

液压缸用30CrMo钢管热处理工艺及性能研究

刘振辉¹, 秦洪权², 宋会¹, 刘乐威¹, 王孖龙¹

1. 河南能源集团重型装备有限公司 河南开封 475000

2. 中钢集团郑州金属制品研究院股份有限公司 河南郑州 450001

摘要: 30CrMo钢具有高强度、高韧性、高淬透性和良好的切削性能等特点, 常用于液压支架液压缸中。为了解其性能及热处理参数, 研究了30CrMo钢管在不同热处理参数下的硬度、金相组织及力学性能。结果表明: 30CrMo钢管在淬火温度880℃时金相组织、强度及韧性等综合力学性能均更优。

关键词: 30CrMo钢; 淬火; 硬度; 金相组织; 力学性能

Research on heat treatment process and properties of 30CrMo steel pipe used in hydraulic cylinders

LIU Zhen hui¹, QIN Hongquan², SONG Hui¹, LIU Lewei¹, WANG Zilong¹

1. Henan Energy Group's Heavy Equipment Limited Company, Kaifeng 475000, Henan, China

2. Zhengzhou Metal Products Research Institute Co., Ltd., of China Steel Group, Zhengzhou 450001, Henan, China

Abstract: Due to the high strength and toughness, high hardenability and good cutting performance. It is often used in the hydraulic support cylinders. In order to understand the properties and heat treatment parameters of 30CrMo material, The paper mainly studies the hardness, metallographic structure and mechanical properties of 30CrMo steel pipes under different heat treatment parameters. The results show that the metallographic structure, strength, toughness and other comprehensive mechanical properties of 30CrMo steel pipes are better when the quenching temperature is 880℃.

Keywords: 30CrMo steel; quenching; hardness; metallographic structure; mechanical property

1 序言

随着煤机行业的快速发展, 对液压支架等支护设备的需求也随之提高^[1, 2], 多类型、多性能的液压支架不断出现, 因此对材料性能的需求也越来越高^[3, 4], 需要开发出具有更高综合力学性能的材料来满足市场对液压支架的需求^[5]。

液压缸千斤顶作为液压支架的重要部件之一, 其动力支撑着液压支架上下升降及前后移动来完成

综采时的支护作用^[6], 它对液压支架的质量及性能起着至关重要的作用。因此, 液压缸材料的力学性能对保证液压支架的安全性能非常重要^[7-10]。

30CrMo钢管被用作立柱缸筒材料, 受力非常大, 为了使30CrMo钢管具有更好的综合力学性能^[11-13], 本文研究了30CrMo钢管热处理工艺, 以及材料在不同热处理参数下的金相组织和力学性能, 为液压支架设计提供依据和保障。

第一作者: 刘振辉, 工程师, 硕士研究生, 主要研究方向为液压支架液压缸工艺技术, E-mail: 1047976972@qq.com。

2 试验材料

试验材料为30CrMo钢管，直径为475mm，壁厚45mm，该材质为合金结构钢，其化学成分见表1。

表1 30CrMo钢化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	P	Mo	Cr	Ni	Cu
0.324	0.279	0.525	0.009	0.24	0.978	0.071	0.041

3 试验条件和方法

在台车式电阻炉上进行试验，对工件钢管 $\phi 475\text{mm} \times 45\text{mm}$ 分别进行淬火和调质处理。分析对比淬火和调质后材料性能，再通过采用单因素试验方法，控制不同淬火温度对材料性能的影响，冷却方式为水冷，具体试验工件及参数要求见表2。

表2 试验参数

编号	淬火温度/℃	热处理方式
1	840	淬火
2	840	调质
3	860	调质
4	880	调质

工件调质后在其表面均匀地选取3个点，然后使用抛光轮对工件表面打磨抛光，清除氧化皮，再使用布氏硬度计对打磨后的点进行硬度检测，硬度要求在260~300HBW。然后再对工件进行金相分析，观察微观组织结构，通过金相组织分析热处理质量及材质性能。最后对工件进行拉伸和冲击试验，进一步验证材质性能和优化热处理工艺参数。

