

• 材料改性 Material Propertiest •
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.07.015

淬火对 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 低合金耐磨钢组织与硬度的影响

杨进德¹, 丁旭²

(1. 贵州大学 工程训练中心, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州大学 机械工程学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要:对 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 低合金耐磨钢进行了不同温度与保温时间的淬火试验。采用显微组织观察、硬度测试研究了不同淬火温度与保温时间对该低合金钢组织与硬度的影响。结果表明:Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的最佳淬火工艺为 860 °C×30 min 保温并油淬,其组织为细小板条马氏体,硬度达到最大值 44.8 HRC;随淬火温度升高和保温时间延长,钢中马氏体逐渐粗化、间距增大,其硬度值逐渐下降。

关键词:低合金耐磨钢;淬火;组织;硬度

中图分类号: TG161; TG113

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2021)07-0613-04

Effect of Quenching on Microstructure and Hardness of Cr-Mo-Ni-Mn-Si Low Alloy Wear Resistant Steel

YANG Jinde¹, DING Xu²

(1. Engineering Training Center, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. School of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: The quenching test of Cr-Mo-Ni-Mn-Si low alloy wear resistant steel at different temperature and holding time was carried out. The effects of quenching temperature and holding time on the microstructure and hardness of the low alloy steel were studied by microstructure observation and hardness test. The results show that the optimal quenching process of Cr-Mo-Ni-Mn-Si steel is 860 °C×30 min heat holding and oil quenching. The microstructure of Cr-Mo-Ni-Mn-Si steel is fine lath martensite plate, and the hardness reaches the maximum of 44.8 HRC. With the increase of quenching temperature and holding time, the martensite in the steel coarsenes gradually, the spacing increases, and the hardness value decreases gradually.

Key words: low alloy wear resistant steel; quenching; microstructure; hardness

磨损是金属材料破坏的主要形式之一,每年因磨损所消耗的金属材料都在百万吨以上,因此各种综合性能良好的耐磨钢的开发与应用具有重要意义。高锰钢是当前应用十分广泛的耐磨材料,高锰钢经过水韧处理后组织主要为奥氏体,这使得高锰钢具有很高的韧性,但在低冲击工况条件下,高锰钢的加工硬化效果不明显,导致其在低冲击条件下难以发挥出材料的特性^[1-2]。低合金钢具有良好的综合力学性能,同时硬度和韧性可以在较大的范围内

调整,在低冲击条件下也具有更好的加工硬化效果^[3],因此低合金钢是一种非常理想的耐磨材料。

近年来材料专业科研人员对低合金耐磨钢热处理工艺方面进行了大量的研究^[4-5],结果发现 C-Mn-Cr-B 低合金耐磨钢进行 920 °C×15 min 保温淬火后,其组织为均匀的板条马氏体;再进行 400 °C×50 min 回火后,组织为回火马氏体,其抗拉强度接近 1 200 MPa,伸长率 25.5%,低温冲击吸收能量 39 J,可以达到 NM400 耐磨钢性能指标要求。Cr-Mn-Si 低合金耐磨铸钢加热到 850~930 °C 保温后油淬,再进行 200 °C 回火,可得到回火马氏体及残余奥氏体组织;随着淬火温度的升高,钢硬度逐渐提高,淬火温度超过 910 °C 后,其韧性出现明显恶化。Cr-Mo-Ni-Mn-Si 低合金钢是一种新型工程机械用的耐磨材料,通过合适的淬火处理,可以得到细小的板条马氏体组织;再经过合适的回火处理,

收稿日期: 2021-04-30

作者简介: 杨进德(1975—),河南安阳人,高级实验师。研究方向:机械设计及制造。电话:15985158505, Email:jdyang@gzu.edu.cn

通讯作者: 丁旭(1963—),贵州贵阳人,教授。研究方向:摩擦磨损及激光加工、材料成型。电话:0851-83627516, Email:620114xj@163.com

Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的综合性能可以得到大幅度的提升。

本文以 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 低合金耐磨钢为研究对象,通过不同温度、保温时间的淬火试验,研究淬火温度和保温时间对 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 低合金钢组织及硬度的影响,确定 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 合金钢的最佳淬火工艺,为低合金耐磨钢的热处理工艺的制定提供借鉴。

1 试验方法

试验用 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢采用电渣重熔法制备并获得标准的 Y 型铸块。Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的成分如表 1 所示。

