



# 高合金工具钢热处理工艺改进的探讨

力士乐(北京)液压有限公司 (102100) 曹明宇

## 一、工模具钢的固溶球化和固溶细化

微变形工模钢大致上可分为两类:中铬微变形工模钢,如 4Cr5MoVSi (H11、H13);高铬微变形工模钢。它们属于莱氏体钢,其特点:①钢的组织中有大量的共晶碳化物。②淬火后常有较多的残余奥氏体。③热处理变形小。④耐磨性高。⑤承载力大。⑥高铬工模钢与中铬工模钢相比,由于共晶碳化物多于中铬工模钢,所以韧性远差于中铬工模钢。Cr12 系列就属于高铬微变形工模钢。

在实际生产中,韧性差、开裂报废是高铬微变形工模钢早期失效的重要原因。下面以 Cr12、Cr12MoV, Cr12Mo, Cr12W 系列中的 Cr12 为例。

Cr12 是一种广泛使用的冷作工模具用钢,但在使用中常因崩角、脆裂而早期报废,成为生产中令人棘手的难题。而企业通常只从热处理淬火温度的上下限和保温时间进行调整与控制,但结果往往不如人意。我们针对 Cr12 工模钢中共晶碳化物,呈网状堆集、带状堆集的碳化物以及粗大的角状碳化物常采用双重固溶的工艺,即在锻造工序中加一次固溶,转入热处理工序中再进行第二次固溶处理。

下面本人就从以下几方面来介绍改进的方法。

### 1. 锻造工序中的固溶球化

针对终锻后模具中残存部分共晶碳化物( $M_7C_3$  + 奥氏体)及呈网状堆集的部分碳化物,或轻度碳化物呈带状堆集,我们先采用在终锻后把锻坯放回加热炉中,重新加热到原始温度进行保温,时间以不超过 15~20min 为限。其目的是把在锻造过程降温中沿奥氏体晶界析出的碳化物,全部重新溶入奥氏体中,亚稳定的共晶碳化物也可望绝大部分溶解,并且使其成分均匀化。

随后根据锻坯的尺寸而定,我们采用喷雾或鼓风方法,以较快的速度将锻坯冷至 450~550℃后,立即放入已经升温至 680~750℃的炉中进行等温处理,目的是在固溶后进行快速冷却。如果抑止了降温速度,碳化物将以领先相沿晶界析出。同时,

由于为了不把高温固溶时获得的奥氏体较粗的晶粒遗传下去,急冷产物不允许是不平衡组织,因此模具冷至 450~550℃后立即放入已升温至 680~750℃炉中进行等温转变,从而得到成分均匀、碳化物颗粒圆整(略粗些)的珠光体组织。

### 2. 热处理固溶细化工艺

经过锻造工序中高温固溶球化后的锻坯,经粗加工后,在可控气氛炉中进行第二次固溶,这次固溶的温度低于锻造固溶温度。在加热方式上,采用阶梯升温(即中间保持温度),可选择在相变点( $Ac_1$ )稍低或者  $Ac_1 \sim Ac_m$  之间进行等温,目的是使锻模件表层与心部温差趋于平衡,为相变作准备,使相变在锻件的整体上均匀进行。由于是中间保持的温度较高,锻件整体都处在塑性状态,这样一是可进行快速加热;二是可以缩短固溶时高温停留的时间。因为钢中奥氏体转变一般是由形核长大、碳化物溶解和成分均匀这样几个步骤来完成的,这几个过程都是铁、碳和合金元素的扩散过程,而且需要一定的时间,如果在固溶温度停留时间过长,奥氏体晶粒就会粗化。

实际生产证明,固溶温度保持的时间取决于锻模心部温度到达固溶温度所需时间,这个时间又主要取决于中间保持后的表层与心部的温度差,及保持后的加热速度。当中间保温足够时间使表层与心部趋于平衡,就可大大缩短锻件在高温停留的时间,这样不但能使奥氏体的成分均匀,而且还不使晶粒长大。在随后的高速冷至 450~550℃后,迅速转入 650~680℃的回火炉中保温 1.5h 后,再转入 720~750℃炉中保温 1.5h,接着重新转入 650~680℃回火炉中保温 1.5h 后,随炉降温至 500℃以下出炉空冷。