4 试验结果和分析

4.1 硬度分析

根据试验参数，工件分别在淬火温度为840℃、860℃和880℃的条件下进行了3组试验，每组试验3个工件，每个工件均匀地取多个点进行测量，对测量的硬度取平均值，见表3。

表3 淬火后硬度

编号	淬火温度/℃	平均硬度HRC
1	840	48.5
2	860	49.2
3	880	50.4

从表3可看出，在不同淬火温度条件下，其硬度存在差异。在淬火温度840℃时，其表面硬度在48.5HRC左右；在淬火温度860℃时，其表面硬度在49.2HRC左右；在淬火温度860℃时，其表面硬度在50.4HRC左右。根据淬火后硬度可以判断，在淬火温度880℃时，其马氏体含量最多。根据不同马氏体量处的硬度与碳含量的关系，其马氏体量约为97%，表明了工件碳含量及淬火后的硬度与获得的马氏体含量相匹配，淬火效果较好。

工件淬火后硬度非常高，主要原因为过饱和和碳引起的固溶强化，马氏体中过饱和的碳原子固溶于扁八面体间隙中，造成晶格不对称畸变，形成以碳原子为中心的很强的应力场。该应力场会与位错的应力场发生强烈交互作用，从而使马氏体的硬度和强度显著提高。马氏体在形成过程中，产生大量的位错、孪晶等亚结构，这些晶体缺陷也是造成马氏体高硬度的主要原因。另外，马氏体的时效强化作用也会形成较高的硬度^[11]。由于马氏体组织结构的特点又使其塑性、韧性较差，为满足液压支架中液压缸材料的技术要求，获得良好的综合性能，需要进一步对30CrMo钢管进行回火处理。

根据上述淬火后的结果，在淬火温度880℃时的效果最好，因此在该淬火温度条件下，分别以600℃、610℃和630℃的回火温度进行了试验，试验后分别进行了硬度检测，根据检测结果，回火后的硬度总在一个范围内波动，硬度与回火温度之间存在着一定的规律，如图1所示。

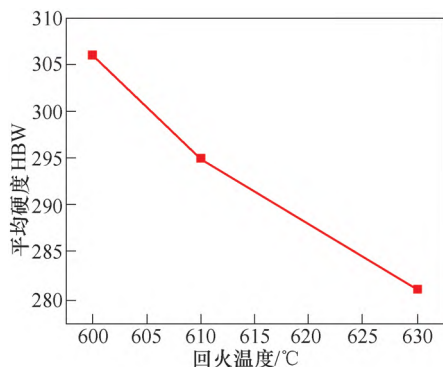


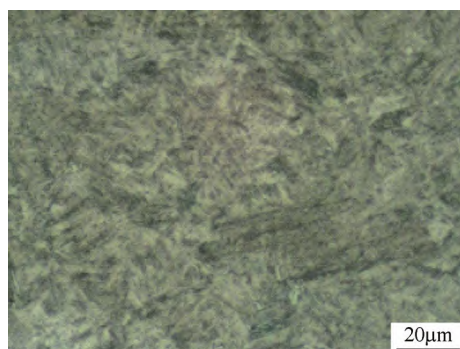
图1 回火温度与硬度的关系

从图1可明显地看出，随着回火温度的升高，硬度在降低，主要原因是淬火后的钢中存在马氏体、残留奥氏体等不稳定组织，具有较高的硬度，而随着回火温度的升高，原子活动能力强，马氏体中的

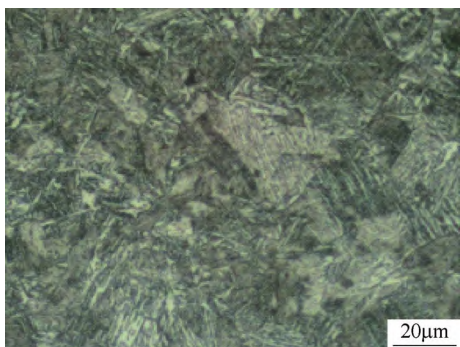
碳会以碳化物的形式析出，同时基体向铁素体转变。回火温度越高，碳的扩散能力就越强，碳从马氏体中析出的就越多，基体越接近铁素体，组织也就越接近平衡组织，马氏体的强化效果就越弱，因此硬度就越降低。在回火温度600℃时，工件硬度>300HBW，在610℃~630℃时，工件硬度可满足硬度技术要求在260~300HBW。