表1 Cr-Mo-Ni-Mn-Si钢化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of Cr-Mo-Ni-Mn-Si alloy

| C | Cr | Mo | Ni | Mn | Si | P | S | Fe |
|------|------|------|------|------|------|-------|-------|----|
| 0.17 | 0.85 | 0.26 | 1.77 | 1.16 | 0.28 | 0.004 | 0.007 | 余量 |

研究中先对 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢进行 840 °C ~920 °C 保温,以 20 °C 为间隔,保温时间 30 min; 然后进行油淬试验,通过组织分析及硬度测试结果确定最佳淬火温度。再进行最佳淬火温度下,保温 15~60 min 的不同时间后油淬,通过组织分析及硬度测试结果确定最佳淬火保温时间。线切割 10 mm×10 mm×10 mm 的显微组织观察试样,使用不同粒度砂纸打磨表面并抛光,以 4%硝酸酒精溶液浸蚀,在蔡司 Axio Vert 金相显微镜上观察微观组织。采用 HRD-150 型洛氏硬度计测量不同淬火试样的硬度,载荷 150 kg,保荷时间 15 s,每种试样测量硬度点 5

个,取均值为硬度测量结果。

2 结果与分析

2.1 淬火温度的影响

不同温度下保温 30 min 后淬火的 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的显微组织如图 1 所示。观察图 1 可见,Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢铸态组织为珠光体,黑色渗碳体分布在基体上。经不同温度淬火处理后,马氏体含量明显增多。840 °C 淬火的钢中已有少量板条马氏体出现。淬火温度升高到 860 °C 时,Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢中马氏体板条细小、含量明显增加。淬火温度继续升高到 880 °C 时,组织依然为细小板条马氏体,但马氏体间距稍有增大。900 °C 淬火的 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢中马氏体已开始发生粗化;淬火温度达到 920 °C 时,马氏体粗化明显,马氏体间距明显增大。在较高的淬火温度下,合金元素及碳原子扩散能力均有明显的提高,将有更多的碳化物溶解,这将使阻碍奥氏体晶粒长大的阻力减小^[6-7],所以较高的淬火温度条件下 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢中的板条马氏体会发生粗化。

不同温度保温 30 min 后淬火的 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的硬度如图 2 所示。观察图 2 可见,铸态下硬度为 27.5 HRC。与铸态相比,淬火后 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的硬度有明显提高。随着淬火温度的升高,硬度先升高后降低,其中 860 °C 淬火的 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的硬度最高,为 44.8 HRC。淬火温度从 840 °C 升高到 860 °C 时,钢组织中碳化物及合金元素开始充分扩散、溶解,细小板条马氏体明显增多,因此

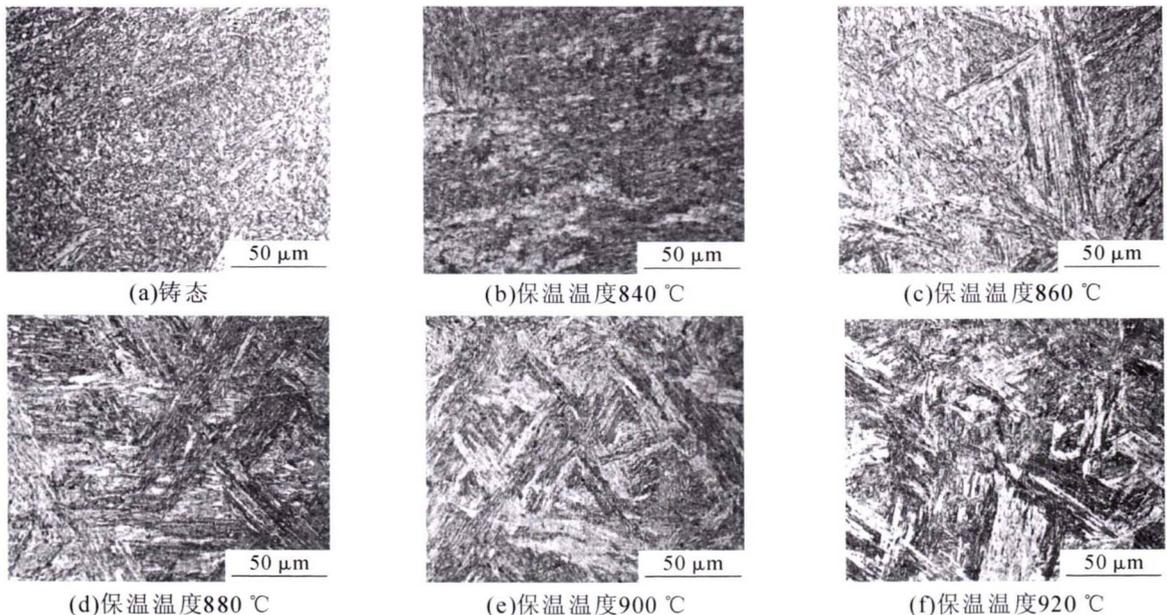


图1 铸态和不同温度保温 30 min 后 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的淬火显微组织

