



论文编号: 1001-3954(1999)01-0064-65

锻件白点的形成和防止

沈剑峰, 康建军, 李 雷, 黄兴高

洛阳矿山机械工程设计研究院工艺所, 河南 471039

白点是锻件在锻后冷却过程中产生的一种内部缺陷, 在钢的横断面上表现为细微裂纹, 在纵面上呈现圆形或随圆形的银白色斑点。白点显著降低了钢的机械性能, 尤其是塑性和韧性。而且由于白点带来高度应力集中, 会使服役中的零件易于发生脆性断裂。由于白点危害性大, 因此在锻件技术条件中明确规定, 一经发现白点, 锻件必须报废^{[1][2][3]}。

1 白点的形成机理

关于白点的形成机理, 说法有所不同, 但却公认白点的产生是钢中氢与应力联合作用的结果。由于侧重点不同, 出现了多种“假设”, 其中以“氢—应力”假设^{[4][5][6]}最具代表性。此“假设”的基本观点是根据金属塑性变形的最小阻力定律, 自由锻锻件中心多为大变形区, 该区变形速度大, 因而会驱动更多的位错运动, 晶界滑动, 引起位错塞积。而氢通过位错传递, 造成位错塞积处的氢浓度增高, 引起钢的局部脆性。在锻后冷却过程中, 随着温度降低因奥氏体转变, 除了在锻件内部产生内应力(主要是组织应力)外, 同时氢在钢中溶解度显著减少, 促使氢原子结合成氢分子析出, 于是在钢中氢含量高的局部脆性地区, 在组织应力和氢析出应力作用下, 脆性部分开裂, 在钢中形成白点。

此外, 生产证明, 锻件中的残余奥氏体区, 非金属夹杂物区和心部空隙未锻合部位也是导致白点形成的主要因素。因而关于白点的成因, 还有如下论点^{[7][8][9]}。

由于氢在残余奥氏体区、非金属夹杂物区和心部空

偏角之差不能超过 1.5° 。如果两端万向节满足这个要求, 则认为传动轴偏角的影响可以忽略不计。

应该注意到, 如果“6对1.5法则”规定的边界被超出, 万向节将在正常范围内工作, 随之给传动轴和传动系统带来潜在威胁。

通常来讲, 如果传动轴的工作转速比较低, 可以保持相对高的角度。反之, 在高转速下工作的传动轴, 则应使得传动轴偏角比上述推荐值低一些。对于装有双万向节的传动系统。通过表1可以帮助用户选择最佳的工作轴偏角。

使用表1时, 根据第一万向节的偏角, 在第一行中查出相应角度, 再根据传动轴极限转速, 在第一列中查出相应数据, 行与列交点处的数据即为第二万向节的极限允许偏角。

4 维修保养是最大限度延长传动轴寿命和保持良好性能的关键

在竞争日益激烈的今天, 车辆的可靠性是绝对重要的基础, 非正常损坏和例行之外的维护工作将会产生昂贵的费用。如果确定了一辆车的传动系统传动轴偏角具有合理的参数, 那么按照下述七条内容来进行检查, 就可以保证传动系统的最佳性能和最大寿命。(1)检查输入、输出法兰套是否松动。(2)检查输入、输出轴是否存在径向松动。(3)检查端部万向节是否有松动。(4)检查伸缩花键轴的径向间隙不能过大。(5)检查传动轴上的配重, 不能有损坏和丢失, 或者有多余物品。(6)检查万向节上的注油孔。(7)检查中间轴承。

虽然传动轴平时处于不易观察到的位置, 并且往往被忽略, 但是人们应该牢记, 如果一旦在传动轴上出现问题将会给车辆运行带来很大的麻烦, 甚至造成巨大损失。□

(收稿日期: 1998-07-01)

隙未锻合部位的溶解度较高, 在冷却过程中, 由于氢原子或氢离子的析出, 造成氢在残奥相变区、非金属夹杂物周围及心部空隙未锻合部位附近局部富集, 形成较大的氢压力, 降低了钢的塑性, 使钢变脆。同时, 夹杂物心部空隙未锻合部位在钢中如同缺口一样, 引起应力集中, 形成三向拉应力的应力场。于是在氢压力和钢中内应力的作用下, 沿金属强度弱的方向开裂, 形成白点。

通过以上论述, 防止白点产生的方法是最大可能地降低钢中氢含量和锻件的内应力, 减少残余奥氏体和非金属夹杂物, 提高锻件的致密度。

2 白点的防止^{[1][5][10][11][12]}

2.1 尽可能降低锻件中氢含量和非金属夹杂物 控制冶炼是达到这一目的的最佳方法。具体做法如下: (1)使用经严格烘烤的干燥的氧化剂、造渣材料和铁合金; (2)强化氧化期沸腾操作, 去气除杂; (3)浇注时使用优质耐火材料制成的浇注系统, 要求清洁、干燥, 防止气体和夹杂物进入钢水; (4)采用真空处理、真空浇注和炉外精炼等技术, 可收到良好的去氢除杂的效果。美国电力研究院、西屋公司采用低硫硅脱氧、真空碳脱氧和电渣重熔等先进工艺, 生产出所谓的“无疵”转子锻件用超纯钢锭。其含氢量降到 $0.000\ 02\%$ 以下, 硫含量低于 0.002% , 硫化物基本上被消除。

