# 正火冷却速度对20CrNiMo钢组织和性能的影响

杨维庆<sup>1</sup>,杨仲书<sup>1</sup>,张宏福<sup>1</sup>,杨超<sup>1</sup>,韩仁杰<sup>1</sup>,刘爱军<sup>2</sup>

2.合肥工业大学材料学院 安徽合肥 230009

摘要:利用扫描电镜、金相显微镜和硬度计等检测手段研究不同正火冷却速度对20CrNiMo钢组织和性能的影响。结果表明:经炉冷的20CrNiMo钢组织中主要为珠光体和铁素体,经风冷的20CrNiMo钢组织中主要为珠光体和铁素体,此外还发现少量的马氏体;经空冷+风冷的20CrNiMo钢组织中除了珠光体和铁素体外,还发现一定量的马氏体。随着正火冷却速度的增加,容易诱发马氏体相变。此外还发现,随着正火冷却速度的增加,20CrNiMo钢的洛氏硬度基本保持平稳,显微硬度部分区域有所上升,这与组织变化趋势相一致。 关键词:正火,带状组织,冷却速度,力学性能

# Effect of normalizing cooling rate on microstructure and properties of 20CrNiMo steel

YANG Weiqing<sup>1</sup>, YANG Zhongshu<sup>1</sup>, ZHANG Hongfu<sup>1</sup>, YANG Chao<sup>1</sup>, HAN Renjie<sup>1</sup>, LIU Aijun<sup>2</sup>

Anhui Juli Oil Drilling Equipment Technology Co., Ltd., Chizhou 247100, Anhui, China
 School of Materials, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China

**Abstract:** The effects of different normalizing cooling rates on the microstructure and properties of 20CrNiMo were studied by means of scanning electron microscope, metallographic microscope and hardness tester. The results show that pearlite and ferrite are mainly present in the furnace cooled 20CrNiMo structure, and pearlite and ferrite are mainly present in the air cooled 20CrNiMo structure, and a small amount of martensite is also found. In addition to pearlite and ferrite, a certain amount of martensite was also found in the air-cooled 20CrNiMo structure. With the increase of normalizing cooling rate, martensitic transformation is easily induced. In addition it is found, with the increase of normalizing cooling rate, the Rockwell hardness of 20CrNiMo is basically stable, and the microhardness increases in some areas, which is consistent with the microstructure change trend. **Keywords:** normalizing; banded structure; cooling rate; mechanical property

1 序言

20CrNiMo低碳合金钢常用于制造高硬、高强和 高韧的较大重要渗碳件,如阀座、凸轮轴、连杆及 齿轮等<sup>[1, 2]</sup>。石油钻探装置的阀体在工作过程中需 要承受较大的循环应力与冲击力,受到加工装配精 度以及泥浆中硬砂石的研磨等多种因素的影响,因 此对阀体材料组织和性能要求高。阀体材料经高温 锻造、等温正火、渗碳、淬火和低温回火等一系列

基金项目:国家自然科学基金(51901063)。

第一作者:杨维庆,工程师,本科,主要从事材料及热处理研发工作,E-mail: ywq@julishiyou.com。

通信作者:刘爱军,高级实验师,博士,主要从事高性能金属材料制备及热处理工作,E-mail: aijunliu@hfut.edu.cn。

工序后使用,最终得到在心部具有较高的强度和韧度,表层具有很高的硬度、耐磨性和耐疲劳性能材料<sup>[3,4]</sup>。20CrNiMo钢在正火处理中,由于装炉或装料筐的位置原因,造成工件中冷却速度不均,导致组织不均匀。当冷却速度过快时容易产生马氏体,不利于后续渗碳处理成分均匀,当冷却温度过高时会出现贝氏体组织,硬度偏高,不利于机械加工<sup>[5,6]</sup>。当正火终冷温度控制不当时,还会造成残留奥氏体碳配分的差异,从而造成残留奥氏体的稳定性不同,所形成的马氏体、贝氏体、铁素体界面均是显微孔洞和裂纹扩展的风险界面<sup>[7]</sup>。

本文试验所选材料为20CrNiMo阀体渗碳钢,旨 在通过不同正火冷却速度对渗碳处理前热处理工艺 进行探讨,比较一般炉冷、空冷和空冷+风冷冷却 后正火工艺的组织和性能,为该钢种在渗碳处理前 工艺提供参考。

## 2 试验材料及方法

试验所使用的原材料主要是20CrNiMo钢(等 同于ASTM8620),其主要化学成分见表1。试验过 程:对低碳钢经过等温930℃保温120min,冷却至 630℃保温150min。热处理工艺曲线如图1所示,热 处理后的阀体试样如图2所示。

位置	С	Si	Ni	Mn	Мо	Fe
1	0.20	0.23	0.58	0.78	0.17	余量
2	0.19	0.2	0.63	0.8	0.18	余量
3	0.20	0.22	0.61	0.82	0.17	余量

表1 20CrNiMo钢化学成分(质量分数)(%)

