

浅谈合理确定钢的锻造温度

宗国锋 吴衍长 贾林峰

(山东能源机械集团乾泰精密机械有限公司, 宁阳 271413)

摘 要:简述了确定锻造温度范围的意义,分析了初、终锻温度的内涵及其影响因素,指出了选用钢的锻造温度范围时应注意的几个问题,以促进节能降耗。

关键词:温度 锻造 钢

引言

锻造温度范围是指合理的初锻温度与终锻温度之间的一段温度间隔。确定钢的锻造温度范围是常规热锻工艺设计的主要内容之一。为了促进节能降耗,本文试从应用的角度,提出了一些看法。

1 确定锻造温度范围的意义

合理确定锻造温度范围就是针对具体锻件,结合生产工艺选定初、终锻温度。其意义在于:

(1)保证锻件获得良好的内部组织和机械性能,也就是使钢在变形时具有良好的塑性,不产生加工硬化及残余应力;锻后获得细小、均匀的晶粒组织。

(2)减小变形力,减轻设备及模具受力。

(3)缩短生产周期,提高生产效率。

(4)节省能源,降低劳动强度。

2 钢的初锻温度

2.1 选用最高加热温度

文献给出的初锻温度是指允许的最高加热温度,由于坯料出炉到开始锻造过程中有热量损失,真正开始锻造的温度稍低些。相反,由于加热必须依靠加热炉,因此炉温比允许的加热温度高(一般结构钢高 50 ~ 100 ℃)。加热温度过高可能进入过热温度区,特别是含镍、铬的钢容易出现热处理无法改正的稳定过热,需要大的变形量才能消除其影响,这在多数情况下难以做到。为了避免过热,钢的最高加热温度必须低于过热温度(比过烧温度低得更多),文献[1]中指出钢的初锻温度为:

$$T_{\text{始}}(^{\circ}\text{K}) = (0.85 \sim 0.90) T_{\text{熔}}(^{\circ}\text{K}).$$

式中, $T_{\text{熔}}$ 为钢的熔点; $^{\circ}\text{K}$ 为 $^{\circ}\text{C} + 273$ 。

影响初锻温度的因素大致有:

(1)钢的化学成分。由于钢的熔点随含碳量升高而降低,因此碳钢的初锻温度也随含碳量的增加而降低(见图 1),其中⑤~⑥线为碳钢的初锻温度,它比固相线低 200 ~ 250 ℃,在含碳量 ≤ 1.15 % 的范围内,可近似归纳为以下线性表达式:

$$T_{\text{始}} = 1300 - 1.8 C (^{\circ}\text{C})$$

式中: C 为碳钢含碳量的万分数 1。

对于纯铁的锻造,应避开 850 ~ 1150 ℃ 这个红脆区。

合金钢的初锻温度通常随含碳量的增加而降低得更

多,合金元素愈高,初锻温度愈低。

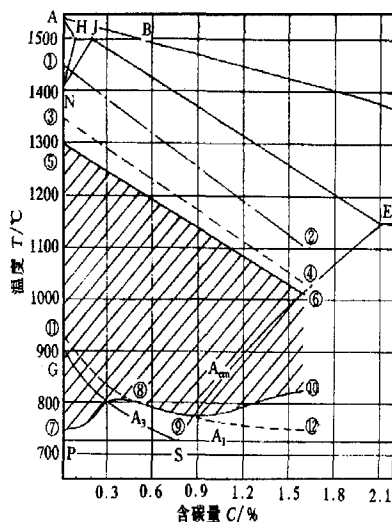
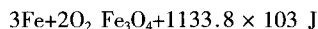


图 1 钢的锻造温度范围

(2)钢的组织状态。钢锭晶粒外面的晶壳(凝固过程中杂质及合金元素形成的化合物偏析)有阻止奥氏体晶粒长大的作用,使得铸态组织产生过热的倾向性较小,因此,其初锻温度可以比同钢号坯(轧)材高 20 ~ 50 ℃(见图 1 ③~④线)。当钢锭变形工序多,需要时间长,恰好可以利用这一温度差。