采用上述工艺操作后锻件晶粒为 10 级左右,如果终热处理工艺控制正常,可达  $\geq 11$  级晶粒。其工艺如图 1、图 2 所示。

通过锻造工序中高温固溶球化+热处理低于锻造工序中高温固溶温度的固溶球化淬火回火后的工模具,其使用寿命大大高于传统工艺制造的工模具

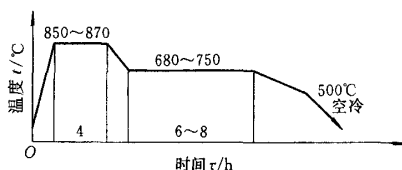


图1 常规球化工艺

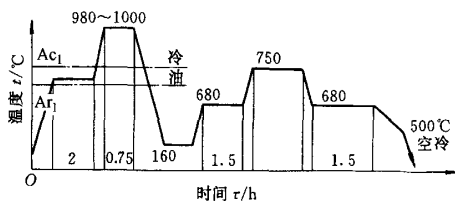


图2 固溶细化工艺

( $\geq 2$  倍), 其原因是工模具塑性和韧性同步上升。由此可见, 对共晶碳化物、碳化物网状堆集、碳化物带状偏析的不均匀度进行改善, 以工艺作为挖掘 Cr12 及相同类型的高碳高合金工模具钢材料潜力的重大技术关键是行之有效的。

## 二、高合金工具钢的化学热处理

近年来, 为了充分发挥工模具钢的潜力, 提高工模具钢的使用寿命, 如耐磨性、耐蚀性、抗咬合以及抗氧化等性能的提高, 国内外不少厂家采用化学热处理这种有效的手段进行渗碳、碳氮共渗、氮碳共渗、渗硼、渗铬、渗铝、渗硅、渗钒、碳化钛涂覆和离子注入, 以及各种类型的多元共渗和复合热处理。这里只介绍一种最常用的化学热处理方法——渗碳工艺操作, 但这和通常渗碳工艺有所区别的是高浓度渗碳, 其工模具表面的含碳量远大于 1.2%, 是一种较特殊的热处理工艺方法。

常规渗碳所采用的温度在 900 ~ 950°C 范围, 适应于一般低碳渗碳钢的工艺要求。在此温度下, 钢中铁素体和珠光体基本都溶解于奥氏体中, 奥氏体的化学成分比较均匀, 而对于高合金工模具钢, 尤其是那些含有较多难溶的合金碳化物 M6C7、M23C6 及 MC 等, 为了使奥氏体成分均匀, 使那些较难溶的合金碳化物更多的溶解, 我们采用  $\geq 1000^\circ\text{C}$  的渗碳温度。原因是 M7C3、M23C6 型碳化物在 980°C 明显溶解, 1000°C 完全溶解。这样就给实际生产带来了一个难题, 即在  $\geq 1000^\circ\text{C}$  渗碳加热后, 因时间长使奥氏体晶粒粗化, 在淬火后, 冲击

韧度大大降低, 达不到使用的要求。为此, 我们根据不同的钢种进行了两种不同的工艺操作。

### 1. 循环加热渗碳工艺操作

(1) 把钢加热到选定的渗碳温度进行渗碳, 在高温高碳势下, 表层的碳浓度很快就能达到相对应的 (ES 曲线上) 最大碳含量, 然后立即快冷至  $Ac_1 \sim Ac_m$  之间 (也有在  $Ar_1$  稍低的温度), 此时奥氏体变得极不稳定, 就从奥氏体中析出碳化物, 奥氏体中碳含量减少。

(2) 将工模具再次送入炉中进行加热渗碳, 当工模具被加热到  $\geq 1000^\circ\text{C}$  以上, 在所设定的温度再次进行渗碳 (见图 3), 这时前面析出的碳化物一部分将重新溶入奥氏体; 另一部分将存留下来。碳化物就是这样部分溶解的同时又残留着一部分, 并在每次冷却时又析出一部分, 使碳化物逐步增加。

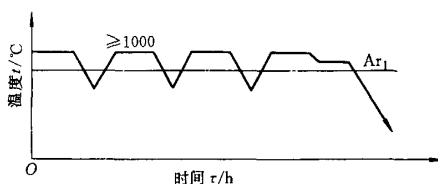


图3

通过这样反复多次加热冷却, 其目的是: ①可避免网状碳化物的形成。②易于形成细小的粒状碳化物。这种工艺的特点是每个周期冷却都要求急冷, 以免沿奥氏体晶界析出网状碳化物。渗层深度取决于渗碳的总时间。

3Cr2W8V 是我国热作模具的一种传统用钢, 由于它的合金元素正好等于高速钢的一半, 因此也有人称它为半高速钢。该钢种含钨量较高, 热强性能好, 但热导率 (导热系数) 却受到一定影响, 因此热疲劳性能稍差, 在使用过程中表现为出现粘模现象。我们通过高浓度渗碳对热疲劳性能达到一定改善, 即热疲劳裂纹出现的时间被推迟了, 使用寿命比未经高浓度渗碳的模具提高了 70% ~ 100%。

我们所采用的工艺: 1000°C 渗碳 1h, 快冷, 再升至 1000°C 渗碳 1h, 快冷, 再升至 1000°C 渗碳后淬入 160°C 分级油淬火。小模具可降温至 980°C, 保持 20min 后再在 160°C 分级油中淬火。淬火后模具渗层硬度可达 65 ~ 68HRC, 心部硬度为 48 ~ 52HRC, 渗层 2mm, 表面碳浓度为 1.6%。

