

热处理工艺对轴承座力学性能的影响

卢俊玲^{1, 2}, 陈兵^{1, 2}, 刘莹^{1, 2}

1. 宁夏天地奔牛实业集团有限公司 宁夏石嘴山 753001

2. 宁夏煤矿综采输送装备重点实验室 宁夏石嘴山 753001

摘要: 为解决矿用刮板机轴组使用的轴承座零件调质开裂问题, 针对实际生产制造中可选的两种材料, 分别制定试验方案并实施, 其中42CrMo钢采用2种温度加热, 3种淬火冷却介质淬火; 45Mn2钢采用4种温度加热, 使用3种淬火冷却介质淬火。试样回火后, 检测不同工艺状态下的力学性能, 42CrMo钢试样的抗拉强度、冲击性能整体明显高于45Mn2钢试样; 同等硬度范围内, 45Mn2钢的耐磨性是42CrMo钢的近2.9倍; 两种材料的金相组织为回火索氏体+铁素体2~3级。得出45Mn2钢最环保、最节能的工艺是820℃加热, 使用K淬火冷却介质调质处理, 42CrMo钢最理想的工艺是820℃加热, 使用A淬火冷却介质调质处理。经批量生产验证, 解决了轴承座的开裂问题, 提高了产品性能。

关键词: 轴承座; 调质; 45Mn2钢; 42CrMo钢; 力学性能

Influence of heat treatment process on mechanical properties of bearing seat

LU Junling^{1, 2}, CHEN Bing^{1, 2}, LIU Ying^{1, 2}

1. Ningxia Tiandi Benniu Industrial Group Co., Ltd., Shizuishan 753001, Ningxia, China

2. Key Laboratory of Fully Mechanized Conveying Equipment in Ningxia Coal Mine, Shizuishan 753001, Ningxia, China

Abstract: In order to solve the problem of quenching and tempering cracking of bearing housing parts used in shaft group of mine scraper, sample test schemes are formulated and implemented respectively for two materials appearing in actual production and manufacturing, in which 42CrMo steel is heated at two temperatures and quenched with three quenchers; The 45Mn2 steel is heated at four temperatures and quenched with three quenchers. After tempering, the mechanical properties of samples under different technological conditions were tested, and the tensile strength and impact properties of 42CrMo steel samples were obviously higher than those of 45Mn2 steel. In the same hardness range, the wear resistance of 45Mn2 material sample is nearly 2.9 times that of 42CrMo steel. The metallographic structure of the two materials is tempered sorbite+ferrite grade 2~3. It is concluded that the most environmentally friendly and energy-saving process for 45Mn2 steel is quenched and tempered with K quenchant when heated at 820℃, and the most energy-saving process for 42CrMo steel is quenched and tempered with K quenchant when heated at 820℃. It is verified by batch production that the cracking problem of bearing housing is solved and the product performance is improved.

Keywords: bearing housing; hardening and tempering; 45Mn2 steel; 42CrMo steel; mechanical properties

基金项目: 高端刮板输送机核心零部件制造工艺技术研究项目(2024-TD-ZD005-01); 自动化产线水-空调质工艺研究应用(2024GYJ07)。

第一作者: 卢俊玲, 高级工程师, 主要研究方向为热处理工艺技术开发与应用, E-mail: lujunling090@126.com。

1 序言

矿用刮板机的输送机、转载机使用的轴组部件，在轴的两端安装轴承，需要轴承座零件进行径向和轴向定位，要求一定的强度、韧性和耐磨性。受到原材料采购的影响，轴承座零件实际生产制造时通常有45Mn2和42CrMo两种材料可选。45Mn2钢轴承座采用水溶性淬火冷却介质淬火，回火后硬度、外观合格；42CrMo钢轴承座采用水-空淬火，在内孔的薄台 $\phi 273\text{mm} \times 12\text{mm}$ 处发生多处轴向裂纹（见图1a），不仅影响产品质量且造成批量废品损失。因此，需要对两种材料的调质工艺进行优化。

