大型锻件的调质热处理实践

河南中原特钢股份有限公司工具厂 （济源 454685） 耿学明 黎定旺

大型锻件的调质热处理多数情况下是作为最终热处理，赋予大型锻件的最终性能；也有部分大型锻件以调质热处理作为预备热处理，而最终需要的性能是高硬度和高耐磨性。

对于大型锻件而言，无论是调质热处理还是赋予高表面硬度和高耐磨性的淬火＋低温回火的热处理，都必须谨慎小心，因为大型锻件内部缺陷往往多于中小件。这些锻件基本上都是由钢锭直接锻成一件或两件，因此钢锭中的许多缺陷被保持下来，例如化学成分的不均匀，疏松的程度大，组织的不均匀，存在较多的气孔、夹杂而且分布不均，以及存在着较大的热处理应力等。一般来说，锻件的尺寸和重量越大，合金的成分越高，这些问题就越严重。

大型锻件在生产过程中，往往需要多次热处理。锻造成形后的热处理被称为锻后热处理或叫做预备热处理。经机械加工后的热处理被称为最终热处理。

大型锻件锻后热处理的目的主要是防止产生白点，改善锻件的内部组织，细化晶粒，为后续热处理准备良好的组织条件，使锻件获得良好的力学性能，同时消除锻造应力，降低硬度，以提高切削加工性。

大型锻件经粗加工后，需要赋予它最终的力学性能，以满足或达到技术条件所要求的性能。这就是本文所谈的大型锻件的调质热处理。

1. 大型锻件的（正火）淬火的加热

（1）加热温度 大型锻件由于内部存在较多的冶金缺陷。对于整支钢锭锻成的锻件，加热时往往采用规定温度的上限，有时依据锻件的成分偏析及加热设备的条件，采用差温加热的方法以满足实际需要。

（2）加热方式 大型锻件在加热时，依据锻件的有效截面，为避免过大的热应力，需要控制装炉温度和加热速度。截面尺寸较大，合金元素含量较高的大锻件，多采用阶梯式加热。一般地说，对于形状不复杂、有效截面尺寸不大的锻件，可热装炉同时不限制加热速度。总之，大型锻件在加热过程中，表面和心部的温差较大，因此大锻件在加热时应特别注意，不要产生较大的热应力。

（3）升温速度 大型锻件在加热过程中，多数采用阶梯式加热，在低温阶段的升温速度，即中间保温前的加热往往要限制加热速度，一般应控制在≤70℃/h。中间保温过后的加热速度可以快些，一般的设备在较高温度范围内其加热速度往往较慢，而不加限制。

（4）均温与保温 大锻件在炉中加热升温过程中，当控温仪表指示达到工艺规定的温度时即为均温开始，当炉中工件本身的温度均匀并与炉膛（或炉墙）的火色一致时为均温终了。但一般来说，这种目测均温时间并不理想，时间的长短伸缩性大。因此，通常取保温时间的1～1.5倍作为均温时间。保温时间的选取，则依据工件有效截面的大小确定，保温时间一般按0.8～1.0h/100mm选取。对中、高合金钢取上限，其余钢种取中下限。

2. 大型锻件的淬火冷却

大型锻件在淬火冷却时，最关键的是选择合适的冷却速度，其次是锻件的终冷温度。终冷温度的选取主要依据锻件的内在质量。一般来说，大型锻件在调质之前都要进行检测和探伤，检测结果符合技术条件要求的锻件，一般都可以选取50～150℃作为锻件的终冷温度。

大锻件常用的淬火冷却方式较多，对一般锻件而言，多数情况下采用水冷、油冷、水-油冷却和水-空冷却。对重要的锻件多采用新的淬火介质和冷却方法。本文所着重介绍的冷却方法是水冷、油冷、水淬油冷却方法。

第一，水冷。碳素钢锻件及低合金钢锻件的碳当量≤0.75%时，都可以水冷，锻件经水冷再经高温回火后的力学性能比较优越，综合性能好。一般地说，在不引起锻件缺陷扩大的前提下，都可采用水冷却。

第二，油冷。对中、高合金钢锻件一般均采用油冷。锻件在油中冷却比在水中冷却的速度小，工件内外温差小，可显著减少工件的淬裂倾向。工件在油中冷却后的出油温度一般在100℃左右。最高的出油温度以出油后不着火为准。

