

文章编号:1673-9981(2016)04-278-05

电镀高强度螺丝断裂分析

郭垚峰,周海生,王永明,李 珍

富士康科技集团鸿富锦精密电子(郑州)有限公司,河南 郑州 450000

摘 要:电子产品内一批次电镀紧固螺丝额定扭力装配后,放置一段时间发生断裂.通过外观和金相观察、断口和成分分析及硬度测试等,对螺丝断裂原因进行了研究,并提出了解决方案.结果表明:该批次螺丝断口为氢脆特征,基体硬度较高;在采用了双层电镀后没有后续去氢处理,是螺丝氢脆断裂的主要原因.

关键词:螺丝;断裂;氢脆;电镀

中图分类号:TG178

文献标识码:A

螺丝作为最常见的可拆卸紧固件,被称之为工业之米.小到手机、手表,大到飞机、桥梁,螺丝在日常生活及生产中起着必不可少的作用.先进的螺丝是机械制造之本,远远超出其表面产值,有着四两拨千斤的效果.正因如此,螺丝的失效破坏也会带来系统层面的巨大附加损失.

某厂采购一批次电镀高强度螺丝,用于电子产品装配.螺丝要求可承受的扭力 $\geq 1.2 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$,在以不大于 $0.5 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ 额定扭力上紧螺丝,在周围涂液态胶固化,室温下放置数天后发现相当数量的螺丝发生断裂,结果造成该批次电子产品报废.螺丝生产工艺:来料热处理→螺纹加工→螺丝热处理(淬火+中温回火)→表面电镀(镀铜+镀镍)→检测→出厂.为找到螺丝断裂原因并规避后期风险,对该批次失效螺丝进行一系列理化检测.

1 试验部分

选取断口新鲜且完整的失效螺丝一根,使用 VHX-600E 型 3D 光学显微镜观察其宏观断口形貌进行初步判断.用 HITACHI-SU1510 型扫描电子显微镜,对螺丝断口进行微观分析,并结合

HORIBA-EX250 型能谱分析仪,对断口位置的成分进行分析.利用 ZEISS-Imager. A2m 型金相显微镜,对螺丝靠近断口位置基材的组织及螺丝镀层的结构进行观察.用日本 MITUTOYO 维氏硬度计,对螺丝基材进行显微硬度测试.设计液体石蜡浸渍实验,定性判断螺丝是否含有超标氢.

2 测试与分析

取失效螺丝于光学显微镜下观察,如图 1 所示.从图 1 可见:螺丝断口呈现很多小亮面,表现出脆断特征^[1];断裂螺丝周围蓝色区域为已固化的固定胶,断口区域未发现残留胶,说明裂纹出现于涂胶工段后,符合实际中延迟断裂之特征.

2.1 断口分析

2.1.1 形貌及金相

图 2 为失效螺丝的 SEM 断口形貌.从图 2 可见,失效螺丝断口整体为沿晶断裂,呈冰糖状,晶界棱线清楚,晶面光滑.同时,螺丝断口可观察到较多二次裂纹、微孔与发纹,呈现出氢脆断口特征^[1].整个断口面无明显夹杂、氧化等异常.

收稿日期:2016-08-27

作者简介:郭垚峰(1987-),男,河南新乡人,硕士.