2 试验方案

2.1 零件技术要求及结构

在轴承座零件实际生产制造时，通常有45Mn2钢和42CrMo钢两种材料可选，其工艺路线为：锻造→粗车→调质→精车，技术要求为调质280~320HBW。零件结构方面，在内孔处存在凸起厚度为12mm的薄台（见图1b）。

2.2 淬火冷却介质

45Mn2钢和42CrMo钢均属于中碳合金钢，淬火一般采用冷却速度较慢的淬火冷却介质。本次试验采用淬火冷却介质A和K及淬火油3种淬火冷却介质。

2.3 淬火温度

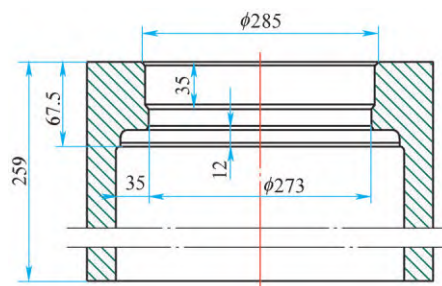
中碳合金钢淬火温度一般选取 $A_{c_3} + (30 \sim 50)^\circ\text{C}$ ，45Mn2钢的 A_{c_3} 为 770°C ，42CrMo钢的 A_{c_3} 为 780°C ，因此，42CrMo钢淬火温度 $\geq 810^\circ\text{C}$ ，45Mn2钢淬火温度 $\geq 800^\circ\text{C}$ 。

2.4 试验试样

一组试验由1个拉伸试样、3个冲击试样、3个摩擦试样组成，分别制作两种材料试样，并做不同



a) 止口裂纹



b) 零件结构示意图

图1 零件结构及裂纹情况

参数试验，拉伸试验设备为CMT5305型拉伸试验机（0.5级电子万能），试样尺寸为 $\phi 100\text{mm} \times 60\text{mm}$ ， $L_0 = 60\text{mm}$ ，执行GB/T 228.1—2021《金属材料拉伸试验 第1部分：室温试验方法》；冲击试验设备为ZBC2302-C电动冲击试验机，试样尺寸为 $55\text{mm} \times 10\text{mm} \times 10\text{mm}$ V型缺口，执行GB/T 229—2020《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》；滑动摩擦试验设备为M-2000A/MLS-225型摩擦磨损试验机，试样尺寸为 $20.5\text{mm} \times 10\text{mm} \times 10\text{mm}$ ，执行GB/T 12444—2006《金属材料 磨损试验方法 试环-试块滑动磨损试验》。金相观察使用DMI3000M金相显微镜。

2.5 试验方案

根据确定的试验淬火冷却介质、淬火温度、试样类别，分别制定45Mn2钢和42CrMo钢试验方案，见表1。

表1 45Mn2钢和42CrMo钢试验方案

材料	技术要求硬度HBW	淬火工艺	回火工艺	拉伸试样	冲击试样	耐磨试样
42CrMo钢	(调质) 280~320	1.850℃×1h, 油 2.820℃×1h, A淬火冷却介质, 15% 3.820℃×1h, K淬火冷却介质, 15%	610℃×1h, 空冷至室温	各1件, 共3件	各3件, 共9件	各3件, 共9件
45Mn2钢	(调质) 280~320	1.850℃×1h, 油 2.810℃×1h, A淬火冷却介质, 15% 3.810℃×1h, K淬火冷却介质, 15% 4.800℃×1h, K淬火冷却介质, 15% 5.800℃×1h, A淬火冷却介质, 15% 6.820℃×1h, K淬火冷却介质, 15%	550℃×1h, 空冷至室温	各1件, 共6件	各3件, 共18件	各3件, 共18件

