

高强度螺钉在低速柴油机上氢脆失效带来的影响

黄世忠, 王越峰

(昆山江锦机械有限公司, 江苏 昆山 215331)

摘要: 针对某 12.9 级镀锌高强度内六角圆柱螺钉在柴油机运行过程中断裂问题, 对该螺钉进行了材料化学分析、力学性能分析、楔负载试验、断口失效分析等。分析表明: 螺钉断裂系氢脆导致。采取了去氢处理和加强热处理参数控制的措施后, 该问题得到较好控制。指出: 企业应重视零件表面处理, 加强特殊过程的控制和管理。

关键词: 螺钉; 表面处理; 氢脆; 低速柴油机

中图分类号: **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2013)04-0035-03

The Influence of Hydrogen Embrittlement Failure of High Strength Screw on Low-speed Diesel Engine

Huang Shizhong, Wang Yuefeng

(Kunshan Jiangjin Machinery Co., Ltd., Jiangsu Kunshan 215331)

Abstract: To solve the problem of fracture on a 12.9 galvanized high strength hexagon socket head cap screws, analysis was carried out, including material chemical analysis, mechanical performance analysis, wedge load test, and fracture failure analysis, etc. The analysis show that the screw fracture was caused by hydrogen embrittlement. Measures such as de-hydrogen process and enhancing the control of heat treatment parameters were employed, and good effect was obtained. It is pointed out that the enterprise should lay great emphasis on surface treatment, and improve the control and management of special process.

Keywords: screw; surface treatment; hydrogen embrittlement; low speed diesel engine

0 引言

国内许多企业尤其是机械加工企业往往非常重视零件几何尺寸和形位公差的要求, 却常常忽略了零件表面处理不当带来的潜在影响。

某公司是一家专门为低速柴油机厂专业配套的加工装配企业, 在生产的 Wärtsilä 5RT-Flex58TD 电控智能柴油机中就使用了 12.9 级镀锌高强度内六角圆柱螺钉, 产品在动车运行 3 min 后就发生断裂问题。

1 螺钉断裂的背景

该螺钉用于 Wärtsilä 5RT-Flex58TD 电控智能柴

油机某关键部套, 每缸对称安装 8 颗螺钉, 安装技术要求 $70(N \cdot m)$ 。运行条件: 螺钉及其组件在上下运行过程中连续性承受油压和空气压力交替变化的冲击力。该机在某机厂动车 3 min 后发现排气阀工作异常, 拆解 3 号和 5 号缸发现各有一颗螺钉断裂, 同时拆解一套备件也产生类似问题。

2 螺钉断裂原因

该内六角圆柱螺钉规格为: M10×130(Zn), 12.9 级镀锌, 材料 40CrNiMoA。螺钉由该公司的次级供应商供货, 跟踪追查:

(1) 查阅本批次螺钉的入库报验单、供应商提供的质量证明书和供应商委托某产品质量监督检验研究

院的检测报告显示：材料、化学成分、螺纹、硬度、抗拉强度和冲击功等均符合要求，同时解剖二颗螺钉进行硬度检测，硬度为 HRC40，符合要求。

(2) 抽取本批次螺钉送样，依据 GB/T20123-2006、GB/T4336-2002 进行化学分析，结果为：C - 0.41%，Si - 0.29%，Mn - 0.66%，P - 0.015%，S - 0.019%，Cr - 0.81%，Mo - 0.19%，Ni - 1.33%。符合要求。

(3) 抽取本批次螺钉送样，依据 GB/T3098.1-2000 进行力学性能分析，结果为：下屈服强度 1 260 MPa，抗拉强度 1 330 MPa，断后伸长率 11%。符合要求。

(4) 抽取本批次螺钉送样，依据 GB/T3098.1-2000 进行楔负载试验，技术要求为楔垫 6°、最小载货 70.8 kN 断裂应在螺纹处，检测结果为：76.3 kN，断裂在螺纹处。符合要求。