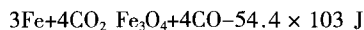
(3)加热速度。快速加热或感应加热时,由于奥氏体晶粒来不及粗化,钢在较高温度下才过热(见图 1 ①~②线,它比固相线低 100 ~ 150 ℃),因此初锻温度可高些(介于①~②与③~④之间)。

(4)加热炉内气氛。钢在氧化性炉气(焦炭炉)中加热时,温度愈高,氧化愈剧烈。钢氧化时的放热反应为



这样,可能使钢表面温度比炉温还要高。

而在还原性气氛(煤气炉)中,钢表面发生吸热反应:



这样,钢表面温度就比炉温低。

2.2 选用非最高加热温度

根据工艺需要,钢的初锻温度有时选用非最高值,这种情况下应考虑的因素有:

(1) 变形速度。高速锤上锻造时, 高速变形产生很大的热效应, 会使坯料温度升高, 以致引起过烧; 加上高速成型时间短, 为了保证终锻温度不致过高, 其初锻温度应比文献列出的数值低 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

在其它设备上锻造也可能有热效应产生, 也应注意这一倾向。

(2) 变形工艺。对于大锻件, 最后一火需要保证到达终锻温度时刚好完成全部锻造工作, 因此, 其初锻温度应根据剩余锻比确定 (见图 2), “宁低勿高”。对于工艺简单、变形时间短的中小锻件, 也不选最高值。

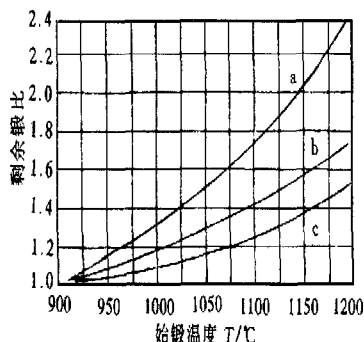


图 2 根据剩余锻比选用始锻温度

3 钢的终锻温度

钢的终锻温度狭义上指常规的大变形热锻时应停止锻打的温度。根据停锻后对钢的组织影响不同, 本人认为可以分为两类: A 类指停锻的最低温度, 应用时允许少量上偏差, 否则, 钢的变形抗力增大, 塑性变差, 易出现裂纹; B 类指随着温降, 变形必须持续到的温度, 主要用于冷却不相变的钢, 应用时只允许少量下偏差, 否则, 将得到较粗大的晶粒组织, 降低锻件性能。

对于相变钢及部分不相变的钢 (如奥氏体钢), 终锻温度过低, 不仅可能造成变形力剧增, 设备负荷加大, 模具受力恶化, 还可能使锻件局部处于临界变形状态, 造成锻后晶粒粗大, 或由于加工硬化引起残余应力, 诱发裂纹。所以, 为保证锻件内部再结晶, 钢的终锻温度要稍高于再结晶温度。文献 [1] 指出钢的终锻温度为 $T_{\text{终}} (^{\circ}\text{K}) = (0.65 \sim 0.75) T_{\text{熔}} (^{\circ}\text{K})$

影响终锻温度的因素大致有:

3.1 钢的化学成分

3.1.1 碳钢

(1) 亚共析钢分为二段: 中碳钢应在 A3 线以上 $15 \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图 1 ⑧ ~ ⑨线) 终锻, 若在 A3 线以下两相区锻造, 停锻后形成带状组织。带状组织含碳量低、强度低, 易沿夹杂物和铁素体的交界面产生裂纹。反过来, 中碳钢的终锻温度也不应比 A3 线高太多, 否则, 奥氏体晶粒将再次长大, 导致冷却到室温后得到粗晶组织。如果终锻后的冷却速度快, 形成魏氏组织 (过热组织特征), 机械性能变差, 特别是冲击韧性降低, 钢含碳量低于 $0.3\% \sim 0.25\%$ 时, 可以在低于 A3 线区 (图 1 ⑦ ~ ⑧线以上) 锻造。因为低

