

20Cr13螺栓断裂原因分析

■ 徐宋娟, 洪媛媛, 马芳, 颜明礼, 马方园

摘要: 开槽圆柱头螺栓在机加工过程中发生开裂, 通过对螺栓进行宏观检查、金相组织检查、能谱分析及硬度测试等方法进行分析。结果表明: 原材料异金属夹杂导致开槽圆柱头螺栓在机加工过程中开裂, 最后提出了相应措施。

关键词: 20Cr13; 螺栓; 断裂; 异金属夹杂

20Cr13钢属于马氏体不锈钢, 淬火后经高温回火处理, 该钢具有良好的抗弱腐蚀介质能力和综合力学性能, 因而被广泛应用于航空、航天以及船舶等各领域, 其中也应用于航天紧固件产品。开槽圆柱头螺栓, 材料牌号为20Cr13, 在成检前发现5件杆部存在轴向裂纹, 此批螺栓共计366件, 现对其中1件开裂螺栓进行原因分析。该批零件由规格为 $\phi 20\text{mm}$ 的20Cr13棒材加工制造, 其生产工艺流程为: 车→铣→钳→热处理→磨→滚压螺纹→清洗→表面处理→试验→成检。

1. 试验过程与结果

(1) 宏观检查 开槽圆柱头螺栓开裂宏观形貌如图1所示, 可见螺栓表面裂纹沿轴向分布, 较平直, 裂纹从头部台阶处到螺纹端头, 总长约35.1mm, 肉眼观察, 裂纹深度较浅, 螺栓外表面未见明显机械损伤。

(2) 金相检查 由于螺栓较长, 分段截取进行镶嵌试样。截取开裂螺栓杆部纵截面、横截面进行金相检查, 宏观形貌如图2所示。根据GB/T10561试验方法, 对开裂螺栓杆部纵截面进行非金属夹杂评级, A类0.5级, B类2级, C类0级, D类0级, DS0级。经4%硝酸酒精水溶液腐蚀后, 螺栓头部发现尺寸约长4.9mm、宽0.6mm的条带区域(见图2), 沿轴向分布, 内部为晶粒清晰的等轴晶(见图3), 明显区别于基体, 且对应于开裂位置的延伸线。横向截取开裂螺栓螺纹处腐蚀后, 开裂位置未见脱碳现象(见图4), 条带区深约0.3mm。基体组织为回火索氏体组织(见图5)。

(3) 能谱分析 分别对图3中基体和条带区域进行能谱成分分析(EDS), 表1为两区域能谱成分的半定量分析数据。

可以看出, 基体主要成分为Fe (84.27%)、Cr (13.70%)、Si等元素, 主要成分符合Cr13型不锈钢要求。条带区域主要成分为Fe (97.05%)、Cr (1.29%)、Si等元素, 但Fe、Cr元素明显区别于基体成分。

(4) 硬度测试 分别对异常条带区域及基体进行显微硬度测试, 测试结果如表2所示。螺栓硬度满足设计要求(26~28.5HRC), 偏下限, 条带区域

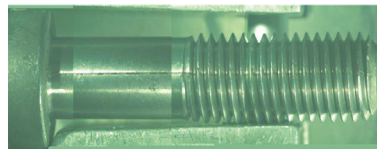


图1 开槽圆柱头螺栓开裂宏观形貌

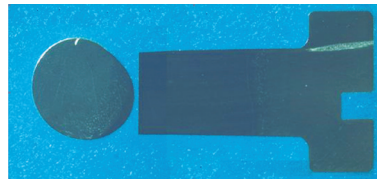


图2 开裂螺栓杆部截面宏观形貌

的硬度明显偏低。

2. 开裂原因分析

对螺栓横、纵截面金相检查表明,开裂位置存在沿轴向分布条带缺陷。对条带缺陷及正常位置进行能谱成分分析,结果表明条带缺陷区域能谱成分明显区别于基体成分。虽然能谱分析误差较大,通常适用于定性分析,不适合精确的定量分析,但已能够说明问题。从显微硬度结果表明条带区域硬度明显低于基体,从而说明两者存在明显区别。从金相组织看缺陷部位的组织与基体组织明显不同,正常基体为回火索氏体组织,而缺陷位置组织为等轴晶,且具有金属特征。条带异常区域周围未见脱碳现象,未见非金属夹杂物聚集现象,故综合分析认为条带区域是异金属夹杂。