注：淬火工艺分别简称为850-油、820-A、820-K、810-A、810-K、800-K、800-A。

3 试验结果

3.1 淬火、回火硬度

42CrMo钢淬火硬度实测为57~61HRC, 850℃油淬火后硬度最高为60.5~61.2HRC, 略高于理论淬火硬度55~59HRC^[1], 回火后硬度820-K较高, 平均为32.2HRC, 其余两种接近, 分别为30.5HRC、30.9HRC; 45Mn2钢淬火硬度实测为56~61HRC^[1], 符合理论淬火硬度57~63HRC, 810-K、850-油淬火后硬度最高, 为59.4~61.4HRC, 800℃淬火后硬度较低且800-A偏低, 淬火、回火硬度如图2所示。

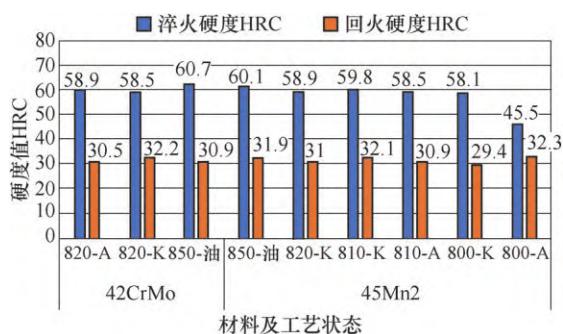


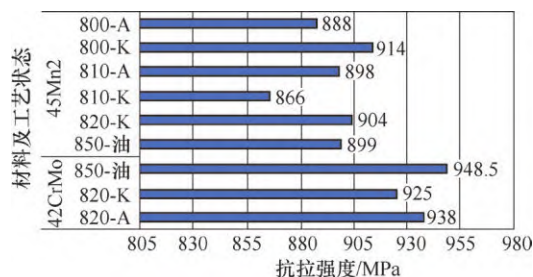
图2 两种材料不同工艺状态的淬火、回火硬度

3.2 抗拉强度、冲击性能

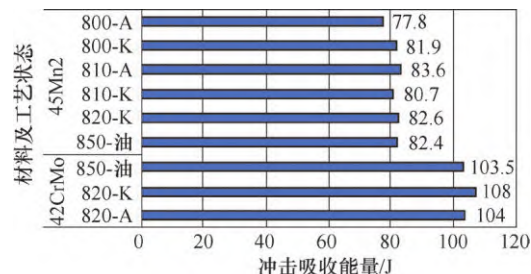
调质后的42CrMo钢试样抗拉强度、冲击性能整体高于45Mn2钢, 如图3所示, 具体数据见表2。

1) 对于42CrMo钢, 抗拉强度从大到小排序为: 850-油→820-A→820-K, 820-A与850-油抗拉强度接近; 冲击吸收能量从大到小排序为: 820-K→820-A→850-油, 820-K冲击性能最好, 820-A与850-油接近; 820-A与850-油可以达到同等性能的效果。

2) 对于45Mn2钢, 抗拉强度从大到小排序为: 800-K→820-K→850-油→810-A→800-A→810-K; 平均冲击吸收能量为: 810-A→820-K→850-油



a) 抗拉强度



b) 冲击吸收能量

图3 两种材料不同工艺状态下的抗拉强度、冲击吸收能量检测结果

→800-K→810-K→800-A。800-A性能最差, 810-A性能有所提高且与850-油接近, 采用820-K调质性能最好。

3.3 金相组织

淬火、回火后的试样在500倍显微镜下观察金相组织, 两种材料不同工艺状态的金相组织为回火索氏体+铁素体2~3级, 满足GB/T 13320—2007《钢质模锻件 金相组织评级图及评定方法》中1~4级的要求, 如图4所示, 具体数据见表2。

42CrMo钢采用820-A、850-油进行调质后, 其组织为回火索氏体+少量条状与块状铁素体3级, 820-K组织为回火索氏体+少量条状与块状铁素体2级, 组织较细小, 这是因为15%浓度的K淬火冷却介质最大冷却速度对应的温度为749℃, 15%浓度的A淬火冷却介质最大冷却速度对应的