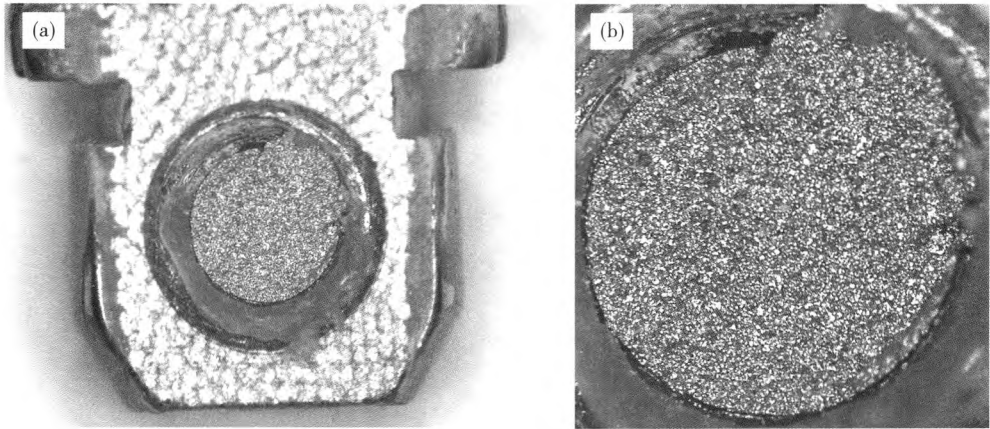


图 1 失效螺丝外观
(a)100×;(b)300×
Fig.1 The photo of the failed screw

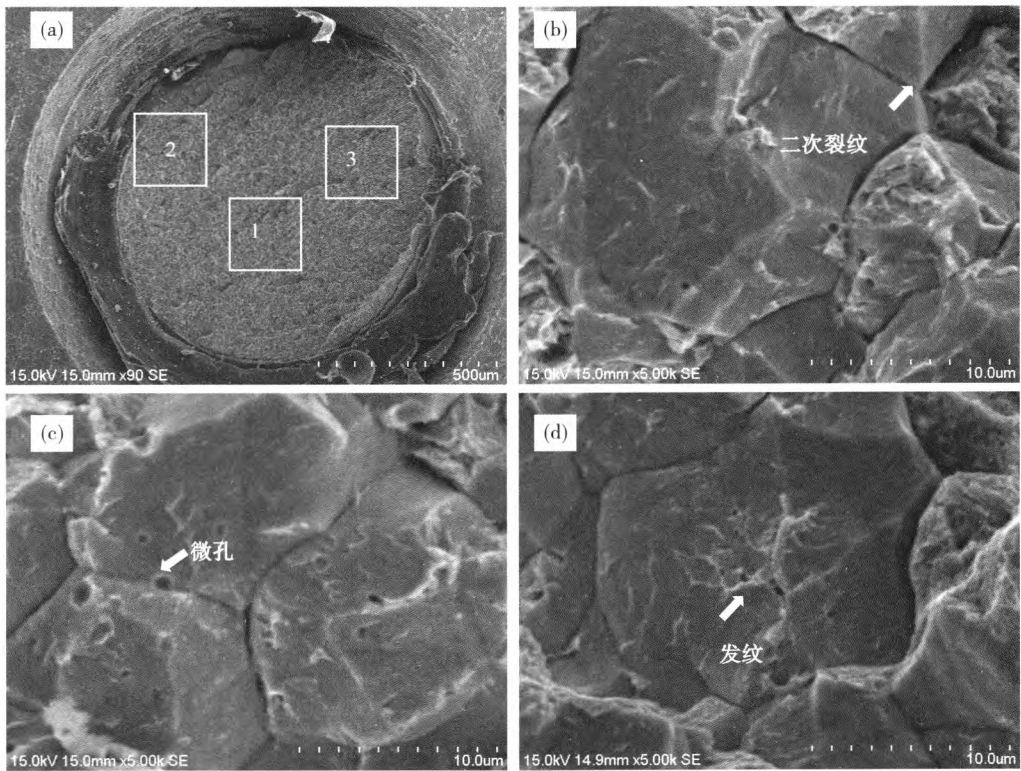


图 2 失效螺丝断口微观特征
(a)整体;(b)1 区域;(c)2 区域;(d)3 区域
Fig.2 Fracture micrograph of the failed screw
(a)entire;(b) area 1;(c) area 2;(d) area 3

图 3 为失效螺丝截面金相图. 从图 3 可见, 螺丝断口位置与基材组织均为马氏体位向分布的回火托氏体. 该组织综合性能优异, 且与螺丝供应商标称之

热处理工艺(淬火+中温回火)对应, 无明显异常. 但需要注意的是, 此金相属于对氢脆较敏感的类型^[2].

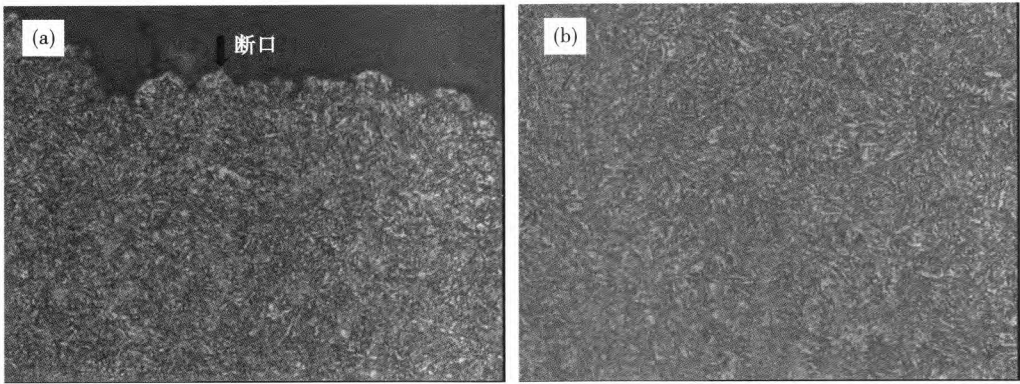


图3 失效螺丝截面金相
(a)断口位置；(b)芯部组织
Fig.3 Microstructure of the failed screw in cross section
(a)fracture location;(b) core structure

2.1.2 成分分析

表1为螺丝断口位置的能谱(EDS)成分分析结果.由于螺丝尺寸较小且表面存在镀层,不适合采用直读光谱(Spark)、原子发射光谱(ICP)等手段进行成分分析,故对断口1~3区域采用EDS法进行成分分析.由表1可知,螺丝基材为普通碳钢,成分无明显异常.