4.2 金相分析

30CrMo钢管在840℃淬火后取两端面中间靠近外圆处12mm×12mm横截面，分别选取距离表面2mm、10mm处进行了金相分析，其金相组织如图2所示。



a) 距离表面2mm



b) 距离表面10mm

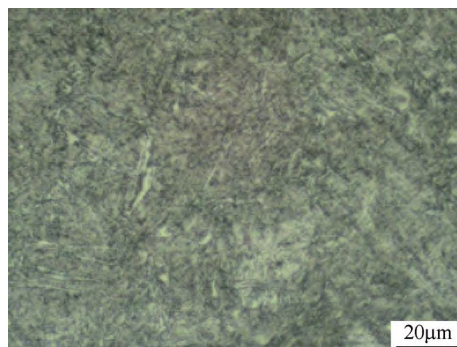
图2 840℃淬火后金相组织

由图2a可知，距离表面2mm处金相组织可判定为2级马氏体；由图2b可知，距离表面10mm处金相组织可判定为3级马氏体。根据金相组织结构，含有板条状和片状，该马氏体组织为板条马氏体与片状马氏体的混合组织，钢中马氏体是碳在 α -Fe中的过饱和固溶体，且马氏体中 $w_c=0.2\%\sim 1.0\%$ 。碳含量越高，片状马氏体会越多，板状马氏体会越少。随着距表面距离的加大，马氏体由2级变为3级，反映了30CrMo钢具有一定的淬透性，且距离表面越深，

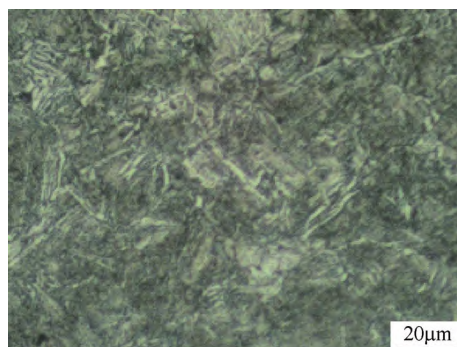
淬透性能越差。

根据碳含量对马氏体硬度及残留奥氏体量的影响关系^[14]，淬火后的硬度随碳含量的增加而提高。已知该30CrMo钢工件碳含量为0.324%，对应的马氏体硬度应为50HRC左右，在实际测量工件距离表面2mm处测量硬度为48.5~50.4HRC，进一步验证了马氏体组织，且不含残留奥氏体。

图3所示为30CrMo钢管在840℃条件下调质后的金相组织。图3a为距表面2mm处金相组织，图3b为距表面10mm处金相组织，此时经过高温回火，马氏体组织发生分解，过饱和碳逐渐以碳化物的形式析出并聚集长大，残留奥氏体也会发生转变。从图3可看出，组织已经转变为索氏体，两处均为由等轴状铁素体和细粒状渗碳体组成的混合物，距表面越深，其铁素体含量越多。



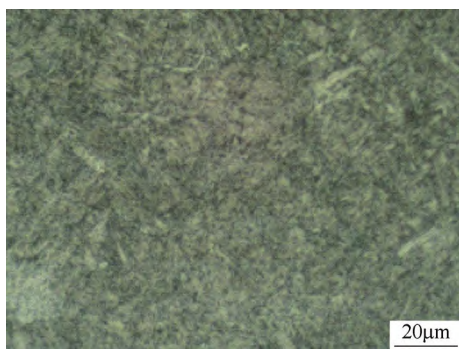
a) 距离表面2mm



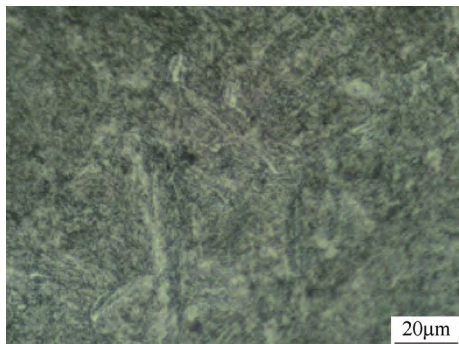
b) 距离表面10mm

图3 调质后金相组织（840℃淬火+回火）

图4所示为30CrMo钢管在880℃条件下调质后的金相组织。与图3类似，但不管是距离表面2mm处还是10mm处，其金相组织更加细密，均为回火索氏体。尤其是在10mm处组织对比更加明显。反映了在880℃调质的工件综合力学性能要优于在840℃下调质的工件。



a) 距离表面2mm



b) 距离表面10mm

图4 调质后金相组织 (880℃淬火+回火)