Fig.1 Microstructure of Cr-Mo-Ni-Mn-Si steel as cast and quenched at different temperature for 30 min

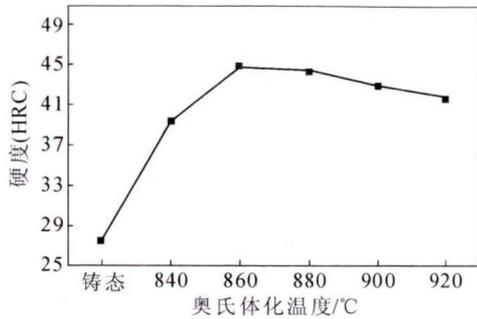
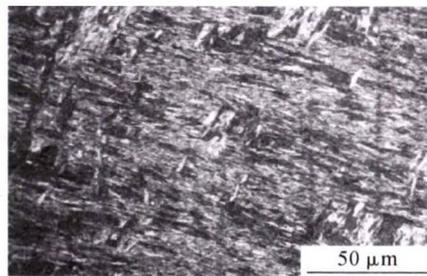


图2 铸态和不同温度保温 30min 后 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的硬度
Fig.2 Hardness of Cr-Mo-Ni-Mn-Si steel of as cast and quenched at different temperature for 30 min

Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的硬度提升明显。淬火温度继续升高到 880 °C 以后,板条马氏体间距增大,马氏体逐渐发生粗化,硬度表现为逐渐小幅下降。由于 860 °C 保温 30 min 后淬火的 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢中马氏体板条最为细小,硬度值最高,因此确定 860 °C 为 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的最佳淬火温度。



(a)保温时间15 min



(b)保温时间30 min



(c)保温时间45 min



(d)保温时间60 min

图3 860 °C 保温不同时间后淬火的 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的显微组织
Fig.3 Microstructure of Cr-Mo-Ni-Mn-Si steel quenched at 860 °C for different holding time

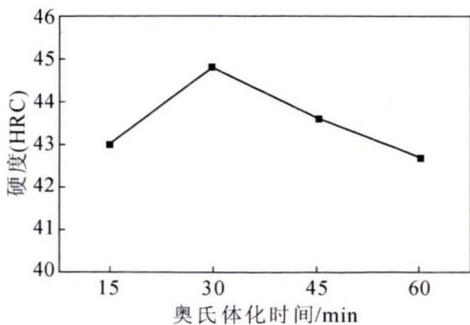


图4 860 °C 不同保温时间淬火的 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的硬度
Fig.4 Hardness of Cr-Mo-Ni-Mn-Si steel quenched at 860 °C for different holding time

2.2 保温时间的影响

图3 为在 860 °C 下保温不同时间后淬火的 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的显微组织。观察图3 可见,保温 15 min 后淬火的钢中板条马氏体含量较少且分布不均,说明保温时间过短,一些合金碳化物还未得到完全均匀化扩散。保温时间延长到 30 min 时,细小板条马氏体含量明显增加,分布也较为均匀。保温时间继续延长到 45 min 至 60 min 时,钢中的板条马氏体发生明显粗化,说明 45~60 min 保温时间过长,奥氏体已经发生长大。

860 °C 保温不同时间淬火后的 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的硬度如图4 所示。观察图4 可见,随着保温时间的延长,Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的硬度先升高后降低,860 °C 保温 30 min 淬火后钢的硬度最高,为 44.8 HRC。由图3 的组织可知,860 °C 保温 15 min 后淬火的钢中板条马氏体含量较少且不均匀,保温时间延长至 30 min 后,板条马氏体含量明显增加,且均匀细小。

因此保温时间从 15 min 延长到 30 min 时,Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的硬度明显提高。保温时间继续延长到 45 min 至 60 min 时,因为马氏体粗化导致组织界面能降低^[8-11],Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的硬度表现为逐渐下降。对比分析不同温度、不同保温时间淬火的 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的组织与硬度,确定 Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的淬火工艺为 860 °C×30 min 保温后油淬。