第三，水淬油冷。水淬油冷的工艺方法是大锻件加热后普遍采用的冷却方法。这是双液淬火冷却最典型的方法之一。其方法的关键是控制好工件在水中的冷却。一般地说，工件在水中冷却时工件的中心温度可控制在400～450℃，然后将工件迅速转入冷却速度较慢的油中冷却。工件的表面和中心的温度难以控制。因此，往往是以经验公式来确定工件在水中和油中的冷却时间，以达到控制冷速和终冷温度的目的。

大锻件的淬火冷却，特别是长的轴类件，由于吊装的方式不同，冷却时间的计算方法也不同。以9m长的大锻件垂直入水为例，计算工件在水中的冷却时间。其计算方法为：①以工件底部入水开始计时，底部出水时计时结束。②以工件上部入水开始计时，上部出水时计时结束。③以工件底部入水开始计时，上部出水时计时结束。分析上述计时方法，我们可以明显地看到，在相同的冷却时间内，方法①中工件的上部比工件的底部在水中少冷约28～30s（9m长的工件垂直入水时，从底部入水起到上部入水止，约需14～15s）。方法②中，工件的底部水冷时间比上部的水冷时间多28～30s。而方法③中，虽然工件的底部比上部同样多冷28～30s，但此计时的方法在规定的冷却时间内，工件的底部冷却时间比规定的冷却时间多14～15s，工件上部冷却时间比规定的冷却时间少14～15s，但此方法比方法①、方法②更为合理。

3. 大锻件淬火冷却时间的确定

大锻件淬火冷却时间的确定是大锻件在生产实际中需要严格控制的工艺参数，工件冷却时间短，则工件的力学性能达不到要求，而冷却时间过长，终冷温度过低，会增大工件淬裂的危险性。因此，冷却时间的确定显得比较重要，然而确定冷却时间时还必须考虑设备容量、介质温度及循环搅拌的条件等。

通常采用如下公式来估算冷却时间：

$$\tau = \alpha D$$

式中 τ——冷却时间，s；

D——工件的危险截面或有效截面，mm；

α——冷却系数，s/mm。水淬油冷时，水淬α取0.6～1.0s/mm，油冷取7～9s/mm。

实际生产中，我们确定冷却系数时，依据工件的形状、危险截面的尺寸等因素全面考虑冷却系数的确定。一般地说，形状复杂、危险截面尺寸小者，取下限，反之取中上限。但有时也为了提高工件的力学性能水平，在确保不淬裂的情况下，在水中的冷却系数可提高到1.4～1.5s/mm，甚至更高些，具体见后面的例子。工件在水中冷却达到规定的时间，然后迅速将工件转入油中冷却，工件在油中的冷却系数取7～9s/mm，以保证工件出油时不着火为宜。

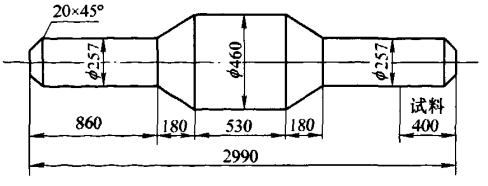
4. 大型锻件的回火

大锻件淬火冷却后应及时回火处理，以防止开裂。淬火后回火的目的是赋予工件的最终性能，同时消除工件的淬火应力，获得稳定的回火组织，满足力学性能的要求。

（1）回火温度的选择　大锻件的回火温度依据性能、组织的要求确定，可以进行工艺试验确定回火温度，也可依据参数资料结合具体情况确定。

（2）回火时均温、保温时间的选择　大锻件回火时，应依据工件形状的复杂程度来控制升温速度，以防止工件中缺陷的扩大，有时也需要在350℃左右保持一定的时间，防止升温过快，然后升温到工件回火温度。工件回火保温时间的选取，依据我们的经验是约2h/100mm。虽然大锻件回火在较高的温度下进行，但工件与炉膛的温度无法目测估计，因此，均温时间取保温时间的1～1.5倍计算。