碳钢中的铁素体与奥氏体性能差异不大, 特别是大锻件 (热容量大, 冷却速度慢), 在低于 A3 线温度终锻可得到比高于 A3 线 (图 1 lv ~ ⑧线) 时较细的晶粒。其中纯铁可在 $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终锻。

(2) 过共析钢应在 A1 以上 $40 \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终锻, 而不应在 Acm 以上终锻, 否则, 在随后的冷却过程中生成对性能不利的网状碳化物, 而在奥氏体和渗碳体的两相区锻造, 可使析出的渗碳体呈对性能有利的弥散状。

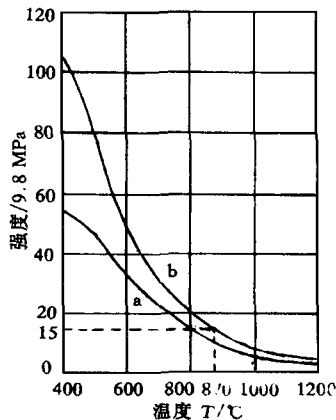
(3) 高碳钢只有在强烈的三向压应力作用下 (模锻、型砧锻), 其终锻温度才可接近 A1 线 (图 1 ⑨ ~ lv 线), 否则易出现裂纹。所以高碳钢的终锻温度一般应随含碳量的增加而逐渐提高 (图 1 ⑨ ~ ⑩线)。

3.1.2 合金钢

合金成分愈高, 终锻温度也愈高。高合金钢种类繁多, 情况比较复杂, 其终锻温度一般较碳钢高得多 (约 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$), 主要原因是随着温度的降低, 变形抗力剧增, 而塑性变坏。

由图 3 所示可见, 45 钢在 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终锻强度约为 $15 \times 918\text{ MPa}$, 同样强度的含镍、铬、钨的合金钢应在约 $870\text{ }^{\circ}\text{C}$ 终锻。

不相变的奥氏体钢、铁素体钢等不能热处理细化晶粒, 终锻温度应偏低, 一般不允许上偏差。



a、碳素钢 (45); b、含镍、铬、钨的合金钢

图 3 钢的高温强度

3.2 钢的组织状态

铸造钢锭在还未完全转变为锻态组织之前, 塑性较低, 有些钢号的锭料终锻温度应比坯 (轧) 材高 $30 \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3.3 变形应力状态

如前所述, 变形时的应力状态能影响钢的塑性, 所以也能影响终锻温度。

3.4 变形工艺

多火次锻造的中间工序一般都取较低的终锻温度, 然后回炉加热。若估计最后一火变形量不大, 亦可提前回炉加热。

此外, 锻后立即进行余热热处理的锻件, 终锻温度应满足余热热处理要求。

(下转第 50 页)

成,焊缝上有焊接裂纹(图3),晶界存在晶间腐蚀(图4)。这是因为一般情况下溶液中的氧只能通过扩散进入不锈钢表面,当水垢和淤泥覆盖其表面后,阻止了氧的扩散,当不锈钢表面氧降至零时,不锈钢表面钝化膜开始发生还原性溶解。同时,当表面的氧耗尽后,自来水中的 Cl^- 离子会由外向内迁移,从而使得缝隙内的 Cl^- 浓度增加,这样就造成了不锈钢的缝隙腐蚀^[2]。焊缝上有焊接裂纹,这极可能是 Cl^- 存在条件下产生的应力腐蚀所致^[3]。金相观察母材显微发现,存在整个条带状贯穿视场的铁素体组织,同时发现在焊缝和焊接热影响区沿着晶界发生了晶间腐蚀,这是因为条带状铁素体组织的出现,降低了母材的抗晶间腐蚀能力^[4],也容易造成腐蚀泄漏。另外,在焊渣飞溅擦伤处,发现点状腐蚀渗水现象,这是因为在焊渣飞溅电弧擦伤处,钝化膜会受到不同程度的破坏,由于氧化膜被破坏处基体的电极电位低于未破坏处, Cl^- 浓度达到一定值,使得膜-溶液界面电场达到某一临界值时,就会发生点蚀^[5]。

