

25Cr2MoV 钢高温螺栓断裂分析

刘建华

(中国矿业大学材料科学与工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 通过力学性能试验、金相分析及 SEM 断口分析对火电厂机组气缸 25Cr2MoV 钢高温紧固螺栓发生断裂进行了研究。结果表明: 该螺栓长期在高温条件下服役, 其晶界会有黑色网状碳化物析出、晶界粗化, 同时组织老化, 承受载荷能力下降。在停开机提速过快时, 螺栓不能承受施加的偏心冲击载荷, 导致其发生脆性失效。

关键词: 25Cr2MoV; 脆性断裂; 断口分析; 晶界弱化

中图分类号: TG142.1

The Fracture Analysis of High-temperature Bolts Made of 25Cr2MoV Steel

LIU Jianhua

(School of Material Science and Engineering, China University of Mining and Technology, Jiangsu XuZhou 221116)

Abstract: The fracture of high-temperature fastening bolts made of 25Cr2MoV steel used on thermal power unit cylinder has been studied. Analyses on fracture with mechanical properties, metallographic examination and SEM have been carried out. The results showed that the black mesh grain boundary carbide precipitation with 25Cr2MoV steel under long-term elevated temperature service, and the grain boundary coarsening. These factors contribute to grain boundary and grain boundary weakening performance, organization of aging itself, load bearing capacity of the matrix decreased. Stop the excessive speed at the start, the bolts can not withstand the impact loads imposed by the eccentric, leading to brittle failure.

Keywords: 25Cr2MoV; brittle fracture; fractography analysis; grain boundary weakening

0 引言

火力发电厂锅炉、汽轮机的气缸结合面和蒸汽管道等部件广泛采用 25Cr2MoV 钢高温螺栓进行紧固连接^[1]。实践表明, 该螺栓长期在高温下运行, 常出现脆化现象, 其硬度明显升高, 室温冲击韧性下降, 发生断裂, 直接影响火电厂的生产安全^[2,3]。为此原水电部曾颁布标准规定, 25Cr2MoV 螺栓硬度超过 HB240~270, 室温冲击韧性小于 588kJ/m², 就不能再使用, 可以进行重新热处理(称恢复热处理)使螺栓韧性得到恢复^[4]。该螺栓要具有良好的耐热性和抗松弛能力, 低的热脆性, 且在常温下有高的强度和冲击室温韧性^[5,6]。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

本文试验材料由某发电厂提供的已发生断裂的 25Cr2MoV 钢机组汽缸紧固螺栓, 其规格为 M100×4×1085, 工作温度 540℃左右, 压力 13MPa。经材质分析, 该螺栓材料的化学成分和标准技术要求如表 1 所示。

1.2 试验方法

从断裂的高温螺栓断裂面靠近杆体侧沿纵向取样, 拉伸试验按照国家标准 GB228-2002 执行, 在 CSS-44300 电子拉力试验机上进行, 采用 Φ10×50mm 标准拉力试样, 试样数量为

作者简介: 刘建华, (1987-), 男, 硕士研究生, 金属材料的失效分析. E-mail: liujh2005.12@163.com

3 个。冲击性能测试按照《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》(GB/ T229 —2007) (以下简称《冲击试验》)的规定^[7]，在 JNB-300B 试验机上进行，同拉伸试验取相同部位的的材料，采用 10×10×50mm 标准 U 型和 V 型缺口冲击试样，试样数量各为 3 个。采用奥林巴斯光学显微镜进行组织分析，S23000N 扫描电镜进行断口分析。

表 1 25Cr2Mo1V 钢高温螺栓的化学成分(wt.%)

元素	C	Cr	Mo	Mn	Si	V	P	S
实测值	0.26	2.21	1.02	0.69	0.32	0.48	0.023	0.017
标准值	0.22~0.30	2.10~2.50	0.90~1.10	0.55~0.80	0.17~0.37	0.30~0.50	<0.035	<0.030

2 试验结果及分析

2.1 断口宏观分析

螺栓断裂发生在螺栓与紧固螺帽连接的最外一环螺纹扣部位。断裂螺栓断口齐平，与螺栓轴向垂直，裂纹沿螺纹扣形成并扩展，如图 1 所示。



图 1 断裂螺栓断口

图 1 所示 a 区域为断裂起始区，在此区域范围，裂纹较为细密，裂纹源更加密集，断面较为平坦，其上可以观察到裂纹扩展形成的放射状花样；在图示 b 区域，为裂纹快速扩展、多个裂纹面汇合形成的台阶以及快速断裂形成的二次裂纹。

