

# 42CDV4 螺栓断裂原因分析

南开岭 包士梅

(哈电集团(秦皇岛)重型装备有限公司 河北 秦皇岛 066206)

**摘要:** 文章针对某核电设备用检查孔螺栓在水压试验后拆除过程中发生断裂的问题,从螺栓制造过程、断口宏观形貌、扫描电镜分析和硬度检测等方面进行了原因分析,排除了螺栓材料自身存在的质量缺陷,确定螺栓拉伸器实际载荷过大是造成检查孔螺栓断裂的主要原因。

**关键词:** 42CDV4; 检查孔螺栓; 断裂; 过载; 原因分析

## 0 引言

42CDV4 属于铬—钼—钒低合金高强度钢,主要用于压水堆核电设备的人孔螺栓、手孔螺栓和检查孔螺栓等紧固件,要求在 350℃ 工作环境下仍具有良好的热强性,同时兼具较好的塑性和冷加工性,对钢材的质量要求非常高。

某核电设备二次侧水压试验后,采用螺栓拉伸器拆除检查孔螺栓时,导致 1 件 42CDV4 检查孔螺栓在 M22×2.5 螺纹处发生断裂,与之同组卸载的其余 3 件检查孔螺栓也发生了不同程度的塑性变形。通过对原材料制造过程进行核查,并采用扫描电镜、金相显微镜、布氏硬度计和直读光谱仪等设备,对断裂螺栓的断口形貌、化学成分、硬度和金相组织等进行观察和检测,对检查孔螺栓的断裂失效展开分析和讨论,确定螺栓断裂的原因。

## 1 原材料制造过程

检查孔螺栓最大螺纹尺寸为 M27×3,螺纹制造方式为机加工。发生断裂和变形的 4 件检查孔螺栓由同

批次锻棒加工而成,该批次棒材共锻造 42 根,每根棒材可加工 3 根螺栓。棒材经过热处理后,对其逐根进行了布氏硬度检测(要求 248~352HBW),并选取其中硬度最高的 1 根棒材和硬度最低的 1 根棒材,分别取样进行成品分析、室温拉伸试验、350℃ 拉伸试验、0℃ 冲击试验和布氏硬度试验,各项试验结果均一次合格。

性能试验合格后,供方将剩余 40 根棒材半精加工后进行超声检测,结果均合格,且不存在记录性缺陷。精加工后,对螺栓进行液体渗透检测和目视检查,结果均合格,且不存在记录性缺陷。

为确保螺栓入厂复验合格,供方在该批螺栓中随机抽取 1 根螺栓进行了实物拉力试验,其抗拉强度为 960MPa,断于螺栓光杆处,满足技术要求规定的 865~1065MPa。供方用于实物拉力试验的螺栓与断裂螺栓源自同一根热处理棒材。