4.3 力学性能试验

为进一步了解淬火温度对30CrMo钢热处理的影响, 分别对不同淬火温度下调质的工件进行了力学性能拉伸和冲击试验。

淬火温度对抗拉强度的影响如图5所示。从图5可看出, 在淬火温度840~880℃调质的工件, 其抗拉强度呈随淬火温度提高而增大的趋势。单独对比淬火后的工件, 其抗拉强度明显高于调质后的工件。

淬火温度对屈服强度的影响如图6所示。从图6可看出, 在淬火温度840~880℃调质的工件, 其屈

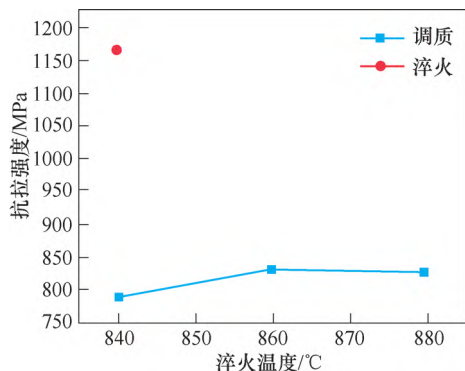


图5 淬火温度对抗拉强度的影响

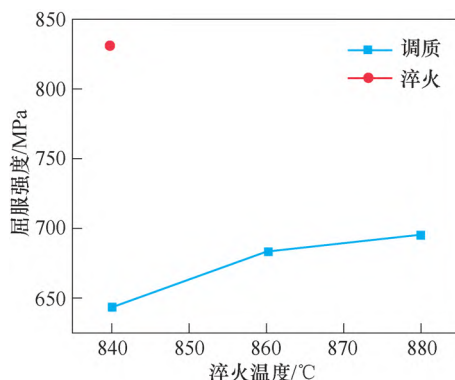


图6 淬火温度对屈服强度的影响

服强度呈随淬火温度提高而增大的趋势。同样淬火后的工件, 其屈服强度高于调质后的工件。

淬火温度对伸长率的影响如图7所示。从图7可看出, 在淬火温度840℃~880℃调质的工件, 其伸长率有随着淬火温度的提高呈现增大的趋势。淬火后的工件, 伸长率低于调质后的工件, 说明调质的工件塑性优于淬火后的工件。