### 2. 固溶渗碳操作 (限于低、中碳高合金钢)

为了弥补莱氏体钢模具的强度高、耐磨性好、



但韧性不足的缺陷,我们选用低中碳高合金钢进行表面渗碳,则可获得硬度高、耐磨性好的表层。而未渗层为板条马氏体,不但有高强度,而且韧性和塑性俱佳。其工艺如图4所示。

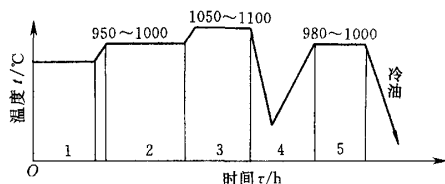


图 4

工艺、工序段说明:

(1) 在  $Ac_1 \sim Ac_3$  之间进行预渗 1~2h,目的是形成超显微碳化物核心,也可作为渗层颗粒状碳化物的长大核心。采取这种措施主要是改善钢渗层碳化物状态及分布。

(2) 在 950~1000°C (视钢种而定) 进行强渗,因为这类钢的  $Ac_3 \geq 950^\circ\text{C}$ 。

(3) 在 1050~1100°C 进行扩散,因为高铬、高合金元素含量的钢在渗碳后极易出现网状碳化物,所以把扩散温度升高到 1050~1100°C,使碳化物网重新溶解而消失。

(4) 扩散结束后,将模具立即快冷(热油硝盐),使渗层温度迅速冷至  $Ar_1$  以下,目的使渗层奥氏体在降温冷却过程中不会沿晶界析出碳化物,在整体温度降至 650°C 以下返回加热炉,到达设定的温度。

(5) 因渗层在 650°C 时奥氏体已快速转变成索氏体组织,不存在高碳高合金的残余奥氏体,模具的整体处在塑性状态,所以直接升至 980~1000°C,在保温短时间后进行淬火。

经过上述工艺处理后的工模具,渗层可得到碳颗粒均匀细小且密集分布,这种组织有很高的强度和耐磨性,再配合细小的板条马氏体良好的韧性、塑性,是一些高碳、高强度钢材模具所不能相比的。

下面以 2Cr13 钢制模具渗碳为例。

2Cr13 属于马氏体不锈钢,经常规淬火后,硬度在 40~43HRC,组织为板条马氏体,在具备高强度的同时,又有非常好的韧性与塑性。选用它在渗碳后可取代 Cr12 作冲孔模具和专用饲料环模。其工艺如图5所示。

渗层表面硬度值可达 65HRC,使用寿命可比 Cr12 模具提高 1.5~2 倍。

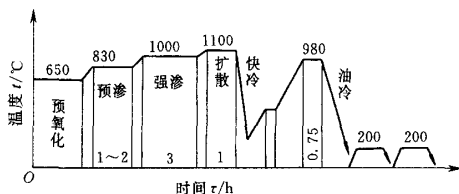


图 5

### 三、结语

与先进国家相比,我国的工模具制造水平还十分落后,尤其是先进的工模具热处理工艺的普及程度较低。关键因素是工模具热处理质量不高和不稳定,常常影响了工模具的使用寿命和可靠性。水平低下的原因很多,材料及热处理工艺是一个至关重要的原因。

需要指出的是,高碳、高合金工模具钢的工艺改进方法,同样可以用在一般高合金及中合金工模具钢上,只要我们能打破传统观念的束缚,采用先进设备、先进工艺进行热处理,就可使工模具寿命成倍的增加。

(20040618)

## 全国热处理行业第五次质量工作会议召开

由中国热协质量工作委员会与经营管理委员会联合举办的全国热处理行业第五次质量工作会议及中国热协经营管理委员会工作会议于 2004 年 8 月 9 日在黑龙江省牡丹江市召开。会议主题是推进管理体系建设,提高企业的产品质量水平和企业环保水平,增强竞争力。参加会议的有中国热协第四届质量工作委员会和经营管理委员会、热处理企业、热处理工艺装备企业、热处理工艺材料企业、热处理仪表配件企业的领导及质量工作人员共 70 余人。

会上,研讨了如何深入推进热处理企业质量管理、环保管理及认证工作;交流了先进热处理质量管理 and 质量认证工作经验;介绍了国内外先进热处理环保技术装备和管理经验;总结了第四届质量工作委员会和经营管理委员会工作;分别讨论提出了各委员会工作思路和计划;酝酿和筹备了第五届质量工作委员会和经营管理委员会换届工作。

此次会议为将在天津召开的中国热处理行业协会第五次会员大会暨 2004 年全国热处理行业厂长经理会议奠定了良好的基础。