该螺栓断裂性质为典型的脆性断裂，断裂面垂直于轴向，裂纹沿螺纹根部形成。由于存在一定的偏载，裂纹首先在螺栓的一侧起裂，然后迅速扩展，形成静载过载脆性断裂。

2.2 断口微观分析

在断口边缘部位取样，在扫描电子显微镜上对断口进行微观分析。断口处的 SEM 形态见图 2 所示。

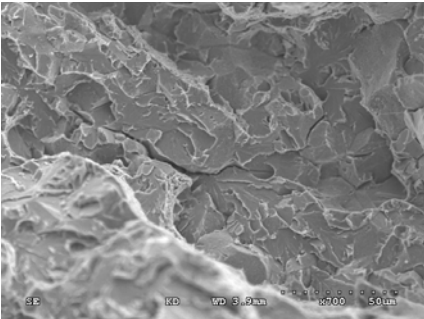


图 2 断口 SEM 照片

图 2 表明断裂的微观机制为解理断裂，并伴随大量的沿晶裂纹和二次裂纹，属于典型的脆性断裂。

2.3 拉伸试样断口分析

70 拉伸试验后的试样上有明显径缩，伸长率也较高，但断裂面上没有通常韧性材料拉伸时形成的三个区，即裂纹形成区（纤维区）、放射区和瞬断区，而只有粗大的放射区且有较深的纵向开裂裂纹，如图 3。



图 3 拉伸试样断口形态

75 在 SEM 上对拉伸试样断口进行微观分析，与断裂螺栓的微观形态进行比较分析。拉伸试样断口微观形态和特征如图 4 所示。

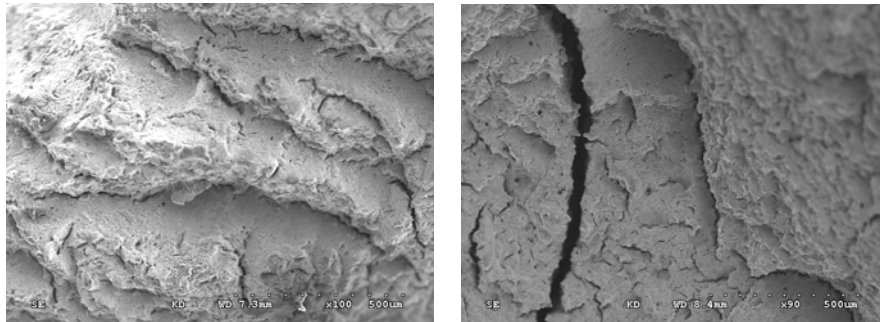


图 4 拉伸试样断口 SEM 图像

80 拉伸试样的微观断裂机制为微孔聚集和准解理断裂，与实际断裂螺栓的断裂机制不同。

2.4 冲击试样断口分析

在 SEM 上对冲击试样断口进行微观分析，如图 5 所示

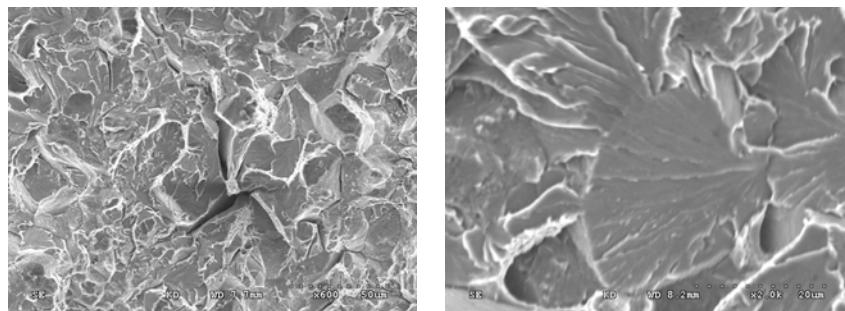


图 5 冲击试验断口 SEM 形貌

85 从图 4 可见冲击试验试样微观断裂机制为沿晶和解理断裂，其特征与实际断裂螺栓断裂机制相同。综上说明该螺栓是在冲击载荷下断裂的。对比分析图 2 和图 4，可以明显看出，两者断裂微观形态完全相同，均为典型的解理断裂特征，只是冲击试样冲击速度快，解理面大。