(5) 对断件进行断口失效分析试验，送样外观见图 1、图 2。

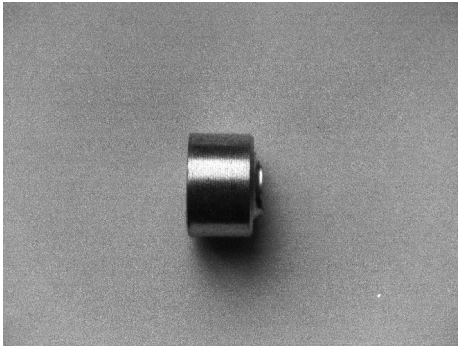


图 1 外观形貌 1

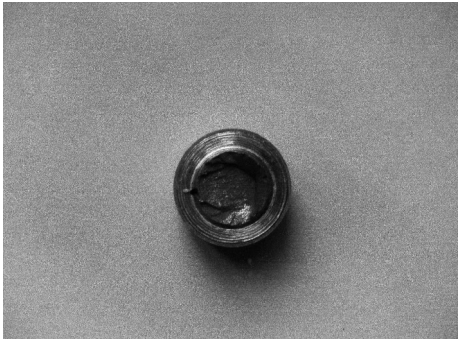


图 2 外观形貌 2

首先对断件进行硬度测试，其结果表面硬度为 421HV0.3，芯部硬度为 414HV0.3，符合 GB/T3098.1-2000 标准对 12.9 级螺钉表面硬度和芯部硬度的要求。

显微金相组织观察：金相组织为回火索氏体，组织正常，见图 3。

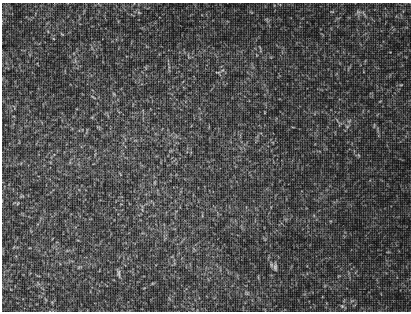


图 3 金相组织 500×

断口微观分析：使用扫描电镜观察失效件断口，图 4 为断口边缘裂纹源区域的微观相貌，显示该区域呈沿晶断裂的微观特征，图 5 为图 4 的放大，显示断口表面存在腐蚀产物和少量韧窝。

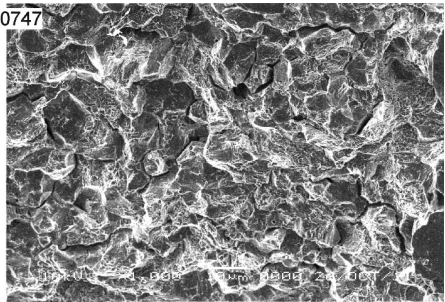


图 4 扫描电镜 1 000×

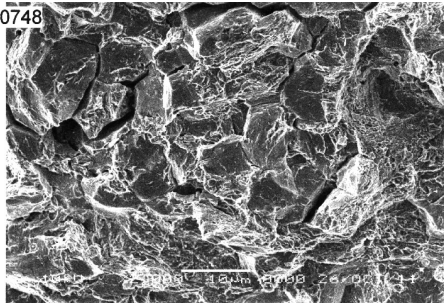


图 5 扫描电镜 2 000×

图 6 为裂纹源区域与断口中心 1/2 位置，显示断口表面锈蚀较为严重，但照片中部的晶粒表面显示有许多撕裂棱；图 7 为图六的放大，晶粒表面的多条撕裂棱非常清晰，可确定为氢脆断口。