## 2 断口分析

### 2.1 断口宏观形貌

检查孔螺栓的断裂位置位于 M22×2.5 螺纹处,断

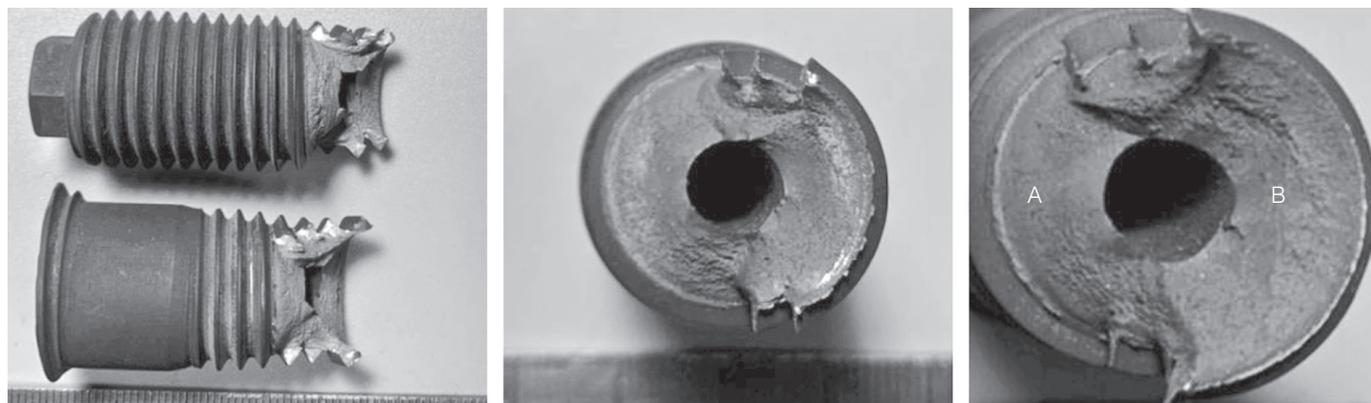


图 1 断裂位置及断口外观

裂位置及断口宏观形貌如图1所示,整体为45°斜断口,断口及周围局部存在明显的塑性变形特征,为剪切型断口。

### 2.2 断口扫描电镜分析

将断口划分为图1所示的A、B两个区域进行扫描电镜观察,微观形貌均为剪切韧窝形貌特征(图2和图3)。

## 3 理化试验

### 3.1 化学成分分析

为进一步确定原材料材质是否存在问题,对断裂螺栓取样进行了化学成分分析,结果符合42CDV4材料的元素含量规定,详见表。

表 化学成分分析结果(质量分数/Wt%)

元素	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	V
要求值	0.36~0.44	0.20~0.35	0.45~0.70	≤0.015	≤0.025	0.80~1.15	0.50~0.65	0.25~0.35
实测值	0.40	0.27	0.54	0.002	0.006	0.97	0.56	0.28

### 3.2 硬度检测

对断裂螺栓未变形部位取样进行布氏硬度试验,试验参数为HBW5/750,保载10s,测试位置为试样横截面1/2R内,测试结果为280HBW、286HBW、284HBW,平均值约为283.3HBW,符合技术要求248~352HBW的规定。

供方在性能热处理后对棒材逐根进行布氏硬度试验时,断裂螺栓所在棒材的硬度检测结果为295HBW、295HBW、295HBW,平均值为295HBW。因试验位置不同,试验结果略有差异,但与本次试验结果基本相当。

### 3.3 金相检验

在断口附近位置截取试样进行金相检验,通过抛光态微观形貌观察,未见夹杂、疏松等冶金缺陷。经4%硝酸酒精浸蚀后的微观形貌观察,断口附近外表面未见增碳、脱碳现象(图4)。

在断口附近位置截取试样进行金相检验,通过抛光态微观形貌观察,未见夹杂、疏松等冶金缺陷。经4%硝酸酒精浸蚀后的微观形貌观察,断口附近外表面未见增碳、脱碳现象(图4)。