例如轴锻件，其尺寸如附图所示。



轴锻件结构

热处理工艺如下：

使用设备：台车式电阻炉，功率315kW，额定温度950℃。

装炉量：5.64t（3支），炉锭号：38399—2、3，38411—2。

（下转第45页）

相当于常规常压下普通油冷淬火的75%左右，所以对某些淬硬性差的材质来说，可能达不到到淬火目的。为此在此类材质淬火前，向冷却室要充入 $1\times10^4\sim5\times10^4$ Pa 高纯（99.999%）的氮气，在油面形成一定的气压使冷却过程中的蒸气膜阶段的蒸气膜变薄，时间缩短，实现充分淬火。对于淬硬性相对中等的材质，油面压强要控制在 $5\times10^3\sim1\times10^4$ Pa；对于淬硬性很好的材料可以选择先充气或不充气的方式，要是充气的话可以先充气后入油（油面压强控制在 $2.5\times10^4\sim5\times10^4$ Pa）或先入油后充气，对于后充气的方式所充的气体可以为纯度较低的（99.8%～99.99%），这样相对成本就较低。在油面压强的调节上基本上要防止和减少淬火时产生的油蒸气进入加热室而造成污染，所以最好采用较高的压强，就是淬硬性很好的材料最好也要充点惰性气体。

7. 结语

本文探讨所得到的经验可归纳如下几点：

（1）真空加热真空度的选择的原则上是：低温用高真空，高温用低真空。真空加热起始真空度不得低于 6.67×10^{-1} Pa。

（2）为减少热处理变形量及真空加热存在滞后的特性，最好是分段预热加热，要求炉前操作人员勤观察炉色，调整工艺时间。

（3）淬火前要预冷一下，且充一定气压的惰性气体，以确保真空淬火油的淬火能力，提高热处理的品质。

（4）真空热处理的工件在装炉前要清洗，并要求有序排列，如直径或厚度差别较大时，大工件必须装在边缘，小工件装在里面，从而尽可能达到各零部件的均匀受热。

综上所述，热处理是理论与实践相结合很强的一门技术，需要我们在平时不断地分析、总结，以积累各方面的知识。**MW**　（20091216）

（上接第41页）

入炉温度≤800℃；预热时间：工件入炉后待仪表指示稳定以后再升温。升温速度：70～90℃/h；加热温度：(860±10)℃；均温时间：4.5h；保温时间：4.5h。

冷却规范：出炉后空冷170～180s；水冷时间（450±5）s（按水冷系数 $\alpha=1.75$s/mm）；油冷时间45～50min。

回火入炉温度≤400℃；回火升温速度≤60℃/h；回火温度：(585±10)℃；回火均温时间：8h；回火保温时间：8h（按回火保温系数≈2h/100mm计算）。力学性能检测：每一热处理炉2支带试样的工件全做测试。每个试片取一拉三冲，结果见附表。

试样力学性能检测结果

代号	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	A_4(%)	Z(%)	A_{KV} /J(20℃时)
性能标准	850	1040	15	45	60
38411—2	890	1040	18	47	71/69/67
38399—2	930	1070	17	60	66/68/71

皮下33mm的硬度值（每支对称测4点布氏硬度HBW）

38411—2：317、315、319、315

38399—2：311、319、320、319

MW　（20091206）

（上接第42页）

第六，对于需进行冷校直的复杂或易变形的零件应设计专用夹具。

（3）工装设计中要合理选材，某些工装材料需要考虑具有特殊性能，如绝缘性能等。要少用或不用昂贵的材料，合理选用耐热材料。

（4）工装结构应轻巧，制造方便，装卸迅速容易，使用寿命长，安全可靠。

（5）工装设计要使热损耗降至最低。

3. 工装设计的程序

根据零件特点和热处理类型，对工装的形式、结构、大小等先有一个初步设想，画出草图。经会签和审批，做出样品，供生产试用，如确实可行，再绘制工装零件图，经审核、批准后进行描晒，分发有关部门制做。

4. 工装管理

热处理工装管理体制包括工装申请、审批、设计、订货、制造、鉴定、保管（含实物和技术文件）、领用、检查（查工装质量完好率）、维修、报废和改进等。

5. 结语

总之，对零件决定要采用工装的，应撰写工装任务书，进行工装设计，并在工装试验后进行鉴定，经一段时间的使用后，再进行改进并最后定型。**MW**　（20091215）