

35CrMo 钢拉杆显微组织与性能

孙维连 杨钰瑛

河北农业大学机电工程学院, 保定 071001

【摘要】介绍了 35CrMo 钢拉杆显微组织与性能的关系。研究了带状偏析、网状铁素体、粗大晶粒等组织状态对力学性能的影响。采用金相法分析了钢拉杆校直出现断裂的原因。鉴于原材料存在带状组织偏析, 平镦加热组织粗大、铁素体网状分布等组织缺陷, 在拉杆淬火加热前应增加一道正火或退火工序。通过细化晶粒, 消除网状铁素体和带状组织, 可进一步提高拉杆的力学性能。

[中图分类号] TG

[文献标识码] A

文章编号:

关键词 组织; 性能; 失效分析

Microstructures and Properties of the pulling pole of 35CrMo Steel

SUN Wei-lian YANG Yu-ying

Electronic-mechanical Engineering Institute, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001

【Abstract】In this paper, the relation of microstructures and properties of the pulling pole of 35CrMo steel was introduced. The effect of banding segregation, netted ferrite, and coarse grain of 35CrMo steel on mechanical properties was studied. Adopted to metallographic method, the reason of fracture of the pulling pole of steel during straightening was analyzed. Because that the raw materials have some microstructure defects such as banding segregation, coarsened grains and networked ferrite. A normalizing or anneal process should be added before quenching to refine grains, eliminate the networked ferrite and banding microstructures for the pulling pole, so that the mechanical properties of the material can be improved further.

【Key words】 microstructure; Properties; failure analysis

钢拉杆应用于大型建筑的框架结构。根据技术要求, 钢拉杆的抗拉强度 $\sigma_b \geq 750\text{Mpa}$, 屈服强度 $\sigma_s \geq 550\text{Mpa}$, 伸长率 $\delta \geq 17\%$, 断面收缩率 $\psi \geq 50\%$, 冲击韧度 $A_K \geq 50\text{J}$ 。为了满足强度、延伸率、断面收缩率和冲击功要求, 钢拉杆选用 35CrMo 钢, 直径为 100mm, 长度为 6m。拉杆连接采用螺纹连接方式, 在钢拉杆的两端, 通过加热和平镦工艺使其直径达到 120mm。加工好螺纹后, 拟选用 850℃ 加热淬火,

收稿日期:

作者简介: 孙维连 (1957—) 河北保定人, 河北农业大学教授, 研究方向: 表面工程, 工程材料组织与性能。发表论文 40 余篇。联系电话:

0312-7521580, 13703221896, bd999@eyou.com

550℃ 回火的热处理工艺达到其强度等技术要求。热处理后对该材料的试件进行了拉伸试验和冲击试验, 试件的拉伸强度、延伸率、断面收缩率达到技术要求, 但冲击韧度不足。另外, 在钢拉杆镦粗过程中, 出现了弯曲变形。为了校直拉杆, 采用 1000 吨压力机校正时, 拉杆在变径处出现断裂, 见图 1。

为了寻找失效原因和解决塑性、韧性低的问题, 对拉杆的原材料、热处理工艺和热处理前后的金相组织进行了分析。



图1 钢拉杆断裂形貌（宏观照片 0.5×）

Fig.1 Fractural morphology of the steel-pulling pole
(macrograph 0.5×)

1. 材料与试验方法

1.1 原材料化学成分分析

用化学滴定法分析原材料化学成分并对比国家标准 GB/T3077，其结果如表 1 所示。

表 1 35CrMo 钢原材料化学成分（质量分数 %）

Table 1 chemical composition of 35CrMo steel

	C	Si	Mn	Cr	Mo	S	P
标准成分	0.32-0.40	0.17-0.37	0.40-0.70	0.80-1.10	0.15-0.25	≤0.035	≤0.035
化验成分	0.40	0.31	0.55	1.05	0.21	0.008	0.018

1.2 金相试样制备

用金属带锯机在原材料和平锻后、校直断裂件上取样，取样部位：距中心 25mm 处沿纵、横截面取样。用 Q-100 试样切割机在热处理后的试件沿纵、横截面取样。用 DMP-3A10 自动研磨抛光机制备金相试样，并用硝酸酒精溶液腐蚀出金相组织。