表1 EDS成分测试结果				
断口位置	C	Mn	Fe	合计
1	1.48	0.86	97.66	100.00
2	2.42	0.83	96.75	100.00
3	0.84	0.42	98.74	100.00

2.2 镀层分析

为保证螺丝导电及耐蚀性等要求,先后对螺丝表面进行了镀铜-镀镍处理.客户管控规格为铜层+镍层总厚度平均值不小于2 μm.实际测试中发现,螺丝螺牙部分镀层较薄,根部较厚.在断裂螺丝截面选取五点得平均镀层厚度为4.1 μm,符合设计需求.图4为螺丝之截面切片形貌.从图4可见,断裂螺丝螺牙及螺牙根部等位置镀层连续且平整,对应的螺丝基材亦无明显缺陷或不良.

2.3 硬度测试

依据日标 JIS Z 2244-2009 对失效螺丝进行维氏硬度分析,结果列于表2.由表2可知,螺牙与螺

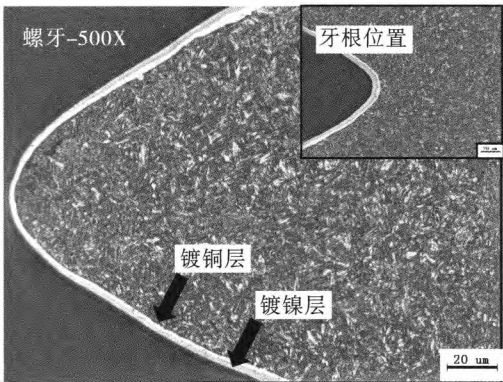


图4 螺丝镀层分析
Fig.4 The coating analysis of the screw

丝位置的硬度无明显差异,硬度值均在回火托氏体硬度范围内,并且符合客户的要求.

表2 螺丝硬度测试结果	
样品位置	HV0.3
螺牙	405
芯部	403

2.4 去氢检测

在160~190℃温度下,加热液体石蜡5 min,以便去除石蜡中残存的水分.将该批次失效螺丝清洗及干燥后,完全浸没于石蜡中,大约10 s后螺丝表面出现少量的气泡.这说明,螺丝中存在一定量的氢^[3],亦证明了螺丝氢脆断裂之判断.

对失效螺丝的金相、硬度、镀层及成分分析均未发现异常,装配操作恰当并保留了足够的安全系数。螺丝断口呈现冰糖状沿晶断裂,断口无夹杂等缺陷,为氢脆之典型特征。

实际考察失效螺丝生产工艺,发现其经两道电镀处理后却未进行去氢处理,结合到失效螺丝延迟断裂的特征^[4],可以认定其失效原因为电镀导致的氢脆。由 GB/T 3098.17-2000 紧固件机械性能标准中检测氢脆用预载荷试验—平行支承面法(等效于 ISO 15330:1999)推荐的检查螺丝室温条件发生氢脆的试验方法可知,预载荷试验的灵敏度取决于试验的开始时间,通常这种试验应尽快进行,即最好在制造过程结束后的 24 h 内进行。鉴于本批次螺丝出厂时间较长,且相当数量螺丝已发生断裂,进行预载实验已失去意义,故并未进行该项检测。

材料强度越大,其氢脆敏感性也越大^[5]。由于钢材强度与硬度有很好的对应关系,因此实践中通常会用材料的硬度来判断材料氢脆敏感性。根据 GB/T 5267.1-2002 紧固件电镀层的要求,紧固件的表面硬度大于 320HV 时,推荐采取合理的工艺设计并进行氢脆测试;当硬度超过 365HV 时,推荐供需双方明确协议,进一步减少氢脆发生风险。本文中所测试高强螺丝基材硬度达 400HV,属于需要特别去氢的类别。供应商并未进行相关操作,进而导致了该批次产品的报废。