经了解,此原材料棒材为电渣钢,在冶炼过程中合金料未完全熔化,或者不慎混入其他未熔化金属均有可能形成异金属夹杂,微观上表现为异金属部位组织与基体组织有明显的界线,且自身的硬度与基体的硬度存在明显差异。综合分析认为此缺陷应是材料电渣熔炼过程中有异金属

混入所致。由于该缺陷沿轴向分布,破坏了螺栓整体组织的完整性,降低了金属的塑性和强度,且位于零件表面,在后续机加工过程中因强度不足造成表面开裂。

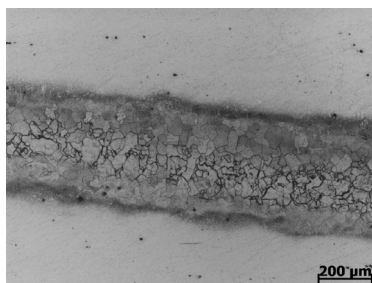


图3 开裂螺栓纵截面形貌



图4 开裂螺栓横截面形貌

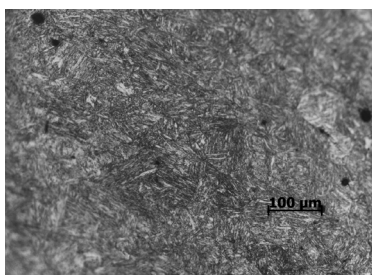


图5 螺栓正常位置组织

表1 螺栓基体及条带区域能谱成分结果 (质量分数, %)

位置	Fe	Cr	Mn	Si	C
基体	84.27	13.70	0.50	0.34	1.19
条带区域	97.05	1.29	0.47	0.10	1.09

表2 显微硬度测试结果

测试点	维氏硬度HV0.2					换算为HRC
	1点	2点	3点	4点	5点	
条带区域	95	93	95	98	85	—
基体	260	258	260	259	258	26.0

3. 结语

通过以上分析得出,原材料异金属夹杂导致开槽圆柱头螺栓在机加过程中开裂;对于本批已生产的零件:螺栓表面开裂的直接剔除,其余螺栓建议采用X射线等无损检测手段进行挑选;而对于车间剩余未加工的建议严格原材料检测,进而确定能否使用。为了尽可能降低此批原材料中的异金属夹杂,应该从冶炼抓起,建议联系厂家,提高冶炼技术,保障供应合格的原材料。

参考文献:

- [1] 朱向群, 戴起勋, 周明, 等. 2Cr13钢弹性体失效分析[J]. 金属热处理, 2008 (9): 108-111.
- [2] 刘玉荣, 业冬, 徐军, 等. 2Cr13超级马氏体不锈钢的组织[J]. 材料热处理学报, 2011, 32 (12): 66.
- [3] 张栋, 钟培道, 陶春虎, 等. 失效分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004: 141.
- [4] 宋亚东, 朱乾皓, 黄诚, 等. 1Cr13 环锻件锻造工艺优化[J]. 金属加工 (热加工), 2013, 1: 20.
- [5] 韩凤军, 王晶伏, 海永秀, 等. 0Cr17Ni4Cu4Nb零件端面黑点原因分析[J]. 钢铁研究, 2016 (4): 41-43.

作者简介: 徐宋娟、洪媛媛、马芳、颜明礼、马方园, 首都航天机械公司计量理化所国防重点实验室。

MW 20171215