淬火温度对冲击性能的影响如图8所示。冲击性能(V型缺口)按1组3个试样检测, 从图8可看出, 调质工件随着淬火温度的提高, 其材料冲击吸收能

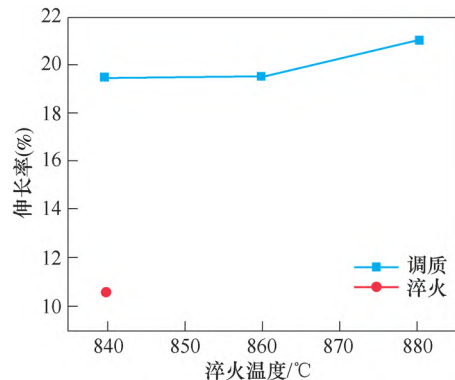


图7 淬火温度对伸长率的影响

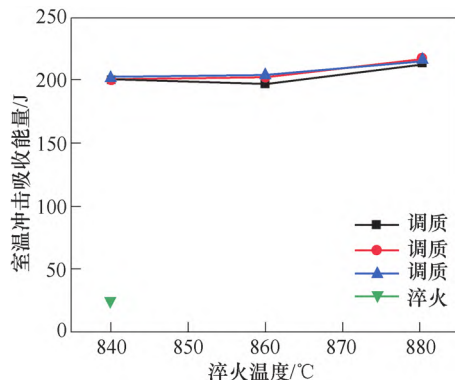


图8 淬火温度对冲击吸收能量的影响

量呈上升趋势,在淬火温度为880℃时最大,该数据反映了材料在淬火温度880℃时冲击性能较好。对比淬火的工件,其冲击吸收能量低于调质后的工件。

根据抗拉强度、屈服强度、伸长率和冲击吸收能量等力学性能数据可以看出,在淬火温度较低时,材料内部的奥氏体化不完全,导致残留较多的铁素体等未转变组织,这会使材料的强度和硬度不足,塑性和韧性也会相对较差。随着淬火温度的升高,逐渐充分奥氏体化,材料的强度会增强。如果淬火温度过高,则会导致奥氏体晶粒过度长大,粗大的奥氏体晶粒在淬火后会转变为粗大的马氏体组织,这会使材料的韧性降低,结合上述880℃淬火后的金相组织和力学性能,并未出现粗大的马氏体组织和较低的韧性。

因此,30CrMo钢管在淬火温度880℃时,不仅具有更好的强度,同时还具有更好的塑性和韧性。

5 结束语

本文研究了30CrMo钢管在不同热处理参数后的硬度、金相组织和力学性能等,通过试验数据分析,得出如下结论。

1) 在淬火温度880℃时,其硬度最高,获得的马氏体量最多,约为97%;随着回火温度升高,硬度降低,当回火温度为610~630℃时,工件硬度为260~300HBW,满足使用技术要求。

2) 30CrMo钢管在淬火后组织为马氏体;在调质后金相组织为回火索氏体,且随着距表面的距离越来越大,回火索氏体中含有的铁素体越来越多。

3) 30CrMo钢管调质后具有更好的综合力学性能;在淬火温度880℃时,不仅具有更好的强度,同时还具有更好的塑性和韧性。

因此,30CrMo钢管调质淬火温度可优化为880℃,进一步提高了30CrMo钢管强度、韧性、塑性等综合力学性能,为液压支架高端化设计提供了保证。

参考文献:

- [1] 程相榜,李争,王炉,等.典型液压支架立柱缸体材料疲劳性能研究[J].能源与环保,2022,44(9):205-208.
- [2] 王国法,张德生.煤炭智能化综采技术创新实践与发展展望[J].中国矿业大学学报,2018,47(3):

459-467.

- [3] 王雪峰.煤矿液压支架立柱外缸压架裂纹分析[J].矿业装备,2024(1):180-182.
- [4] 郭成良.矿用液压支架立柱中缸筒热处理实验研究[J].煤炭与化工,2020,43(2):60-61,64.
- [5] 杨建忠.27SiMn钢热处理后力学性能分析[J].机电工程技术,2019,48(12):86-88.
- [6] 柴蓉霞,张传伟,张丽苹,等.矿用27SiMn钢等温热处理工艺分析[J].热加工工艺,2017,46(18):199-201,205.
- [7] 易军,黄皓磊,洪旭.热处理温度对改性27SiMn钢液压缸体组织与性能的影响[J].热加工工艺,2017,46(8):217-219.
- [8] 张宏伟,王茜,王艳丽,等.液压油缸热处理工艺的改进[J].热加工工艺,2016,45(14):196-197,200.
- [9] 张朝磊,蒋波,赵帆,等.27SiMn钢相变规律与强韧化热处理[J].材料热处理学报,2014,35(S2):107-111.
- [10] 李鹏辉,肖年,郑娜卿.27SiMn钢热处理裂纹分析及亚温淬火工艺研究[J].热加工工艺,2013,42(24):209-212.
- [11] 张刚刚,陈汉,张中尧.30CrMo钢热处理后性能影响因素分析[J].硅谷,2015,8(4):265-266.
- [12] 余泽金,刘金,贺景春,等.30CrMo钢管热处理工艺研究[J].包钢科技,2017,43(1):51-52,64.
- [13] 刘琼.30CrMo热处理工艺及低温冲击性能研究[J].金属加工(热加工),2018(7):56-58.
- [14] 侯旭明.热处理原理与工艺[M].北京:机械工业出版社,2015.

MW 20241116