在未变形位置截取螺纹纵截面试样,经4%硝酸酒精浸

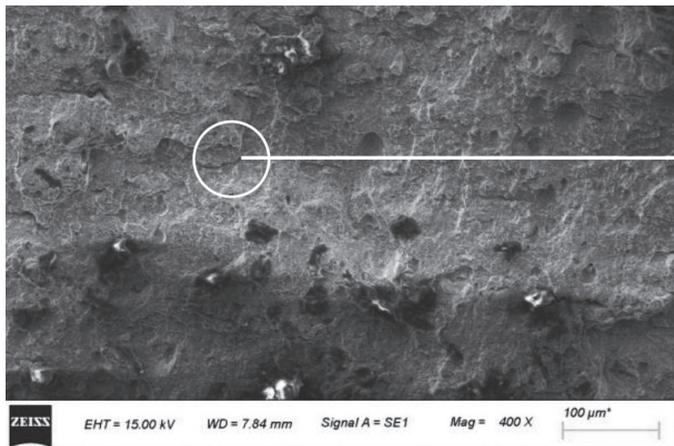


图2 A区断口微观形貌

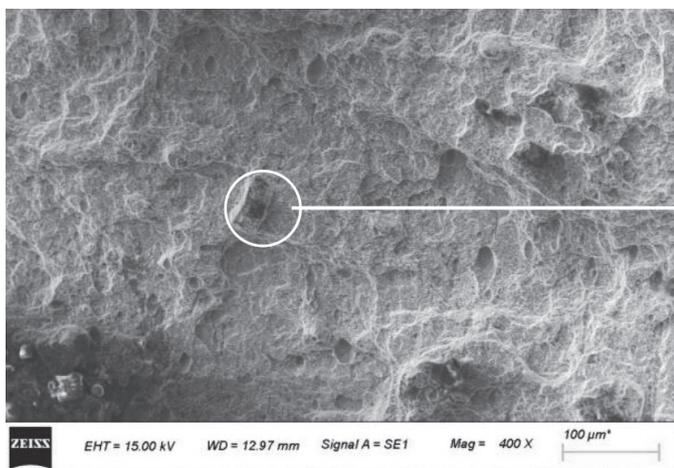
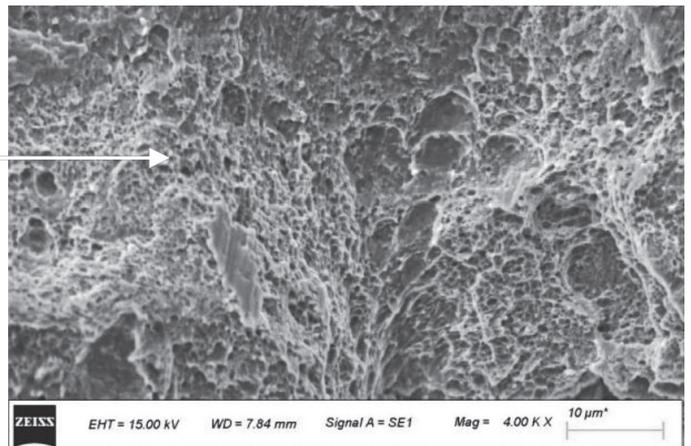
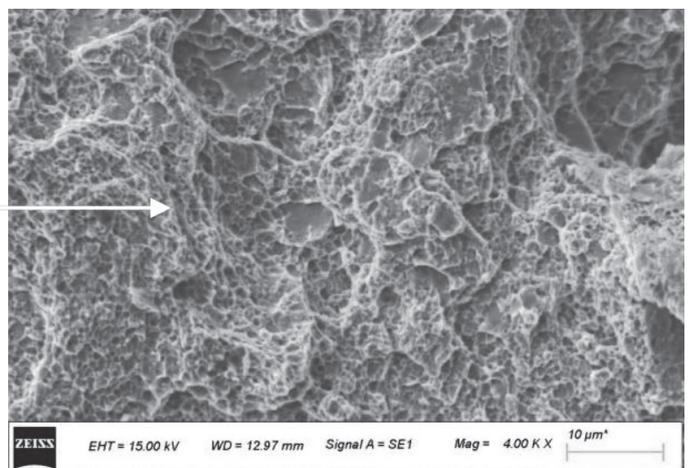