若冶炼后钢中氢含量偏高, 锻后扩氢处理也不失为一种降氢的方法。同时, 通过扩氢处理过程, 降低锻件内的应力。

2.2 锻后扩氢处理和降低锻件内的应力 锻件中氢的去除是一个扩散过程, 即溶于钢内的氢向锻件外层扩散, 再由外层向周围介质扩散。采用热处理去氢时, 希望形成氢溶解度小的组织, 这样, 只要扩氢充分, 钢中残留量就越少。由于氢在奥氏体中的溶解量远大于铁素体中的溶解度, 因此, 锻后扩氢处理应在奥氏体转变为珠光体(或贝氏体)的相变温度下进行。同时由图1看出, 在 $600\sim 660^\circ\text{C}$ 范围内非常有利于氢的扩散。

为了减少组织应力, 要求锻件在锻后冷却过程中, 得到单一、均匀的组织。为了达到上述二个目的, 制定了锻件防止白点的锻后冷却和热处理工艺。常用的有等温冷却、起伏等温冷却及起伏等温退火等。防止白点的热处理曲线和奥氏体等温转变曲线的关系如图2。

图2a适用于白点敏感性较低的碳

钢和低合金钢。这类钢在C曲线的鼻尖附近保温, 可以使奥氏体在最短时间内转变为氢溶解度小而扩散系数又较大的珠光体。一般在 $620\sim 660^\circ\text{C}$ 等温处理, 长期保温, 以后缓冷。

图2b适用于白点敏感性较高的小截面合金钢锻件。这类钢C曲线有二个鼻子尖, 在珠光体变区奥氏体很稳

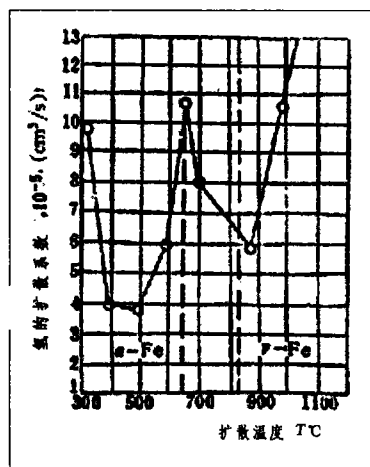


图1 氢的扩散速度与温度关系曲线

通用 COMMON TECHNICS

定,需要保温很长时间才能使奥氏体转变为珠光体。而在贝氏体转变区,奥氏体很快地转变为贝氏体。如34CrNi3Mo在600~620℃下过冷,奥氏体需保温15 min以后分解为珠光体,完全分解要在15 h以上。而在280~320℃只需16 min就有95%分解为贝氏体,因此采用280~320℃下过冷,使奥氏体迅速过冷到贝氏体转变区,在过冷温度下保温,使奥氏

实法将600 t钢锭锻造成 ϕ 2 720 mm汽轮机整体低压转子。^[14]

3 防止大型锻件产生白点的实例

中信重型机械公司1997年生产的一批12 000 kW转子(材质为34CrNi3Mo)由于对白点采取了综合防治措施,转子锻件毛坯经超声波探伤后,锻件内无白点产生。下面简单介绍其生产工艺要点。

3.1 平炉冶炼要点 除了使用烘烤过的铁合金、石灰、造渣材料等减少钢中氢的来源外,强调:(1) 根据平炉具体状况,确定料比,确保脱炭量,以保证通过精炼期操作,去除钢中氢和非金属夹杂物。要求熔清碳1.10%~1.40%;(2) 采用包底吹氩及RH真空循环脱气处理。进一步去除钢液中的氢和非金属夹杂物。要求吹氩时间>10 min; RH真空循环脱气处理真空度100 Pa以下,时间>10 min。

