5CrMnMo钢热锻模热处理裂纹分析及对策

江西长林机器制造有限公司 （新余 338029） 钟翔山 钟礼耀

5CrMnMo钢是热锻模中的常用材料，我公司在生产过程中，曾发现一套热锻模在热处理工序完全结束后有一模块模体严重开裂。为此，对其进行了仔细分析，提出了有效的改进措施。

1. 模块基本情况

模具材料为5CrMnMo钢，经锻造、退火、机加成图1形状转入热处理。要求硬度：模面 d^{10}_{3000}2.9～3.1，燕尾 d^{10}_{3000}3.1～3.3。

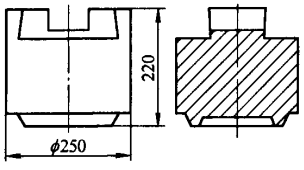


图1 热锻模基本形状

2. 热处理执行工艺

根据热处理操作过程，整理出该模块热处理的执行工艺如下：

（1）淬火加热 井式渗碳炉（840～850）℃×3h到温装炉，适当滴煤油保护。

（2）淬火冷却 直接油冷，油冷至外表温度180～200℃时出油转移回火。

（3）回火 硝盐炉420℃×2.5h（出油直接转移）。

（4）回火后冷却 回火后出炉空冷至硝盐发白再用水洗干净。

3. 裂纹形貌及产生时间

（1）裂纹形貌观察 裂纹发现后，对裂纹形貌进行了仔细观察，发现裂纹有三条，其中两条在燕尾中间模槽尖角处向圆柱中心方向发展，另一条在圆柱面上，裂纹宽深、纵向贯通整个圆柱侧面。三条裂纹均为典型宏观裂纹，裂面为灰白色，干净无污染，无氧化皮、氧化色等异物，也没有硝盐嵌入。由于仍要利用（红套一个外圈，抢锻一批急件），因此无法解剖裂口进行分析。

（2）开裂时间推断 从裂面颜色及被污染程度判断，裂纹应该是在硝盐炉回火出炉并冷却到硝盐发白凝固之后形成的。

4. 裂纹原因分析

裂纹发生在热处理工序全部结束之后比较少见。一般认为是回火不足，内应力消除不够而引起“置裂”。但就该模块而言，在420℃硝盐炉中回火2.5h应该不短，模块近200℃出油，温度较高，有自回火条件，模块中内应力就不会很大。从回火过程中内应力变化与回火时间的关系来看，在各回火温度下回火前期约半小时内应力消除效果最好（可达60%以上），再延长时间则效果渐差（如回火10h仅增至80%），故从消除应力来考虑，2.5h回火时间无论如何是足够的，残余应力不足以致裂，开裂一定另有其他原因。

仔细分析模块热处理工艺发现：整个模块淬火冷却、回火和回火后冷却全过程并不是称谓含义那样的全部热处理工序，而仅是一个复合淬火冷却过程。除了油冷过程中只形成了一小部分马氏体并得以正常回火外，大多数奥氏体在这种处理过程中先后转变成不同的转变产物，并未得到充分回火或根本未得到回火，转变中的应力也未得到消除。

为便于说明问题，在5CrMnMo钢等温转变曲线图上画出冷却曲线（如图2所示）。

从图中可清楚看出，模块入油淬火，当表面温度冷至150～200℃时，表面只有很少一部分过冷奥氏体转变成马氏体。5CrMnMo钢 M_S点为210℃左右，而 M_Z在室温以下，模块心部视油冷时间长短，有可能冷到 M_S点形成一部分马氏体，更大可能是心部冷速慢而未冷到

