

等温正火前期快冷用冷却介质的选择

北京华立精细化工公司 (昌平 102200) 张克俭

十多年前, 高速风冷等温正火生产线开始在齿轮行业推广应用。锻坯经过等温正火后, 不仅改善了材料的组织和性能, 还减小了齿轮在渗碳淬火后的淬火变形。良好的应用效果使等温正火得到越来越广泛的应用, 但是现用等温正火生产线存在的不足之处也时有所闻。在分析所有不足之处后, 我们发现, 从等温正火前期快冷介质的选择入手, 可以解决这些问题。

一、存在的不足及其产生原因

从其用途和使用效果方面反应有以下五类不足之处: 没有等温正火生产线就不能进行工件的等温正火; 形状尺寸出格的工件无法进行等温正火; 淬透性较差和厚度较大的工件, 难以达到要求的正火组织和硬度; 为保证风冷效果, 锻坯必须装得很稀疏; 等温正火后一些工件的硬度和组织差异仍然较大。

我们认为, 高速风冷的缺点是所有这些问题的产生原因。与水、油等冷却介质相比, 风冷的弱点是: ①风冷总有迎风面和背风面。迎风面冷却快, 背风面冷却慢。风速越大, 二者的差异也越大。②离出风口远近不同, 获得的冷却速度差异很大。为避免风压衰减过快, 风冷室大多很小。③在不大的风冷室中, 为保持风路畅通, 工件必须装得尽量少。④风冷本身的冷却速度就不够快。

但是, 高速风冷只是可供选择的冷却介质中的一种。下文将从钢材转变特点和锻坯的有效厚度对等温正火前期快冷的要求出发, 分析介绍冷却介质的选择原则, 并建立一种简便的选择方法, 供技术人员解决前述五类问题时参考。

二、钢种特点对前期冷却的要求

等温正火的工艺过程如图 1 所示。到达等温温度之前的快冷阶段, 就是本文所述的前期快冷。图 1 中的等温转变包括开始的先共析铁素体析出和随后的珠光体转变。由于多数渗碳钢的先共析铁素体转变非常迅速, 实

际生产中不可能在钢材发生先共析铁素体转变之前把工件冷却到要求的等温温度。因此, 等温正火的前期快冷只能要求在钢材发生珠光体转变之前把锻坯冷却到等温温度。图 2 是 20CrMnTi 钢的等温转变曲线图。从图 2 中可以找出在 600℃ 附近等温时, 该钢材珠光体转变的开始与结束时间。作为例子, 选几种常用渗碳钢, 并把它们的这些数据汇集起来, 成为表 1。从表 1 中可以看出, 钢种不同, 珠光体转变的时间也不同。

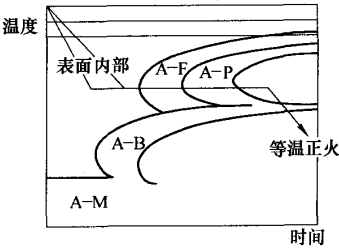


图 1 等温正火过程的示意图

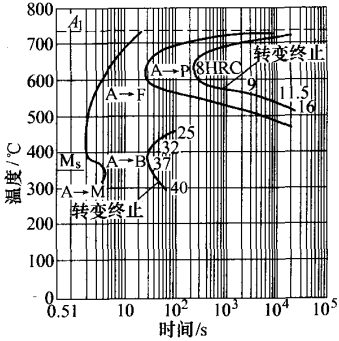


图 2 20CrMnTi 钢的等温转变曲线

表 1 几种常用钢的珠光体转变开始和结束时间

钢种	等温温度 /℃	珠光体转变 开始时间/s	珠光体转变 完成时间/min
20CrMnTi	600	35	7.5
20CrMo	600	300	12
20CrNi3	600	110	17

三、常用冷却介质的冷却速度对比

常用冷却介质和方式有：静止空气冷却、普通风冷、高速风冷、油冷、水冷，以及新近推出的在匀速冷却液中冷却。多数齿轮锻坯属于中小型工件，水冷太快，可不予考虑。对淬透性较差钢种制造的中等厚度工件，有时需要冷却速度接近油的冷却介质。因为 600℃ 左右的工件出油后向等温炉的转移过程必然引起烟火，用油都出于不得已。

匀速冷却液属于水性溶液，它具有水性介质不燃烧和没有烟火的特点。从高温冷却到三四百度的过程中，在冷却过程曲线图上，匀速冷却液的冷却曲线接近一条直线。这说明，在这一温度范围，它的冷却速度变化很小。匀速冷却液的命名，就出自它的这一特点。