3.2 锻造要点 采用WHF锻造工艺,以保证最大限度地改善内部组织,提高锻件的致密度。

3.3 锻后热处理 为进一步去除锻件内的氢,同时消除锻件内的应力,制定了合理的锻后热处理工艺(见图3)。

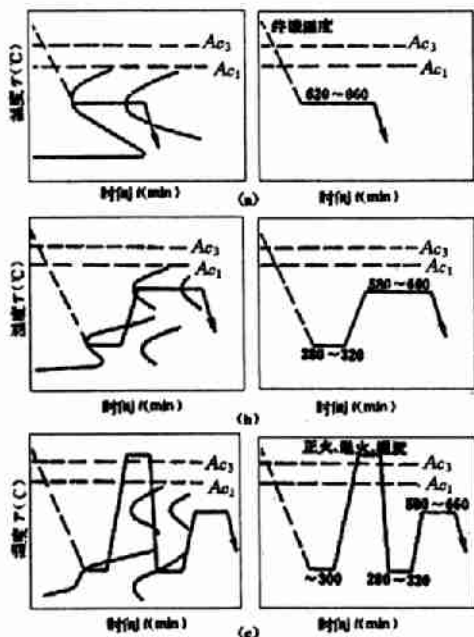


图2 防止白点热处理与奥氏体等温转变曲线的关系示意图

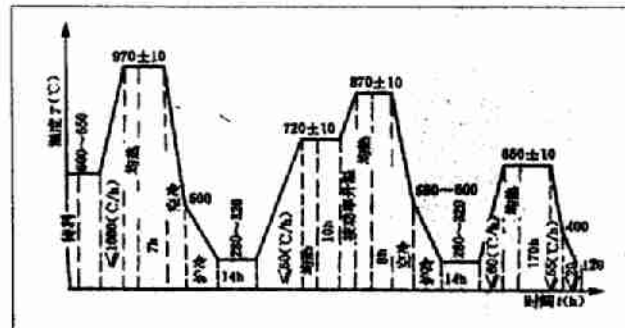


图3 锻后热处理工艺曲线

体转变为贝氏体组织。然后升温到580~660℃,提高氢在 α 相中的扩散能力,以利于去氢。

图2c适用于白点敏感性较高的大截面合金钢锻件与图2b工艺不同的是锻件冷却后还需重结晶一次。这是由于锻造时,不同截面的锻造温度变化很大,变化程度也不一样,还有局部过热现象存在。造成锻件晶粒粗大,存在较大的残余应力。由于锻件各部分晶粒大小不一,过冷奥氏体的稳定性也不一样。当过冷到280~320℃时各部分奥氏体的转变就不一致,导致较大的组织应力。这种组织应力和锻造残余应力以及氢气析出过程中产生的应力,综合起来就会增大锻件的白点敏感性。正火重结晶可减少锻件的残余应力,细化晶粒,并减少过冷奥氏体的稳定性,使氢在整个截面分布均匀化,保证奥氏体迅速地同时转变,降低锻件的白点敏感性。除上述减少组织应力之外,还应防止产生冷却应力。要求等温保温后缓慢冷却,这样不仅使氢扩散得充分,更重要的是防止较大的温度应力产生。

2.3 提高锻件致密度 由于缺陷在钢锭中的大小、形状和位置不同,锻合的难易程度也有所区别。因此,应综合考虑:(1)合适的锻造比(2)保证锻件在压应力状态下均匀变形;(3)温度;(4)工具形状等因素,制定出合理的锻造工艺,获得致密的锻件。一般地,为使坯料中心孔隙锻合,采用上下平砧拔方最好,上下V形砧次之,上平下V形砧最差。并且采用宽砧拔方比窄砧拔方要好。

近年来,国内外发展了对于大截面的轴类锻件以较小的锻比锻合内部空洞的先进方法。如中心压实法,不对称平砧锻造法等。这些方法通过对矩形截面材料采用不同尺寸的平砧压下,使坯料心部产生较大的压应力。从而使内部空洞压实。日本制钢所室兰工厂采用中心压

最后经超声波检测,转子内部未发现白点缺陷。

参考文献

- 1 张志文主编.锻造工艺学.北京:机械工业出版社.
- 2 合金钢编写组编.合金钢.北京:机械工业出版社.
- 3 王健安著.金属学及热处理.北京:机械工业出版社.
- 4 大型锻件的生产编写组.大型锻件的生产.北京:机械工业出版社.
- 5 上重编译.大型锻件中的白点裂纹及其它氢问题的控制.大型铸锻件文集,1985.
- 6 陈永定等编译.金属与合金中的氢.北京:机械工业出版社.
- 7 庞均主编.大型锻件缺陷图谱.北京:机械工业出版社.
- 8 姚铁光著.大型锻件中白点的进一步探讨.大型铸锻件,1996(1).
- 9 大型支承销重原因分析.大型铸锻件,1995(2).
- 10 侯巧玲.25钢中的白点.大型铸锻件,1993(1).
- 11 郭慕慈.三十五年来,我国转子锻件的制造.大型铸锻件,1994(1).
- 12 一重编译.锻钢件的缺陷.大型铸锻件文集,1988(1).
- 13 一重译.炼钢工艺—保证汽轮机转子锻件质量的关键.大型铸锻件文集,1988(1).
- 14 西安重型机械研究所.重型机械.北京:机械工业出版社.□

(修改稿日期:1998-08-13)