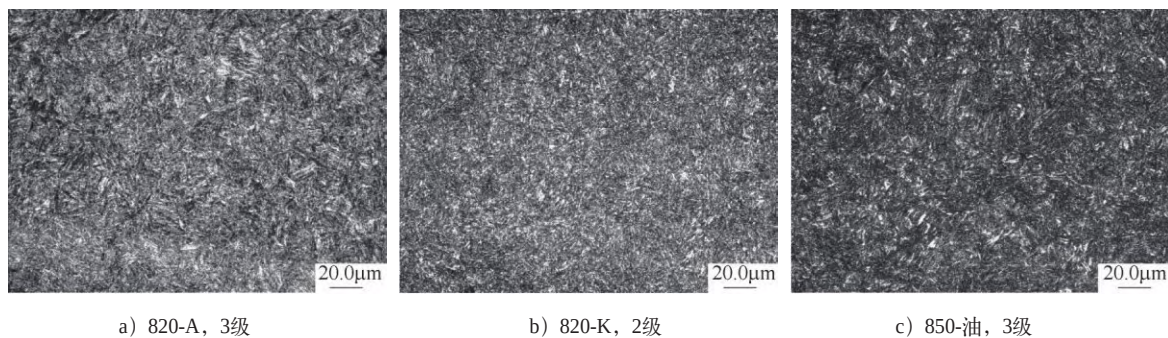


图4 42CrMo钢3种工艺状态金相组织

温度为678.88℃，油最大冷却速度对应的温度为610.31℃。也就是说K淬火冷却介质进入沸腾阶段的温度较高，所用时间较短，因冷却速度较大而组织细小。

45Mn2钢采用850-油、820-K、810-K进行调质后，其组织为回火索氏体+少量条状与块状铁素体2级，810-A、800-K、800-A组织为回火索氏体+少

量条状与块状铁素体3级。但从金相可看出，800-A、800-K铁素体组织略多且800-A强度、韧性最低，说明在800℃加热奥氏体化过程中，有未溶解的铁素体在淬火后保留，因此800℃不作为实物零件的淬火温度；810℃、820℃、850℃3种温度采用不同冷却速度的淬火冷却介质可以达到相同的组织和级别，如图5所示。

