷时, 随着  $T_A$  的提高硬度逐渐增加, 在 950°C 附近时, 硬度最高。由此可见, 即使是同一钢种, 当其可以选择不同冷却介质淬火时, 其对应的淬火温度也是不同的。

#### 6.2.4 工件的形状效应

对实际热处理工件而言, 即使在淬火条件相同 (指钢种相同、淬火温度相同、冷却介质及方法相同) 的情况下, 最容易淬上火的形状是球形, 最难以淬硬的是板料, 在实际生产作业中, 对于形形色色、形状各异的复杂工件而言, 部位不同, 冷却速度 (同一冷却介质) 也是不同的。凸现的部分易接受淬火, 而凹陷的部分则难以淬硬, 一般来说, 不同形状的物件冷却速度的大致比例为: 球: 圆棒: 平板 = 4:3:2。

图 7 描述了同一工件不同部位的冷却效果, 这样, 由于冷却方法和工件形状不同会给冷却带来很大差异, 对于各种工件都必须切实注意, 尽量使之均匀冷却, 以防产生淬火软点、盲区、翘曲、开裂等缺陷。

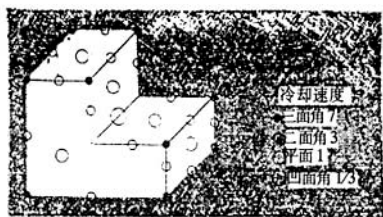


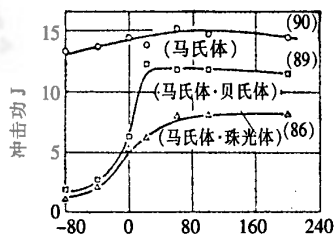
图7 同一工件不同位置的冷却速度

关于防止淬火软点、变形、开裂的形状效应, 作者已另文介绍 (见《模具制造》(2001.No.3)), 本文不再赘述。

### 7 淬火不完全度与机械性能

#### 7.1 不完全淬火中的非马氏体组织

如前 3.2 所述, 所谓非马氏体组织是指钢件 (或某一部位) 的实际冷却速度小于临界淬火速度而形成的下贝氏体、珠光体等组织。此外, 由于加热温度过低 (低于  $A_3$  时), 使奥氏体化不彻底, 使淬火后的钢中还含有原始的铁素体, 或经充分奥氏体化的钢因冷却不彻底而残留较多的奥氏体, 均为非马氏体组织, 具有这种组织的钢称为不完全淬火钢。相反的, 不含这种组织的钢称为完全淬火钢, 二者的冲击值差异因非马氏体组织数量增多而增大 (图 8)。

图8 淬火组织不同的共析钢其抗拉强度约为 88kgf/mm<sup>2</sup> 经不同回火温度后的冲击值

#### 7.2 淬火不完全度对机械性能的影响

图 9a 描述了淬火的不完全程度对回火到同一硬度 (HRC35) 时的冲击值的影响。

图 9b 描述了淬火不完全度与屈服比的关系。

图 9c 表述了钢的质量效应对淬火不完全度以及韧性的影响。

图 9d 表示在完全淬火的情况下,不论是碳钢还是合金钢,相同强度的冲击值是相同的。

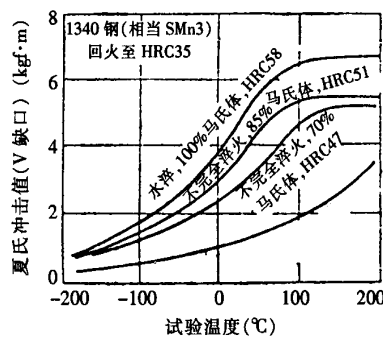


图 9a 淬火完全程度和冲击值的关系

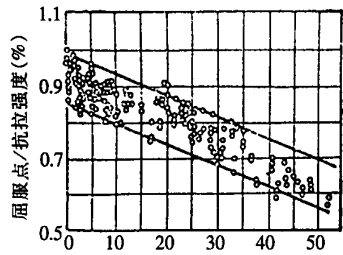
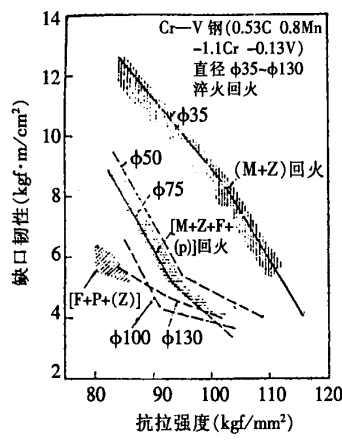