图3 B区断口微观形貌



蚀后的宏观形貌，螺纹完整，未见折叠缺陷（图5）。

螺纹牙侧、牙底抛光面经4%硝酸酒精浸蚀后的微观形貌，也未见脱碳、增碳现象。通过对螺栓基体进行显微组织观察，经4%硝酸酒精浸蚀后为回火索氏体（图6）。

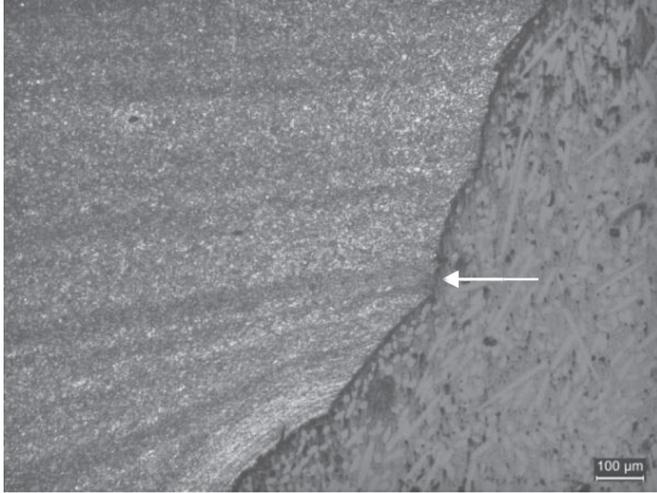


图4 断口附近截面微观形貌

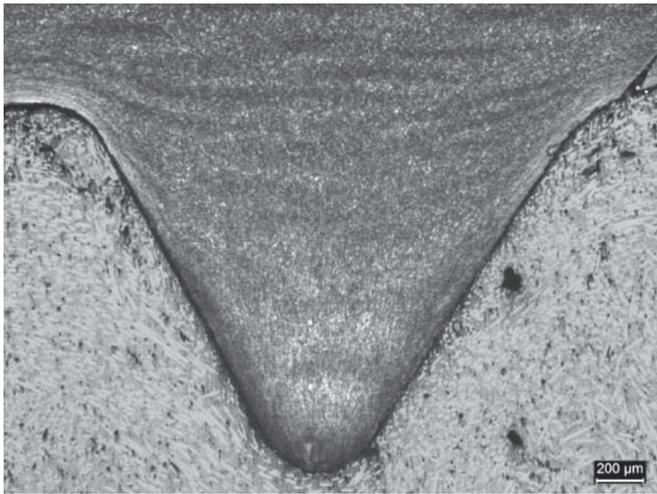


图5 断口附近螺纹宏观形貌

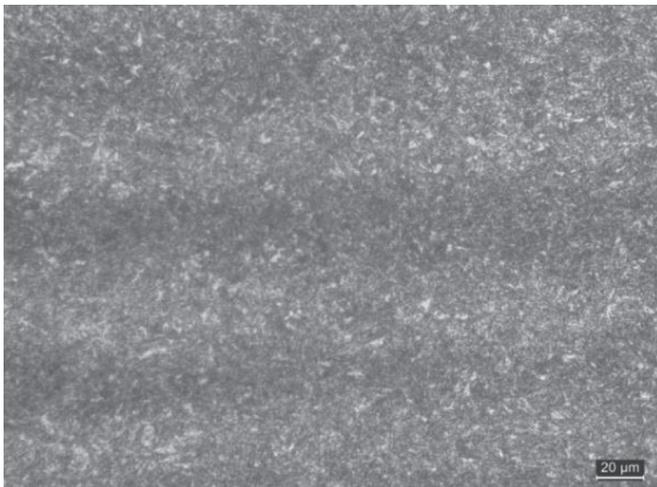


图6 基体显微组织

#### 4 分析与讨论

结合检查孔螺栓的制造工艺，并对其完工文件进行复核，原材料制造、试验和检验过程和结果均符合技术要求，未发现螺栓自身存在质量缺陷。

断口宏观检查结果表明，断口及周围局部存在塑性变形特征，整体为斜断口，为剪切型断口。断口微观检查结果表明，断口各区域均为剪切韧窝形貌。因此可以判断，断裂螺栓表现为低韧性（延性）剪切断裂，其本质上属过载断裂。

断裂螺栓的化学成分和布氏硬度均符合技术要求，断口附近金相检查未见夹杂、疏松等冶金缺陷，螺栓表面未见增碳及脱碳现象，基体显微组织为正常的回火索氏体。因此可以判断，螺栓断裂不是因原材料自身质量缺陷而引起的。

低韧性（延性）剪切断裂主要由变形局部化引起，通常与应变速率有关，局部应变速率越大越容易形成剪切带。螺栓发生变形主要与螺栓自身强度不足或外加载荷较大有关，对于前者，经对失效件各项指标检查结果显示，均为合格，因此可排除自身强度不足的原因。外加载荷较大成为主要原因之一，且同组其余3根螺栓均发生了不同程度的塑性变形，也间接地说明螺栓拉伸器的实际施加载荷可能已超过了螺栓的屈服点。

#### 5 结语

试验结果表明，断裂螺栓的制造过程、试验和检验结果均符合技术要求，不存在自身质量缺陷。螺栓的断裂性质为过载断裂，与螺栓拉伸器实际施加的载荷过大有关。在后续工作中，应从人员操作、设备维护和应急处置等方面加强管理，避免因设备过载而造成类似问题的再次出现。

#### 参考文献：

- [1] 石祝竹，莫煜．扫描电镜（SEM）在失效分析中的应用[J]．装备制造技术，2011(11):142-144.
- [2] 王莉静．六角螺栓断裂的失效分析[J]．材料保护，2019,52(07):169-172.
- [3] 徐永波，白以龙．动态载荷下剪切变形局部化、微观结构演化与剪切断裂研究进展[J]．力学进展，2007,37(04):496-516.

作者简介：南开岭（1985.10-），男，汉族，河北秦皇岛人，硕士研究生，工程师，研究方向：核电设备原材料。