3 结论

(1)Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢经过 860 °C 保温 30 min

的油淬后,组织为细小板条马氏体;随淬火温度升高和保温时间延长,马氏体逐渐粗化、间距增大。

(2)Cr-Mo-Ni-Mn-Si 钢的最佳淬火工艺为 860 °C ×30 min 后油淬,此时钢的硬度最高,为 44.8 HRC;随淬火温度升高和保温时间延长,钢的硬度值逐渐下降。

参考文献:

- [1] 龚俊,张航.高锰钢辙叉在机械冲击下的预硬化特性[J].兰州理工大学学报,2019,45(1):6-10.
- [2] 张玲芬.工艺参数对耐磨钢冷轧应力特性的影响[J].机电工程技术,2020,49(4):65-66.
- [3] 董娜,徐永新,杨晓.淬火温度对工程机械用低合金耐磨钢组织与力学性能的影响[J].热加工工艺,2020,49(22):123-125.
- [4] 宋欣,杨海峰,王川,等.C-Mn-Cr-B 系低合金耐磨钢组织性能的研究[J].轧钢,2020,37(2):26-33.

- [5] 马焕楠,米国发,许磊,等.中碳 Cr-Mn-Si 低合金耐磨铸钢热处理的研究[J].材料导报,2015,29(S1):393-396.
- [6] 韩斌,张绪平,林波.H400 和 NM400 低合金钢耐磨性能研究[J].铸造技术,2019,40(11):1153-1155.
- [7] 周明星,周世明,张万顺,等.奥氏体化温度对无碳化物高强贝氏体钢相变组织和性能的影响[J].热加工工艺,2020,49(4):122-125.
- [8] 王定祥,王世伟.耐磨合金钢的回火脆性、变质处理及组织遗传性[J].铸造技术,2020,41(4):370-374.
- [9] 杨雄,余伟,唐荻,等.淬火终冷温度对 DQ 钢组织和力学性能的影响[J].热加工工艺,2019,48(20):125-129.
- [10] DENG X T, WANG Z D, HAN Y, et al. Microstructure and abrasive wear behavior of medium carbon low alloy martensitic abrasion resistant steel [J]. Journal of Iron and Steel Research International, 2014, 21(1): 98-103.
- [11] ZHOU WENQIAN. Effect of quenching and partitioning process to low-alloy wear resistant steel [J]. Journal of Materials Research, 2016, 31(5): 663-669.

(上接第 602 页)

控制孕育过程,采取炉前孕育和瞬时孕育相结合的方式^[7];严格控制铁液的出炉温度和浇注温度,出炉温度控制在 1 450±10 °C,浇注温度控制在 1 350±10 °C。

4 结语

随着风电机组兆瓦等级的增加,球墨铸铁件趋向于大型化、复杂化,对铸造工艺提出了新的挑战,需要我们不断深入研究探讨铸造缺陷产生的原因,提出解决措施,从源头上避免缺陷,提高铸件合格率。

参考文献:

- [1] 赵伟华,周泽华.QT400-18L 铸件的缩松缺陷对其力学性能的影响[J].理化检验-物理分册,2011(47):546-549.

- [2] 俞旭如.大型风力发电机组用风电铸件国家标准的制定和制造技术[C]//大型铸铁件铸造生产技术研讨会论文集.宁波:2009.
- [3] 郑洪亮,田卫星.球墨铸铁缩松形成机理研究的现状[J].铸造,2005,154(11):1063-1066.
- [4] 胡鹏,杨兆忠.风电机组球墨铸铁件缩松缺陷分析与改进方法[J].铸造技术,2026,37(3):585-590.
- [5] 王智平,徐建林.造成球铁件缩孔缩松缺陷因素的研究[J].铸造技术,2002,23(5):298-300.
- [6] 冯淑花,孟庆丰.球墨铸铁缩孔、缩松形成机理的探讨与预防[J].铸造技术,2015,36(8):2153-2155.
- [7] 王恩建.大型风力发电机组用铸件的铸造缺陷及其控制[J].铸造技术,2016,37(2):402-404.

技术资料邮购

《铸造抗磨产品实用生产技术集》

《铸造抗磨产品实用生产技术集》本书由李德臣教授级高工编著。共8章: 1 关于锰钢生产技术; 2 球墨铸铁与蠕墨铸铁生产技术; 3 抗磨产品生产技术; 4 锤头生产技术; 5 消失模、V法生产技术; 6 典型铸件的生产技术; 7 还原罐生产技术; 8 关于企业管理。全书22万字。特快专递邮购价: 98元。

邮购咨询: 李巧凤 电话/传真: 029-83222071