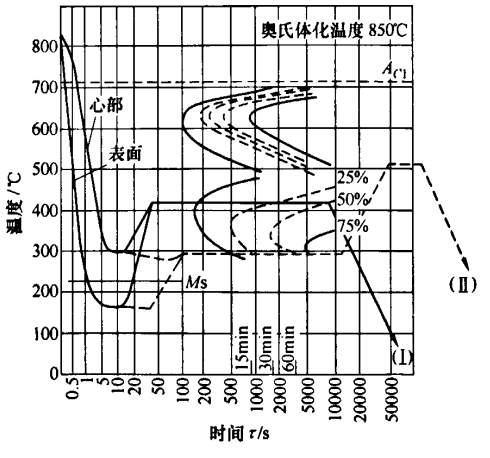


图2 5CrMnMo 钢等温转变曲线与热处理工艺（示意）曲线

M_S点，全部处于过冷奥氏体状态。此时如把模块取出转入420℃硝盐炉中，说是回火只能是对油冷中形成的那部分马氏体而言，对整个模块来讲应该是马氏体分级后的上贝氏体等温淬火。在420℃温度下过冷奥氏体分解转变成脆性的上贝氏体。又据5CrMnMo等温转变曲线，420℃等温停留2.5h只能有近40%的过冷奥氏体发生转变，剩下的大部分过冷奥氏体在随后的出炉空冷过程中发生连续冷却转变，得到上贝氏体、下贝氏体和马氏体并残留部分奥氏体。当硝盐凝固发白（仍有130～150℃），即水洗硝盐，其实质又进行了水冷淬火。整个冷却过程应该是马氏体分级→上贝氏体等温→空冷淬火→水冷淬火这样一个复杂的复合处理过程（如图2曲线Ⅰ所示）。

较大量的过冷奥氏体在回火保温停留之后的空冷、水冷过程中转变成马氏体，产生巨大的组织应力，而形成的组织（上贝氏体、马氏体）又都很脆，塑性低，无法松弛这些应力。当表面拉应力超过断裂强度而开裂便不足为奇了。

如果油冷后不直接提到420℃去等温回火，而是先在280～300℃左右等温停留，情况会有根本变化。首先，在该区间转变的组织为下贝氏体，强度高、韧性好，避开了脆性上贝氏体的不利因素；其次，300℃左右过冷奥氏体稳定性差，转变速度快，1.5～2h的停留时间绝大部分（90%以上）可转变完成。此后用适当温度回火即可完成全部热处理工序（见图2曲线Ⅱ）。

5. 正确热处理工艺的制定

从上面分析可知，原处理所执行的热处理工艺是有错误的，直接导致模块的开裂报废。除油冷出油直接用420℃回火2h外，还有不少问题欠考虑。

（1）热锻模尺寸都较大，加热和冷却过程中预热预冷措施很有必要考虑，尤其是冷却前的预冷措施对减少应力和变形，避免裂纹很有利，一般预冷到780～800℃为恰当。

（2）零件尺寸大，热应力和组织应力总是很可观的，决不允许连续冷却到室温才出油，一般以150～180℃为界，冷却时间是一个关键。工件外表面温度只能作为参考，工件表面温度受工件尺寸大小影响较小，而心部温度受尺寸大小影响很大且滞后表面温度很多，如直径200mm、410mm和700mm的圆柱，从850℃冷到300℃，表面需要13min、15min和30min，而心部需要22min、60min和160min。为使心部冷至150～180℃而表面温度又不致过低，可采用不同的冷却方案，如油冷、油-空-油冷等，并根据经验提出油面观察校准。

（3）冷却完毕回火前，增加280～300℃保温停留，促使组织转变，减少应力。

（4）燕尾在油冷过程中提出油面回温至600℃左右又入油冷却，反复进行3～4次。

（5）回火采用空气炉而不用硝盐炉，加热速度较缓慢，还可避免水洗硝盐，操作不当而隐藏事端。

6. 应用效果

根据这些考虑，制订出合适的热处理工艺，如图3所示。

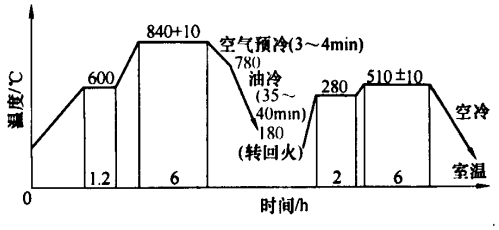


图3 改进后的热处理工艺曲线

按改进后的热处理工艺曲线对补废的模块进行热处理操作，其结果很令人满意，避免了裂纹，模面部位硬度d^{10}_{3000}2.95，燕尾部位为d^{10}_{3000}3.1。**MW**

（20101218）