1.3 洛氏硬度和显微硬度测量

采用 HR150 测量零件宏观硬度。

采用 MH-6 显微硬度计测量显微硬度（载荷砝码 200g，保持时间 5s）。

1.4 拉伸与冲击试验

在原材料上取样，加工出拉伸试样和冲击试样，热处理后，进行拉伸和冲击试验。

2. 结果与分析

2.1 原材料显微组织及带状级别判定

取样部位：距中心 25mm 处，金相观察纵截面金相组织为珠光体与铁素体，呈连续带状分布，带

状组织达到 5 级（按 GB/T13299-1991 C 系列评级标准）。组织中铁素体晶界清晰可见，珠光体带宽窄不一，见图 2。

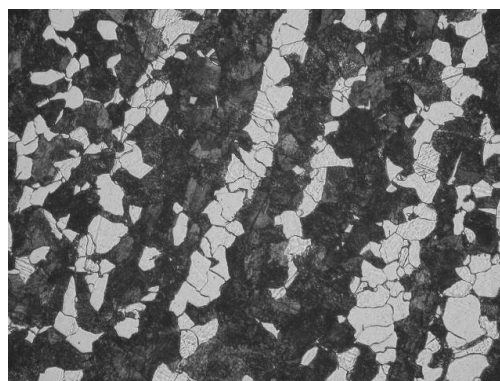


图 2 拉杆纵截面金相组织（100×）

Fig.2 Original microstructure of longitudinal plane of pulling pole

横截面金相组织为铁素体+珠光体，各占约 50%，晶粒较粗大。按 GB6394-1986 晶粒度为 4—5 级，见图 3。

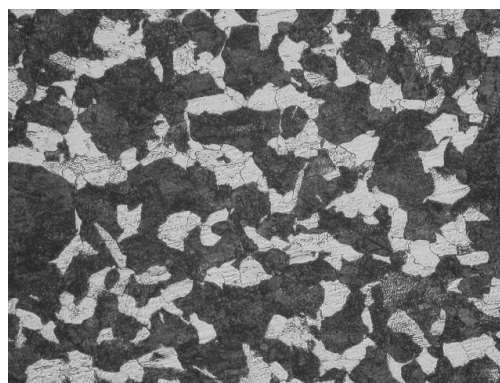


图 3 拉杆横截面金相组织（100×）

Fig.3 Original microstructure of cross section of pulling pole

2.2 平锻后校直断裂件显微组织及带状级别判定

金相观察表明，试样纵、横截面金相组织基本相同，铁素体在珠光体周围成网状分布，并有轻微的魏氏组织，按 GB/T13299-1991 评级标准为 1 级，珠光体为细片状，且组织粗大。试样纵、横截面的晶粒度均为 2 级。见图 4。



图4 断裂件金相组织 (100×)

Fig.4 Original microstructure of fractured part of pulling pole

2.3 直接淬火+回火试件金相分析

对原材料未加任何处理直接加热 850℃ 淬火, 经 550℃ 回火, 观察金相组织有明显的颜色差别, 试样的纵截面有带状组织偏析痕迹, 黑白带状区域分明, 见图 5。试样的横截面也有明显的块状黑色组织分布痕迹。白区保留明显的马氏体位向, 显微硬度为 287HV (30HRC) (载荷 200g, 保持时间 5s) 黑区无马氏体位向, 显微硬度 362HV (39HRC)。

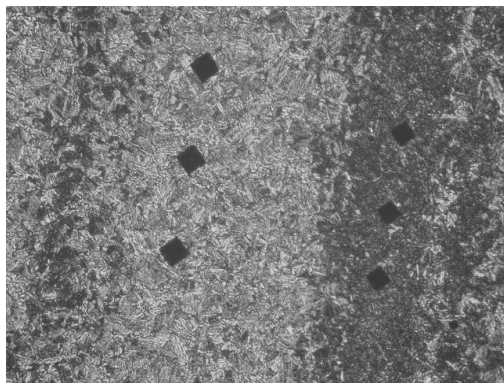


图5 淬火+回火后试样金相组织 (100×)

Fig.5 Original microstructure of sample after quenching and tempering

2.4 正火+淬火及回火试件的金相分析

将有带状组织的原材料进行正火处理, 正火后的金相组织为等轴晶粒的铁素体和珠光体, 晶粒度 6 级。采用加热 850℃ 淬火, 经 550℃ 回火后得到均匀的索氏体组织, 形貌见图 6。显微硬度 362HV (39HRC)。