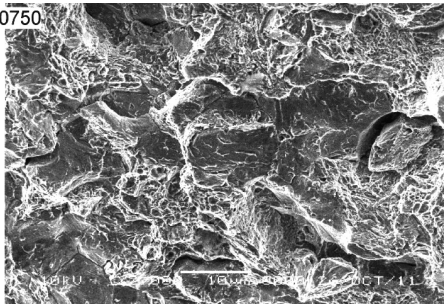


图 6 扫描电镜 2 000×

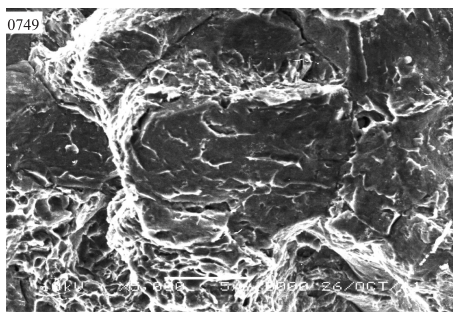


图7 扫描电镜 5 000×

所谓氢脆，是指氢原子侵入基体材料中而引起的材料延迟失效断裂。它的发生需要满足两个条件：一是金属有较高的含氢量；二是有一定的外力作用。氢脆大体上可分为以下两类：第一类主要是由外部环境侵入的氢（外氢）引起的延迟断裂。如车辆车厢、驾驶室外壳等处连接使用的螺栓、螺母，在潮湿空气、雨水等环境中长期暴露而发生；第二类酸洗、电镀处理的制造过程中侵入钢中的氢（内氢）引起的延迟断裂。如镀锌螺栓等在加载后，经过几小时或几天的较短时间后而发生。氢脆破断机理目前分别有氢气压力假说、位错假说、氢吸附假说和晶格脆化假说。氢原子具有最小的原子半径（ $R_H=0.53\text{\AA}$ ），所以易于进入金属内部。当在一定的应力（包括外加的、残余的以及原子之间的相互作用力）作用下，在局部的应力集中处产生滑移和塑性变形，进而产生微裂纹核。在已有裂纹前沿的三向应力区域内，由于位错的塞积而产生微裂纹核，这些微裂纹核如果没有氢的进一步作用，当裂纹继续向内深入扩展所需的活化能超过这种深入扩展所能引起的应变能时，这种裂纹一般是不会扩展的。但当钢中溶有一定氢的情况下，氢原子继续在微裂纹中扩散、聚集，由两个氢原子变成一个氢分子， $H+e\rightarrow H$ 、 $2H\rightarrow H_2\uparrow$ ，同时体积增大，即一个氢分子的体积比两个氢原子的和大。此时在氢聚集的部位会产生巨大的体积膨胀效应，导致许多微裂纹相互合并，并与原有裂纹连接，微裂纹继续向前扩展，这样不断循环，直到剩余的有效截面小到不能支持外载荷时，即发生瞬时断裂失效。裂纹扩展的方向决定于内应力或外加应力的方向，但使钢件氢脆失效所需的力则主要来自氢。由于氢在金属中扩散需要一定时间，裂纹扩展也有一定的速率，因此氢脆破断存在着潜伏期。应力愈大微裂纹的生核率愈大，裂纹的扩展速率也愈大，则氢脆破断的潜伏期也愈短。当应力小于氢脆破断的下限应力

时，不能造成必要的应力集中，并推动位错的运动和造成大量的位错塞积，因而也不能产生微小的裂纹核，即使能生成个别的裂纹核也不能相互合并或连接；当金属的屈服强度极限很高时，裂纹尖端的应力集中系数就大，微裂纹的生核率就高，裂纹扩展速度就快，就容易产生氢脆。影响氢脆现象的因素有多种，如：基体材料的机械和物理性能、扩散比、温度、氢的聚集、零件表面状况、应力水平、应力状态、活动裂纹前端的动力学特性等。螺纹紧固件，尤其是高强度紧固件经材料选购→断料→热锻成型→机加工→打标识→调质热处理→滚搓螺纹→表面处理，在进行表面处理时，极易受氢脆的破坏。表面处理工序中的酸洗、电镀是产生氢脆的关键因素之一。

根据以上一系列试验结果和氢脆机理分析，以及对供应商的实地调查的情况进一步证实：螺钉断裂是氢脆导致。12.9 级镀锌高强度 M10×130 内六角圆柱螺钉热处理工艺过程控制表中的淬火时间与高强度螺钉工艺卡片中规定的淬火时间不符；热处理设备热电偶未实施检定，不能提供热处理运行记录；该供应商根本没有去氢处理设施，镀锌后只是用电吹风吹干而已。

3 采取的对策

根据以上的试验数据及其分析，可以得出结论：针对供应商对高强度螺钉镀锌的后续处理不当带来的氢脆影响认识不足。有必要加强对供应商特殊过程的管理和控制，减少质量损失的发生。针对此批螺钉断裂事件该公司采取了以下措施：

（1）停止使用该批次螺钉，彻底查清该批次螺钉的进货、库存、装机情况，并对已装机的螺钉全部予以更换。

（2）增加去氢工序，采用电热恒温干燥箱，去氢温度 230℃，时间大于 8 h。

通过高强度螺钉镀锌后去氢处理和加强热处理参数控制，一年多来，没有类似螺钉断裂的情况发生，得到了较好的控制。

4 结束语

由此看来，机械加工及装配企业不能仅仅重视几何尺寸加工和形位公差的保证，还需进一步重视零件表面处理不当可能带来的潜在影响，更应加强特殊过程的控制，以免给企业带来不必要的损失。