图 9b 淬火不完全度和屈服比 (屈服点/抗拉强度) 的关系



F—铁素体 M—马氏体

图 9c 不完全淬火使韧性降低

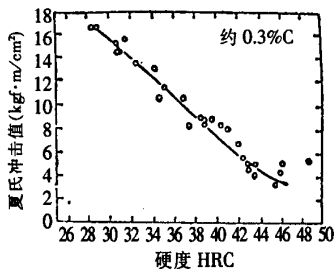


图 9d 完全淬火回火材料的冲击值和硬度的关系

8 模具钢的淬火

模具材料所特有的性能, 只有通过合理的设计及热处理制度才能发挥出来。提高模具寿命, 首先应以提高合金成分为前提, 由于合金成分的增加, 将降低钢的基体韧性, 强度硬度与韧性是两个相互矛盾却互为依存的机械性能指标, 在实际生产中, 应根据不同模具的服役条件和对某一性能指标的侧重点, 采用合理的热处理制度使之达到完好的匹配。

8.1 模具钢的奥氏体化温度 ( $T_A$ )

模具的奥氏体化温度应根据钢的临界点  $A_{cl}$  以及模具的形状、精度和硬度要求予以综合考虑, 所采用的  $T_A$  应能使之充分硬化 (淬至最高硬度) 后, 通过调整回火温度形成其他机械性能指标的最佳匹配。表 4 是 Cr12MoV 钢经不同热处理制度而获得相同硬度时的其他机械性能比较。由表 4 可以看出, 采用 1040℃奥氏体化后淬得初始最高硬度后经适当温度回火后, 可得到机械性能的最优配合。关于 Cr12 型钢的淬火工艺比较复杂, 作者在“Cr12MoV 二次硬化淬火释疑”(原载于《模具制造》(2000.No.1))及“Cr12 型钢的锻造、焊补及热处理”(原载于《模具制造》2000.No.11))作过一些专门的讨论, 原以此为契机, 抛砖引玉, 就正于同行。

表 4 Cr12MoV 不同热处理制度获得相同回火硬度时的机械性能

| 淬 硬    |       | 回 火                |          | 弯曲强度               | 挠度 (f) | 冲击韧性                  |
|--------|-------|--------------------|----------|--------------------|--------|-----------------------|
| 规范     | 硬度    | 规范                 | 硬度       | kg/mm <sup>2</sup> | mm     | kgf·m/cm <sup>2</sup> |
| 1040℃油 | HRC63 | 180~200℃           | HRC59~60 | 305                | 1.14   | 2.6                   |
| 1080℃油 | HRC61 | 180~200℃           | HRC59~60 | 282                | 1.08   | 2.2                   |
| 1120℃油 | HRC53 | 500~520℃<br>4 次×1h | HRC59~60 | 250                | 0.94   | 1.2                   |

表 5 是 3Cr2W8V 不同淬火温度而获得大致相同硬度 (HRC45) 时的机械性能比较。由表 5 可见, 淬火温度提高到 1100℃, 对冲击韧性降低的影响很小, 但当淬火温度提高到 1150℃, 特别是提高到 1250℃, 可发现冲

表 5 不同淬火温度获得相同硬度 (HRC45) 时的冲击韧性、塑性及屈服比

| 淬火温度<br>℃ | 冲击韧性 $\alpha_k$<br>(kg·m/cm <sup>2</sup> ) | 塑 性        |              | 屈服比<br>( $\sigma_s/\sigma_b$ ) |
|-----------|--------------------------------------------|------------|--------------|--------------------------------|
|           |                                            | $\psi$ (%) | $\delta$ (%) |                                |
| 1050℃     | 3.8                                        | 33         | 3.3          | 0.95                           |
| 1075℃     | 3.6                                        | 26         | 3.1          | 0.96                           |
| 1100℃     | 3.5                                        | 17         | 3.0          | 0.97                           |
| 1150℃     | 2.5                                        | 5          | 2.8          | 0.95                           |
| 1250℃     | 2.3                                        | 5          | 1.8          | -                              |

击韧性  $2k$  从 3.5(1100℃)显著降低到 2.5(1150℃)和 2.3 (1250℃), 这是由于  $T_A$  提高到某一敏感温度 (如 1150℃)引起了奥氏体晶粒急剧长大粗化所致。