3 解决措施

氢脆是材料常见缺陷之一,导致氢脆通常需要两个必要条件^[6],一是必须有氢的发生源,二是对象金属需对氢敏感。本例中的电镀工艺是失效螺丝氢的主要来源,理论上由于水分子的离解,在电镀过程中电镀溶液或多或少伴有析氢的副反应发生^[7]。相关研究表明,氢在金属内可能以间隙原子(后期会聚集为氢气^[8])、氢化物、甲烷气体^[9]等形式存在,它们的共同特点是均会引起金属晶界结合力降低^[10]及材料内应力增大^[11]。由于氢脆与氢原子的扩散有关,而扩散需要时间,故氢脆通常表现为延迟断裂^[12]。本例中回火托氏体钢属于常见易吸氢材质,理论上活性排在氢之前的金属都可能发生氢脆,酸性环境电镀的材质更应特别注意。

实践中通常可以通过以下途径避免和消除氢脆^[5]。(1)原料控制:紧固件材料表面缺陷,如微裂

纹、蚀坑、超标脱碳层等,都可能产生局部应力集中,给后期电镀埋下隐患。(2)电镀前处理:在除氧化皮时建议尽量采用吹砂等工艺除锈,必须采用酸洗时需加缓蚀剂,每次酸洗时间应严格控制。(3)电镀工艺控制:在电镀时选用碱性镀液或高电流效率的镀液,其渗氢量较少^[13]。(4)去氢工艺:氢原子半径小,在钢铁材料中扩散速度快^[5],对可能出现氢脆的电镀件,可在真空或惰性气氛中 200~240℃下加热 2~4 h 去氢,具体的处理温度和时间应根据零件大小、强度、镀层性质及电镀时间的长短而定,去氢加热在电镀后 1 h(最慢 3 h)内进行效果最佳,因为随着时间的延长氢会逐渐向零件芯部扩散,去氢加热注意不要影响材料基体力学性能且顾及镀层的强度,尤其不能在某些钢材的回火脆性区加热。

4 结 论

通过对失效的高强电镀螺丝断裂原因分析发现,螺丝沿晶、延迟断裂,是氢脆的典型特征,而材料氢脆属于紧固件严重的质量问题。螺丝供应商电镀后没有进行去氢操作,是造成螺丝失效的主要原因,可通过原料控制、电镀前处理、电镀工艺控制及去氢工艺等途径避免和消除氢脆。

参考文献:

- [1] 赵峰.金属材料检测技术[M].长沙:中南大学出版社,2010:73.
- [2] 王荣.10.9级高强度螺栓断裂分析[J].理化检验-物理分册,2010,46:263-273.
- [3] 李秀兰.小型零件的去氢检验方法与再去氢热处理[J].金属热处理,1999(2):43-44.
- [4] 谭莹,周崎,曹标,等.螺栓断裂原因分析[J].金属热处理,2007,32(增):328-331.
- [5] 赵步青,胡会峰.谈谈钢铁氢脆[J].常规热处理,2015,13:33-35.
- [6] 唐文忠.35CrMo钢螺栓断裂原因分析[J].金属制品,2015,41(4):62-64.
- [7] 王挺,李振华.镀锌螺钉断裂分析[J].理化检验:物理分册,2015,51:668-670.
- [8] 庞勃.浅谈影响几种常见钢氢脆的因素[J].科技风,2014(11):48.
- [9] 姜锡山,赵晗.钢铁显微断口速查手册[M].北京:机械工业出版社,2010:174.

- [10] DJUKIC M B, SIJACKI ZERAVCIC V, BAKIC G, et al. Hydrogen embrittlement of low carbon structural steel [J]. *Procedia Materials Science*, 2014 (3): 1167-1172.
- [11] 罗建东. 自攻螺钉断裂与表面处理[J]. *电镀与环保*, 2005, 25(1): 37-38.
- [12] JAROSLAV S, PETRA V, V VODÁREK, et al. Diffusion of hydrogen in the TRIP 800 steel [J]. *Procedia Materials Science*, 2016(12): 66-71.
- [13] 张昕, 孔德新, 刘宪伟. 对电镀中氢脆现象的研究与探讨[J]. *价值工程*, 2015, 25: 90-91.

Fracture analysis of electroplate high strength screw

GUO Yaofeng, ZHOU Haisheng, WANG Yongming, LI Zhen

Hong Fujin Precision Electronics (Zhengzhou) Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China

Abstract: A batch of electroplate screws for electronic products fractured during a period of time after assemblage in the rating force. Through visual inspection, fracture analysis, chemical composition analysis, metallographic microstructure and hardness test, the crack reason of the screw and the solution will be produced. The results shows that the screws with a higher hardness, and have the feature of hydrogen induced delayed fracture, which means the hydrogen had been not eliminated after twice electroplates.

Key words: screw; fracture; hydrogen embrittlement; electroplate