90

2.5 金相分析

利用奥林巴斯金相显微镜及显微维氏硬度计对汽缸螺栓试样进行显微组织、显微硬度试验分析。

2.5.1 显微组织

95 螺栓的金相组织形态如图 6 所示。经分析，螺栓微观组织为回火贝氏体+索氏体，但组织不均匀，存在较严重微观成分偏析，金相中可明显的观察到网状分布的黑色区域。

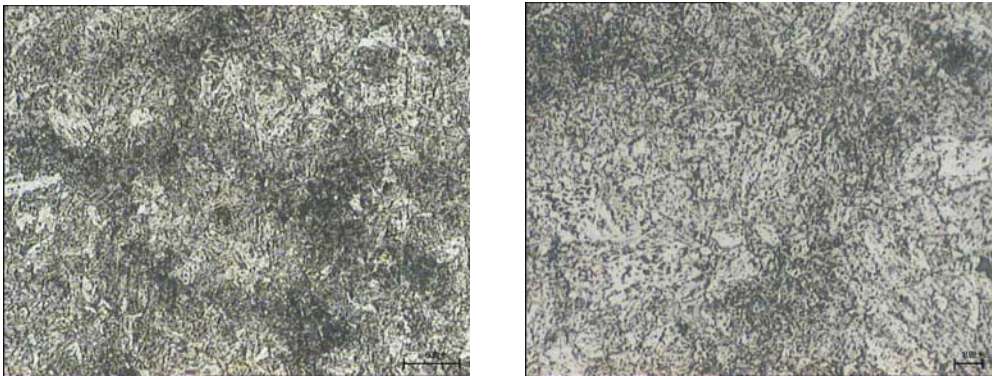


图 6 高温紧固螺栓金相组织

100 2.5.2 显微硬度

对断裂的高温螺栓进行显微硬度试验，试验面平行于纵向，试样采用 4%的硝酸酒精腐蚀，试验载荷为 200g，加载时间为 20s，试验结果列入表 2。

表 2 高温紧固螺栓显微硬度试验结果

		1	2	3	平均
HV	黑色区域	420	390	372	394
	白色区域	333	341	294	323

105 从表 2 中数据可以看出：

显微组织中出现黑色网状析出物，对基体和黑色网状析出物分别进行显微微氏硬度测试，从结果上看，黑色析出物的显微微氏硬度平均值为 394HV，高出基体的 323HV，高出 71HV。说明两者的硬度差异很大。

110 3 分析讨论

3.1 螺栓断裂过程

螺栓属于脆性断裂，宏观无塑性变形，微观断裂机制为解理断裂。断裂发生在螺纹根部，在极短时间内完成。虽然断裂属于多源起裂，沿螺纹根部一周都是起裂区，但可以观察到整个断面上的起裂有稍许的先后不同。因此可以确定螺栓受到较大的冲击载荷，且具有一定的偏心（不完全平行于轴向）或受到横向冲击作用。在偏心冲击载荷作用下，螺栓沿螺纹根部起裂并快速断裂。

115 导致螺栓较大冲击载荷的原因，可能是停机开机时提速太快，螺栓由无载荷状态突然提升到较大载荷，受到冲击；同时，停机卸载后螺栓处于松弛状态，与螺母的配合不够紧密，突然加载，螺栓与螺母的配合在整个圆周上并不完全一致，所以造成偏载。也不排出停机检修时的人为因素，即在拆卸、安装过程中受到横向的人力敲击。

120 尽管实验数据表明螺栓材质各项指标尚处于标准通则规定范围之内，但经过长时间运行，各项指标已经处于规则规定的下限，螺栓已不能完全承担开停机时的冲击。所以说的受到的较大冲击是相对的。

3.2 微观组织问题

125 25Cr2MoV 钢对热处理敏感,不同的热处理制度可以得到不同的组织,因而热强性也不同。研究表明,均匀的回火贝氏体组织具有最高的热强性和稳定性,而不均匀组织可以明显降低其热强性。

130 从金相组织分析可以看出,断裂螺栓金相组织不均匀,存在较严重的成分偏析。这对螺栓的高温性能尤其塑韧性是不利的。其形成的原因可能是热处理奥氏体化不充分,成分均匀度不够,也可能是锻造时终锻温度偏低。组织回火不充分,这也会使得钢的热稳定性降低。同时,在长期高温服役时,会出现晶界析出黑色网状碳化物、晶界粗化,基体承受载荷能力下降。这样在载荷的长期作用下,螺栓基体首先在比较薄弱的晶界上产生裂纹,然后裂纹会很快沿弱化的晶界扩展,导致沿晶断裂。在突然较大的冲击载荷下,发生完全脆性断裂,这与实际断裂情况相符合。

135 4 结论

4.1 螺栓的断裂属于典型的脆性断裂。基体组织存在严重的成分偏析,基体由于合金元素的偏聚、晶界黑色网状碳化物的析出及粗化,导致晶界及其附近组织性能弱化,承受载荷能力下降。

4.2 螺栓断裂时受到较大的冲击力作用,且有一定的横向载荷或偏心载荷作用。

140

[参考文献] (References)

- [1] 常铁军,尹树桐,姜树立. 25Cr2MoV 钢锅炉螺栓紧固件的热处理工艺[J].金属热处理, 2002, 8: 46-49.
- [2] 孙智,王温银. 25Cr2MoV 钢在高温螺栓恢复热处理工艺研究[J]. 热加工工艺, 1998, 27(4): 24-25.
- 145 [3] A.K.Ray,Y.N.Tiwari,R.K.Sinha,Chaudhuri et al. Residual life prediction of service exposed main steam pipe of boilers in a thermal power plant. Engineering Failure Analysis. 2000. 359-376.
- [4] 吴非文. 火力发电厂高温金属运行[M]. 北京: 水电出版社, 1984.
- [5] 任耀剑,张绪平,孙智. 25Cr2Mo1V 钢在高温服役中的组织和性能研究[J].徐州建筑职业技术学院学报, 2009, 06: 41-43.
- [6] 彭竹琴,杨书申. 25Cr2Mo1V 钢螺栓在长期高温高压下脆化机理的研究[J]. 郑州纺织工学院学报, 1998, 12: 63-67.
- 150 [7] 中国国家标准化管理委员会. GB/ T229 —2007 金属材料夏比摆锤冲击试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.