利用蔡司金相显微镜观察不同热处理状态下的 组织;通过MAXx07-F直读光谱仪测量材料的成 分;采用G500热场扫描电子显微镜对不同组织进 行更高倍的观察,并利用能谱仪对相关区域进行成







b) 空冷 图3 不同冷却方式对条带组织形貌的影响



图2 热处理后阀体试样

分分析,采用MH-3维氏硬度计和洛氏硬度计对显 微硬度、洛氏硬度进行检测,其中显微硬度计载荷 1kg(1kg=9.8N),保压时间15s。洛氏硬度载荷 150kg。

## 3 试验结果与分析

#### 3.1 不同冷却速度对20CrNiMo钢组织的影响

图3所示为不同冷却速度下所形成的20CrNiMo 钢条带组织。炉冷和空冷后可以发现明显的条带 状组织,其产生原因:一方面,可能是锻造工艺不 当,锻造比过小;另一方面,可能是锻造后因正火 保温时间不足而导致元素扩散不充分。空冷+风冷 处理后无明显条带组织,这是因冷却速度过快而导 致组织发生相变。图4所示为不同冷却速度下所形成 的20CrNiMo钢金相组织,经炉中冷却和空冷处理后 主要是先共析铁素体+珠光体,这是因为当温度降 低至630℃时,主要是奥氏体转变为珠光体,在650



c) 空冷+风冷

余篇加工。热加工

~930℃区域内主要是铁素体析出。经过空冷+风冷 处理后,可以发现明显的马氏体组织,这是冷却速 度过快导致的C元素在铁素体中的过饱和。

图5所示为不同冷却速度下所形成的20CrNiMo 钢电子显微组织。经过炉冷主要是先共析铁素体 和珠光体,这与金相组织结果一致。经过空冷、空 冷+风冷处理后可以发现明显的马氏体组织形貌, 20CrNiMo钢经过空冷处理后,马氏体数量明显少

于经空冷+风冷处理后的数量。为了进一步分析结 论的可靠性,对一些马氏体区域进行线谱和面谱 分析。

图6所示为经空冷处理的少量马氏体区域成分分 布情况(线谱),结果表明,板条马氏体区域C元 素浓度有明显起伏,因此确认有板条马氏体存在。 图7所示为经空冷+风冷处理的马氏体区域成分分布 情况(面谱),面谱分析结果表明,组织中C元素



a) 炉冷





4µm



b) 空冷 图5 不同冷却方式下的电子显微组织







d) Si元素谱图

e) Cr元素谱图 图7 经空冷+风冷处理的马氏体区域成分分布(面谱) f) Mn元素谱图

分布偏距区域可以确认有马氏体。

#### 3.2 不同冷却速度对20CrNiMo钢硬度的影响

不同冷却速度对20CrNiMo钢硬度的影响见表 2。从表2可看出,经过炉冷和空冷,洛氏硬度和 显微硬度基本一致,经空冷+风冷处理后,洛氏硬 度稍微有所上升,然后部分区域的显微硬度上升明 显。经空冷+风冷处理后,显微硬度上升的原因是 因过冷度过大而产生的马氏体引起的(见图4、图 5)。

冷却状态	洛氏硬度HRC	显微硬度HV1		
炉冷	$28.5\pm0.5$	$290\pm15$		
空冷	$29\pm0.2$	$293\pm22$		
空冷+风冷	$29.5\pm0.5$	$300\pm42$		

#### 4 结束语

4) 经炉冷的20CrNiMo钢组织中主要为珠光体
 和铁素体,当冷却速度加快时,可以发现少量马氏体,冷却速度越快,马氏体越明显,导致材料中局
 部硬度上升。随着冷却速度加快,在一定程度上可以改善条带状组织。

2)随着正火冷却速度的增加,20CrNiMo钢的
 洛氏硬度基本保持平稳,显微硬度部分区域有所上
 升,这与发现的组织变化趋势相一致。

#### 参考文献:

[1] CHEN X, HONG J, WANG Y, et al. Fatigue

failure analysis of the central-driven bevel gear in a turboshaft engine arising from multi-source excitation[J]. Engineering Failure Analysis, 2021, 119 (1) : 104811.

- [2] WOODS J L, DANIEWICZ S R, NELLYISM R. Increasing the bending fatigue strength of carburized spur gear teeth by presetting[J]. International Journal of Fatigue, 1999, 21 (6) : 549-556.
- [3] 魏哲,郭林秀.正火加热时间对DH36船板钢组织和 力学性能的影响[J].热处理,2022,35(4):24-27.
- [4] 陈佳宝,岳杰,张先鸣.风电螺栓热处理工艺优化
  与质量控制[J].金属加工(热加工),2024,59
  (1):82-88.
- [5] 涂兴洋,杨昌贵,史显波,等.正火终冷温度对 U26Mn2Si2CrNiMo贝氏体奥氏体钢力学性能的影 响[J].钢铁研究学报,2023,35 (9):1161-1173.
- [6] 吕瑞明.重型汽车变速箱齿轮材料及热处理工艺的 试验研究[D].长春:吉林大学,2011.
- [7] KUMAR A, DUTTA A, MAKINENI S K, et al. In-situ observation of strain partitioning and damage development in continuously cooled carbide-free bainitic steels using micro digital image correlation[J]. Materials Science and Engineering: A, 2019, 757: 107.