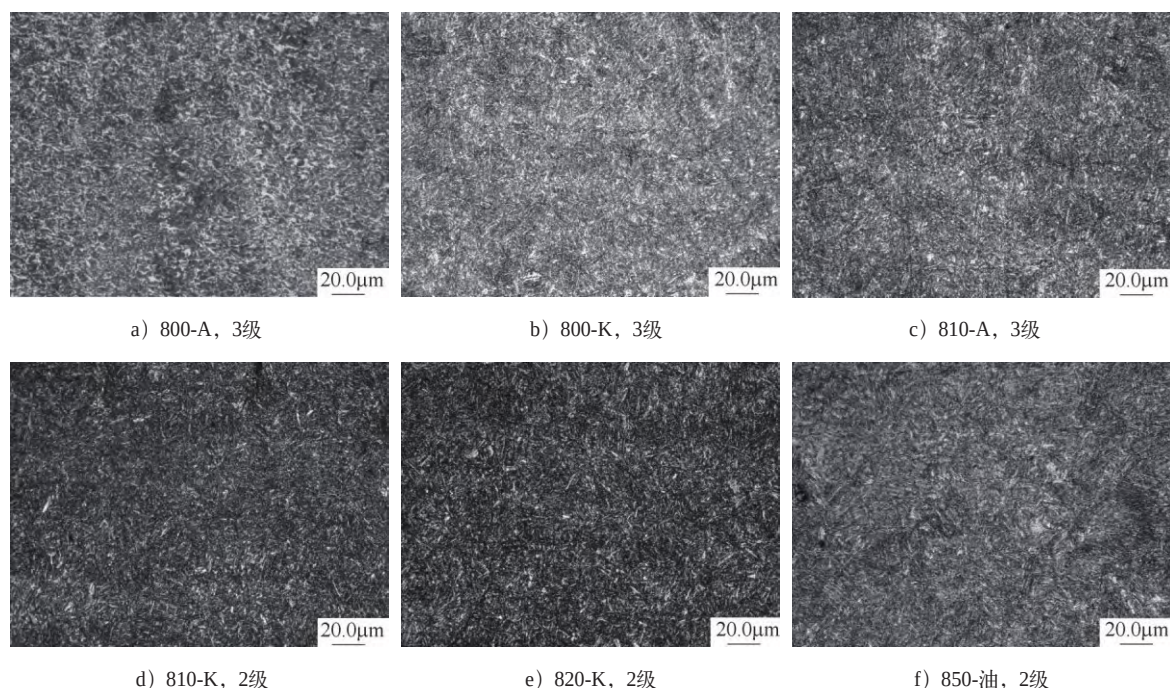


图5 45Mn2钢6种工艺状态金相组织

3.4 磨损率

磨损率是衡量材料耐磨性的主要指标，它表示单位质量的材料在单位时间内因磨损而产生的质量损失。因此，磨损率越大，说明材料在相同条件下越容易被磨损，其耐磨性也就越差^[2]。本次采用质量损失法，通过测量单位时间内试样的质量损失衡

量磨损程度，公式为：磨损率=（磨损量/摩擦时间）×100%^[3]，本次试验磨损时间为120min。

通过数据可看出，42CrMo钢的磨损率为45Mn2钢的2.7~2.9倍（最大0.09%/0.033%=2.7、最小0.073%/0.025%=2.9），即45Mn2钢的耐磨能力是42CrMo钢的近2.9倍，如图6所示，具体数据见表2。

表2 不同工艺状态力学性能及金相组织

温度/℃	材料	工艺状态	拉伸性能					冲击性能 KU/J	耐磨性		金相组织级别
			A (%)	Z (%)	R _m /MPa	R _{eH} /MPa	R _{eL} /MPa		磨损量/g	平均磨损率 (%)	
820	42CrMo钢	820-K	17.25	55.76	866	789	787	104、107、113	0.04、0.1、0.09	0.077	2级
820		820-A	18.25	65.18	938	856	854.5	104、108、100	0.1、0.08、0.09	0.09	3级
850		850-油	17.25	64.54	948.5	829	827	103、101、106.5	0.06、0.09、0.07	0.073	3级
800	45Mn2钢	800-K	17.0	53.76	914	782	781	81.9、82.6、81.3	0.03、0.03、0.03	0.025	3级
800		800-A	19.0	51.0	888	718	710	78.8、77.3、77.2	—	—	3级
810		810-K	18.0	57.75	866	701	697	81.7、81.9、78.4	0.04、0.04、0.03	0.031	2级
810		810-A	17.0	53.76	898	743	743	83.4、83.2、84.2	0.03、0.03、0.03	0.025	3级
820		820-K	18.0	61.56	904	781	778	83.2、83.4、81.1	0.04、0.04、0.04	0.033	2级
850		850-油	17.0	52.39	899	740	738	83.8、81.3、82.0	0.04、0.03、0.02	0.025	2级

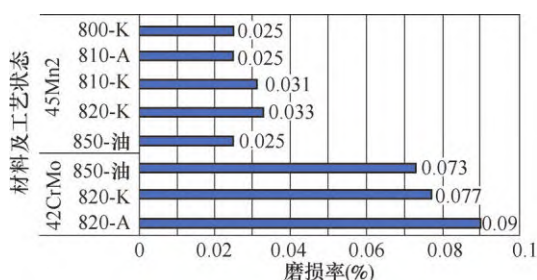


图6 两种材料不同工艺状态平均磨损率

对于42CrMo钢, 820-A平均磨损率为0.09%, 820-K为0.077%, 850-油为0.073%, 其中850-油磨损率最低; 对于45Mn2钢, 850-油、810-A、800-K 3种状态平均磨损率为0.025%, 820-K为0.033%, 810-K为0.031%, 说明850-油、810-A、800-K3种状态最耐磨。820-K、810-K两种状态磨损率接近。