表 5 中的数据说明, 对于在冲击载荷较小的条件下工作的模具, 淬火温度可以提高到 1125~1130℃。

## 8.2 模具钢的奥氏体化时间( $T_A$ 下的保温时间)

热处理操作与时间有着很重要的关系, 实际操作对  $T_A$  下的保温时间及  $T_{回}$  下的保温时间均应郑重考虑。温度和时间是各种热处理工艺的最基本的参数。且二者具有互补性。图 10 是共析钢(约相当于 T8 钢)的奥氏体化曲线, 它描述了时间和温度对奥氏体化效果的影响。

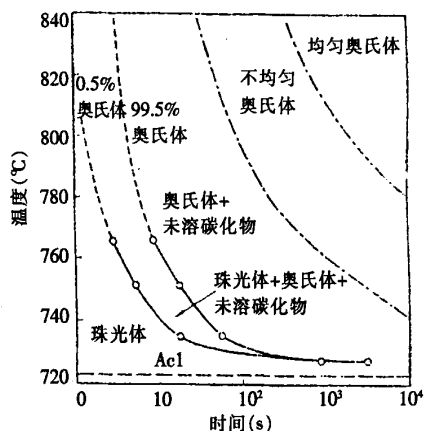


图 10 共析钢的奥氏体化曲线 0.78C-0.63M-0.23Si 正火预处理

高合金钢(如高速钢、高合金模具钢等)中往往含有较多的难溶碳化物, 为了充分奥氏体化以及奥氏体均匀化, 同时又要防止奥氏体晶粒粗化, 往往采用下限温度而以较长的保温时间予以补偿, 或在稍低于  $T_A$  的温度停留、均温, 而降低  $T_A$  时的保持时间。

高碳钢采用低温短时加热淬火, 可有效控制奥氏体的碳浓度, 使其在淬火后获得大量条状马氏体组织, 既保持了高硬度, 又具有良好的韧性。这种工艺的基本特点就是在低于  $A_1$  温度充分预热, 以缩短在  $A_1$  温度的保持时间, 然后以较快的加热速度加热至  $A_1$  以上稍低于正常淬火的温度, 经短时保温即可淬火。

## 9 走出模具热处理的误区

模具钢的淬火决不应该仅仅以获取设计要求的硬度为目标, 而应根据模具的服役条件, 综合考虑其使用时的机械性能要求, 采用最优方案, 在保证硬度要求的

前提下, 还要保证其他性能的良好发挥和配合, 因为获得相同硬度的方法很多, 而不同方法虽然取得了要求的硬度但其他机械性能却有较大差异。图 11 是一种压铸模用钢 DSH(日本钢种: 0.40%C、8.75%W、3.50%Cr、0.20%V)由图可知, 要想获得压铸模使用所要求的硬度 42~44HRC, 淬火温度可以从 980~1200℃进行广泛选择, 而以 590~674℃的回火温度与之配合, 硬度虽可达到 42~44HRC, 其他机械性能差别却很大。仅以压铸模工作温度所要求的热硬性和热强性而言, 其选择的淬火温度以 1100℃左右为最佳。

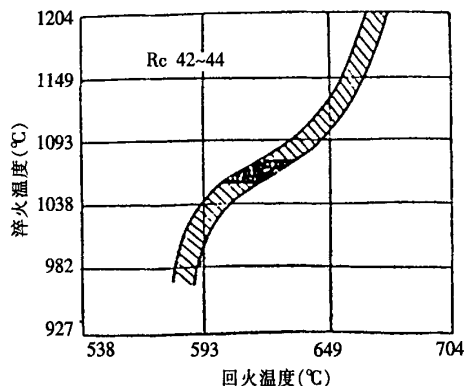


图 11 对应于 42~44HRC 的淬火温度及回火温度

表 6 T8 钢不同淬火方法的机械性能比较

| 机械性能                       | 贝氏体等温淬火(320℃) | 正常淬火, 340℃回火 |
|----------------------------|---------------|--------------|
| 硬度 HRC                     | 50.1          | 49.8         |
| 硬度 HS                      | 489           | 486          |
| 抗拉强度(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 182.3         | 182.1        |
| 延伸率(%)                     | 5.0           | 3.7          |
| 断面收缩率(%)                   | 46.4          | 26.1         |
| 冲击值 kg·m(无槽)               | 5.1           | 1.9          |
| 18.6mm 弯曲能力                | 150°以上不破坏     | 45°时破坏       |

## 参考文献

- 1 日本热处理技术协会. 热处理指南(上). 北京: 机械工业出版社, 1987.
- 2 [日]不二越热处理研究所. 热处理须知. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- 3 金属材料与热处理译丝编委会. 模具热处理(1). 上海: 上海市科学技术编译馆, 1965.
- 4 王建安. 金属学与热处理(下). 北京: 机械工业出版社, 1980.