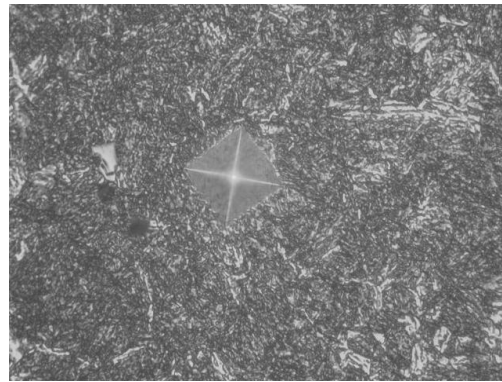


图6 正火+淬火+回火后的试件金相形貌 (500×)

Fig.6 Original microstructure of sample after normalizing + quenching and tempering

2.5 拉伸和冲击试验结果

在原材料上取样, 加工出拉伸试样和冲击试样, 热处理后 (直接淬火及回火, 正火+淬火+回火) 进行拉伸和冲击试验。

表2 试样热处理后拉伸与冲击实验数据 (平均值)

Table 2 Experimental data on pull test and impact test of the samples after heat treatment (average data)

工艺 编号	σ_b Mpa	σ_s Mpa	δ_5 %	ψ %	A_K J
1	750	550	17	50	50
2	820	615	17.5	60	40
3	1200	950	18	65	100

注: 1: 钢拉杆的技术要求 2 直接淬火及回火试样;

3. 正火+淬火+回火试样

3. 讨论

35CrMo 钢在高温下具有高的持久强度和蠕变强度, 低温韧性好, 具有高的静强度、冲击韧性和较高的疲劳强度, 淬透性良好, 无过热倾向, 淬火变形小, 冷变形时塑性尚可, 切削性能一般, 但有第一类回火脆性。焊接性能不好。

3.1 该钢拉杆原始组织沿轧制方向 (试样的纵截面) 存在较严重的带状组织。该状态对材料的塑性和韧性有较大的影响 (各向异性)。直接淬火和回火后, 试样的纵截面仍保留明显的带状特征, 黑白条状区域明显 (图 5), 组织显微硬度出现差异。根据组织形貌和显微硬度可断定, 出现黑、白区是碳浓度

分布不均匀, 从而造成硬度不同。这表明直接采用淬火回火工艺并不能消除带状缺陷, 并对性能会产生不利的影响。试验表明, 在淬火前增加一道正火工序, 可消除带状缺陷(图 6)。

3.2 校直过程中, 钢拉杆变径处断裂主要由于平镗前局部加热温度过高(工件表面氧化皮严重), 造成组织粗大, 晶粒度达到 2 级, 脆性增大。组织中铁素体呈网状分布(图 4), 有轻微的魏氏组织形貌, 使得晶粒间的强度大大降低, 校直时造成沿晶断裂, 图 1 中结晶状断口形貌可以证实这一点。出现此类情况, 应采用细化晶粒的退火或正火处理加以解决。

3.3 该材料直接淬火后 550℃回火, 抗拉强度 820Mpa, 冲击功仅 40J。通过正火处理, 消除了带状组织, 细化了晶粒。淬火+回火后, 材料抗拉强

度达到 1200Mpa, 冲击功达到 100J, 满足了技术要求。

4. 结论

本文所研究的原材料带状组织偏析严重, 使材料承载能力具有明显的方向性。原始材料存在带状组织缺陷, 调质处理前不进行消除带状组织处理, 冲击功不能满足技术要求。平镗前局部加热温度过高, 组织中铁素体呈轻微的魏氏组织形貌网状分布, 使得晶粒间的强度大大降低, 脆性明显增大, 是校直时造成了沿晶断裂的主要原因。平镗后增加正火工艺, 细化了晶粒、消除了网状铁素体和带状组织, 再经调质处理, 提高了材料的力学性能, 满足零件技术要求。

参考文献

- (1)侯增寿, 金属热处理手册第二版第一卷 M 北京 机械工业出版社 1991.7 123
- (2)陈恒庆, 中国钢铁材料牌号手册 M 北京 中国标准出版社 1994.5 161
- (3)相瑜才, 孙维连 工程材料及机械制造基础(工程材料) M 北京 机械工业出版社 1997.11 70-71
- (4)唐汝均, 机械工程材料测试手册 M 沈阳 辽宁科学技术出版社 1999.11 102
- (5)中国机械工业标准汇编(第二版)金属热处理卷 M 北京 中国标准出版社 2002.8 379-385