与快速风冷相比，匀速冷却液有以下优点：冷却速度变化很小；工件上不同部位都能接触介质，冷却效果均匀；不燃烧，无烟火；具有比油更好的流动性；冷却速度适中，可用于中小工件；不需要专门的设备，只要有装介质的槽子和等温炉，就可以完成不同形状大小工件的快冷处理。其缺点是冷却速度不如油快，不适用于大型工件。

用符合国际标准的冷却特性测试仪检测这几种冷却介质的冷却特性，并把它们的过程曲线画在同一张图上（见图 3）。可以看出，不同冷却介质的冷却速度快慢相差很大。

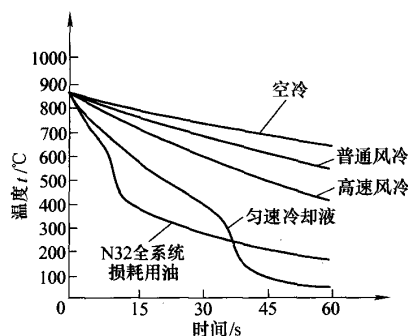


图 3 常用冷却介质的冷却曲线

说明：普通风冷是用普通电扇吹风，高速风冷是用空压机产生的压缩空气吹冷，探棒离风口约 20cm。

四、圆棒直径对冷却快慢的影响

常用渗碳钢多属低合金结构钢，一般认为低合金结构钢的导热特性差别不大。因此，可以利用热处理书刊

上提供的不同直径棒料在普通矿物油中的冷却曲线，来确定棒料在油中冷却时，表面和中心冷却到不同温度的时间。在图 4 的冷却曲线中，横坐标为对数坐标，表示冷却时间，单位为 s；纵坐标表示温度。几个纵坐标表示棒料经历的不同加热温度。图 4 中用了实线和虚线两种曲线，分别表示棒料的中心和表面的温度变化情况。曲线上的数据，表示棒料的直径（mm）。本文将参考图 4 中的数据，并把它们用到等温正火前期快冷介质的选择中。

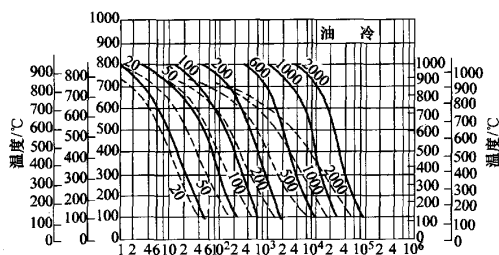


图 4 不同直径棒料在油中的冷却曲线

五、棒料直径与冷却到 600℃ 所需时间的关系曲线

多数齿坯的等温温度在 600℃ 附近，因此取 600℃ 为等温温度的代表。由图 4 可看出，棒料表面和心部冷却到 600℃ 所需时间差别很大。为了简化问题，我们假定：油中表面冷却到 500℃ 的棒料，在快速转移到等温炉的过程中内外温度能基本趋于一致，且大约为 600℃。选定 900℃ 的温度作为有代表性的正火加热温度。按照这些约定，从图 4 中读取不同直径棒料表面冷却到 500℃ 所需时间的数据，作成棒料油冷到 600℃ 所需时间和直径的关系曲线（如图 5 所示）。

然后，在图 3 中比较不同冷却介质冷却到 500℃ 所需的时间长短。办法是，先过纵坐标上 500℃ 刻度作一水平线。该水平线与各冷却介质的冷却曲线的交点对应的冷却时间，可作为各介质使棒料冷却到 600℃ 所需的时间。把这几个时间列成表，并以油冷时间为 1，求出了其他介质中冷却到 600℃ 所需时间相对于油冷的倍数，并制成表 2。

表 2 不同介质中冷却到 600℃ 所需时间对比

冷却介质	冷却速度比值	冷却时间比值
普通油	1	1
静止空冷	0.09	11

(续)

冷却介质	冷却速度比值	冷却时间比值
快速风冷	0.13	7.7
高速风冷	0.22	4.5
匀速冷却液	0.46	2.2

再按表 2 所列冷却时间长短的比例关系, 算出其他介质中冷却到 600℃ 所需的冷却时间。具体的做法是, 以匀速冷却液为例, 把图 5 中油冷曲线上直径 20mm、40mm、60mm 和 80mm 等的油冷时间乘以 2.2, 作为在匀速冷却液中, 相应直径棒料冷却到 600℃ 所需的时间。用这样算出的数据作成匀速冷却液中不同直径棒料冷却到 600℃ 所需时间的曲线。依此类推, 算出其他介质的相应数据, 并把它们的曲线作在同一张图上, 如图 5 所示。考虑到采用高速风冷时可对风量和风温进行调节, 而采用匀速冷却液时可以调节液温, 图 5 中把这两种介质的曲线画成为一定宽度的曲线带。