3 结论

(1)在水垢及淤泥覆盖处,当覆盖处溶液中的氧耗竭后,不锈钢表面钝化膜开始发生还原性溶解, Cl^- 由外向内迁移,造成了不锈钢的缝隙腐蚀。

(2)不锈钢储水箱母材材质不均匀,存在较多线性 δ 铁素体,易导致晶间腐蚀。

(3)焊接过程中焊接飞溅电弧擦伤处附近钝化膜会破坏导致点蚀穿孔。

(4)建议储水箱生产厂家应注意选材和加工工艺,使用厂家要定期清淤和除垢,避免储水箱的腐蚀,尽量延长其使用寿命。

参考文献

- [1] GB/T 20878-2007 不锈钢和耐热钢 牌号及化学成份[S].
- [2] 田燕,包芳涵,石红恩等. 不锈钢太阳能贮热水箱的缝隙腐蚀[J]. 太阳能学报, 2002,23(6):792-794.
- [3] 朱日彰. 金属腐蚀学[M]. 北京:冶金工业出版社, 1989.
- [4] 申鹏. 国内 304 不锈钢热轧板材耐蚀性能的对比研究[硕士学位论文]. 兰州理工大学, 2011.
- [5] 宫文彪,孙焕焕,王辉等. 0Cr18Ni9 不锈钢列车贮水箱点蚀与开裂原因分析[J]. 焊接, 2005, (2):19-20.

Analysis on Causes for Leading to Leakage of the Stainless Steel Water Tank

MA Hongtao, YANG Xiaojie, YANG Jun

(Shandong Supervision and Inspection institute for Product Quality, Jinan 250100)

Abstract: This paper analyzes the causes leading to leakage of stainless steel water tank for treating water by using material microscopic methods. The result indicates that the stainless steel water tank which is made of stainless steel 304 may suffer leakage during using due to uniform material components about δ ferrite, Weld spatter and scratch. The scale and mud covered Scale preventing the ingress of oxygen result in reducing dissolution for of the surface of stainless steel that leads to Corrosion and leakage of the water tank. Therefore the manufacturers should pay much attention to selecting and processing material, Cleaning and descaling regularly for the water tank from corrosion, so as to extend the service life to the maximum extent.

Key words: water tank, electric arc, passivation film, corrosion

(上接第 40 页)

4 结束语

部分钢号的温度值出入很大,不同的文献数据可能是在不同的实验条件下得到的,不可避免地存在一定的出入。实践应用中,由于钢本身的成份存在偏差、生产环境中控制不准确以及文献值存在保险系数等原因,温度偏差 20℃ 以下影响不大,但若偏差 30℃ 以上,则可能给钢,尤其是锻造温度范围较窄的钢,带来不利的影响。

参考文献

- [1] 中国机械工程学会塑性工程学会编. 锻压手册. 第一卷. 北京:机械工业出版社, 2007

Discussion on Reasonable determination of Forging Temperature of Steel

ZONG Guofeng¹, WU Yanzhang², JIA Linfeng³

(Shandong Energy Group Machinery qiantai Pml Precision Mechanism Ltd, Ningyang 271413)

Abstract: The paper determined the forging temperature range significance, analyzed the initial, final connotation of forging temperature and its influencing factors. It also points out several problems that should be paid attention to when using steel forging temperature range in order to promote energy saving.

Key words: temperature, forging, steel