4 产品批量试验情况

目前, 适合轴承座调质处理的淬火冷却介质只有K淬火冷却介质、淬火油, 而油仅用于多用炉, 调质成本较高, 因此对于轴承座产品, 使用台车式电阻炉加热、K淬火冷却介质淬火, 浓度为15%, 控制内孔薄台 $\phi 273\text{mm} \times 12\text{mm}$ 处的终冷温度为70~100℃, 淬火后立即回火。

根据试验结果, 对于45Mn2钢轴承座, 选取820℃保温1.5h淬火, 550℃保温1.5h回火的工艺参数; 对于42CrMo钢轴承座, 选取820℃保温1.5h淬火, 610℃保温1.5h回火的工艺参数, 对每种材料的前3炉零件精车后全部做着色检测, 未发现任何缺陷, 后续随机抽检也未发现任何调质缺陷。参数确认后, 45Mn2钢轴承座共完成980件调质处理, 42CrMo钢轴承座共完成54件调质处理, 均合格, 解决了开裂问题, 工艺参数纳入技术文件, 用于指导后续生产。

5 结束语

综合两种材料的硬度、拉伸和冲击、金相、磨损率的性能试验结果分析, 得出以下结论。

1) 对于42CrMo钢, 820~850℃可满足淬火要求, 610℃回火后实测硬度满足技术要求; 对于45Mn2钢, 810~850℃可满足淬火要求, 550℃回火后实测硬度满足技术要求。

2) 金相组织为2级的工艺状态分别为: 45Mn2钢的850-油、820-K、810-K和42CrMo钢的820-K,

45Mn2钢800℃调质后的金相与其他工艺状态相比, 铁素体较多且800-A冲击吸收能量偏低, 因此淬火温度不宜选择800℃。

3) 调质后的42CrMo钢试样抗拉强度、冲击性能整体明显高于45Mn2钢。综合分析认为, 对于轴承座这种有薄壁台结构的零件, 45Mn2钢最环保、最节能的工艺是820℃加热, 使用K淬火冷却介质; 其次可采用850℃加热油淬火; 再次是810℃加热, 使用A淬火冷却介质淬火, 力学性能逐渐提高。对于42CrMo钢, 最理想的工艺是820℃加热, 使用A淬火冷却介质调质处理, 但3种工艺方法均可得到良好的综合力学性能。

4) 就耐磨性而言, 在相同硬度280~320HBW要求下, 42CrMo钢的磨损率为45Mn2钢的2.7~2.9倍, 说明45Mn2钢耐磨性是42CrMo钢的近2.9倍, 应与45Mn2钢C含量较高有关; 在强度、韧性满足设计要求的前提下, 优先使用45Mn2钢, 可提高轴承座的使用寿命。

5) 结合实际条件, 对45Mn2钢轴承座, 选取820℃保温1.5h淬火, 550℃保温1.5h回火的工艺参数; 对42CrMo钢轴承座, 选取820℃保温1.5h淬火, 550℃保温1.5h回火的工艺参数, 批量试验, 可解决开裂问题, 工艺参数纳入技术文件。

参考文献:

- [1] 樊东黎, 徐跃明, 佟晓辉. 热处理技术数据手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [2] 魏敏先. 严酷工况下钢铁材料的氧化磨损及轻微—严重磨损转变[D]. 镇江: 江苏大学, 2011.
- [3] 中国机械工程学会热处理学会. 热处理手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

(收稿日期: 20250313)