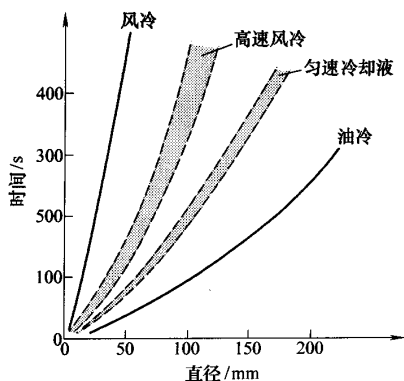


图 5 冷却到 600℃ 所需时间与棒料直径的关系曲线

在图 5 的曲线中, 纵坐标反应的是正火加热后的过冷奥氏体的珠光体转变特性, 横坐标反应的是工件的形状大小的影响。当形状确定下来之后, 比如在图 5 中只针对棒料时, 横坐标就只表示工件大小的影响。其他形状的工件, 用同样的思路, 也可以作出相应的类似图线来。图线内的曲线或者曲线带, 则表示不同冷却介质 (及其用法) 的特性。

六、等温正火前期快冷用冷却介质的选择方法

至此, 根据齿轮锻坯的钢种、棒料直径和图 5 所示曲线, 就可以为等温正火前期快冷选择淬火介质了。下面结合例子讲述选择方法。

例一, 为 $\phi 30\text{mm}$ 的 20CrMnTi 棒料选择介质。

首先, 从表 1 中找到 600℃ 等温时 20CrMnTi 开始珠光体转变的时间为 35s, 接着在一张相当于图 5 的曲线中, 从纵坐标 35s 处作一条水平线, 从横坐标直径 30mm 处向上作一条垂线。这两条直线的交点 A, 正好落在匀速冷却液曲线带中, 如图 6 所示。普通风冷和高速风冷的相应曲线都在 A 点的左边, 这说明它们的冷却速度都过慢, 不适合用做该齿轮锻坯等温正火前期快冷的冷却介质; 而匀速冷却液则正好可以选用。

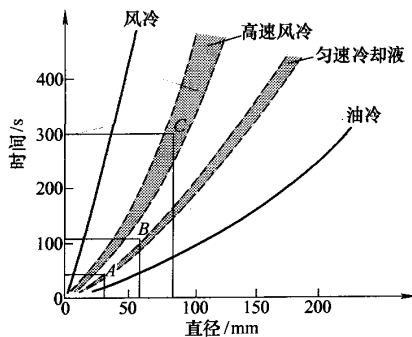


图 6 举例用介质选择图

例二, 为 $\phi 60\text{mm}$ 的 20CrNi3 棒料选择介质。

从表 1 查出 20CrNi3 钢材开始珠光体转变的时间为 110s, 并作成相应的水平线。再从 $\phi 60\text{mm}$ 处作成相应的垂线, 两线相交于 B 点。B 点在高速风冷曲线带的右边, 说明用高速风冷的办法, 满足不了该类锻坯等温正火前期快冷的要求。匀速冷却液的曲线带在 B 点的右边, 这说明应当选择匀速冷却液。

例三, 为 $\phi 80\text{mm}$ 的 20CrMo 棒料选择介质。

从表 1 找出 20CrMo 开始珠光体转变的时间为 5min (300s), 并在图 6 中作一条水平线。再从 $\phi 80\text{mm}$ 作一条垂线, 两线相交于 C 点。C 点正好在高速风冷的曲线带内, 说明高速风冷可以在钢材发生珠光体转变之前把该锻坯冷却到 600℃ 左右的温度。当然, 匀速冷却液的曲线也在 C 点的右边, 同样适于该锻坯等温正火前期快冷之用。

例四, 为不同钢种确定最大棒料直径。

从表 2 所举的 4 种钢开始珠光体的时间, 可以确定各介质能处理的最大棒料直径。办法是, 用珠光体转变的开始时间在图 6 中作水平线, 这些水平线与各种介质

(下转第 35 页)

~1100MPa。因此需要对喷丸工艺进行严格控制和确保工艺的正确实施与操作。

三、齿轮喷丸存在的问题与解决措施

喷丸工艺技术虽然在齿轮行业已被应用了多年,但在工程应用中多数是被用来进行清理和去毛刺处理,在强化喷丸的应用中还存在很多问题。主要表现为以下几个方面:

1. 选择弹丸的合理性问题

齿轮经过化学热处理后,表面硬度多数已达到 58~62HRC,工厂实施喷丸强化时,采用的弹丸硬度多数为 45~52HRC,这一方面导致齿轮喷丸区域得不到充分的强化,另一方面弹丸在喷射撞击零件时,由于硬度低而易破碎或变形。在喷射齿轮零件时,应采用高于或等于表面硬度的硬弹丸来进行强化,以确保表面的残余压应力数值和表面强化层深度。此外,弹丸尺寸的选择应确保齿轮的根部得到强化,在工厂实施喷丸强化过程中,由于选择的弹丸直径过大常常导致小半径的齿根部位得不到喷射。为了确保喷射到齿轮的齿根部位,在选择弹丸规格时,应确保弹丸直径小于齿根半径的一半。

2. 表面覆盖率的检测问题

表面覆盖率是指受喷零件表面上弹坑占据的面积与受喷表面总面积的比值,通常用百分数表示。在此需要强调的是表面覆盖率指的是零件而不是检测喷丸强度用的弧高度试片(Almen 试片),所以在工程应用中如果采用弧高度试片的表面覆盖率来对零件进行喷丸工艺,将导致齿轮表面覆盖率达不到应有的要求。弧高度试片的硬度为 44~50HRC,与齿轮表面的硬度 58~62HRC 相

比差的较多,因此齿轮喷丸达到 100%的覆盖率所需要的时间要长于弧高度试片达到 100%覆盖的时间。

3. 二次喷丸问题

国内目前由于没有对表面残余压应力给以指标要求,所以对表面残余应力的检测和表面质量问题还没有引起重视,为了提高表面残余压应力数值,降低表面粗糙度,国外发展的二次喷丸工艺技术已在齿轮行业得到广泛应用。二次喷丸主要是指首先采用高强度喷丸工艺获得一定深度的表面强化层,然后再采用低强度喷丸工艺使表面残余应力得到提高,并改善表面粗糙度。国内对喷丸的认识不足,重视不够,对工厂而言,能够对齿轮进行喷丸强化已属不易,再购置一台设备进行二次喷丸强化由于费用问题多数难以实施。随着国际竞争的加速和对齿轮寿命要求的不断提高,二次喷丸强化工艺技术将难以避免地应用到齿轮零件。

4. 喷丸强度选择问题

对齿轮的喷丸目前在工厂实施过程中存在一些错误认识,在实际喷丸时,操作人员和技术人员常常认为,喷丸强度越高,零件的喷丸强化效果越好,所以喷射的速率很高,而事实上这并不科学。一方面是喷丸强度越高,冲击力越大,弹丸的破损率就越高;另一方面是喷丸强度较高时易在零件表面产生微裂纹。对于任何一种材料或零件而言,都存在一个适宜的喷丸强度范围。喷丸强度低时无法得到较大的残余压应力和足够深的表面强化层;喷丸强度太高易产生表面微裂纹或齿轮硬化层的剥落等问题。 (20070816)

(上接第 33 页)

的冷却曲线的交点对应的值,就是该介质可能处理的该钢种棒料的最大容许直径。表 3 汇集了这几种钢在不同介质中冷却的最大容许直径值。

表 3 前期快冷用“钢种-介质-最大容许直径”

钢种	可处理的最大棒料直径/mm			
	普通风冷	高速风冷	匀速冷却液	油冷
20CrMnTi	12	20	32	60
20CrNi3	17	50	65	110
20CrMo	37	95	140	218

在任何介质中冷却,直径超过表 3 所示的最大值的工件,其等温正火就不可能得到完全符合要求的组织和性能,且组织和性能的差异也必然增大。

七、几点说明

(1) 本文建立的只是粗略估算法。建立本方法主要依据的是钢的等温转变曲线、油等介质的冷却曲线和棒料冷却曲线。而这些曲线或特性本身又受多种因素影响。即便钢种、介质和棒料尺寸都相同,所获得的这三项特性也不可能完全一致。同时,在建立本方法的过程中还采用了一些简化问题的假定。因此,本文介绍的只是粗略的估算方法。

(2) 多个工件装挂在一起冷却时,锻坯获得的冷却速度通常比估算值要慢。

(3) 其他形状的锻坯,需先凭经验换算成棒料直径,再用此法。 (20070808)