

从失效分析案例看材料研究的重要性

李晋, 鄢国强, 巴发海

(上海材料研究所, 上海 200437)

摘要:通过对 498 个失效分析案例, 分别从失效材料种类、失效构件类别和失效原因进行统计分析研究, 提出一些值得思考的问题, 说明材料研究的重要性。

关键词:失效分析案例; 统计分析; 展望

中图分类号: TB3 文献标识码: A 文章编号: 1001-4012(2005)增刊

材料科学的发展促进了机电产品的升级换代, 促进了技术的不断进步; 而产品的失效分析又反馈于材料的研究与加工, 推动了材料科学与工程的发展。无论是在锅炉、储罐、船舶、机车、冶金矿山设备、蒸汽轮机、燃气轮机、核电设备还是在飞机导弹、火箭、计算机技术、通信技术的发展过程中, 失效分析都起着十分重要的推动作用, 并愈来愈为人们所重视。

上海失效分析与安全评估中心是上海市政府授权成立的专业科研检测机构, 依托上海材料研究所的综合技术优势, 几十年来进行了大量的机电装备失效分析工作, 很多工作在前几次的失效会议中有过介绍, 笔者就 2002~2004 年所做的一些工作, 分别从失效材料种类、失效构件类别和失效原因进行统计分析研究, 提出一些值得思考的问题, 说明材料研究的重要性。“前车之覆, 后车之鉴”。认真吸取有用的教训, 实施全面质量管理, 采取预测预防措施, 切实加强材料研究和工艺创新, 促进我国机电装备质量的提高。

1 失效案例统计分析

1.1 按失效材料种类进行统计分析

从 2002~2004 年, 我测试中心承担的失效分析案例约 498 件, 失效材料几乎涉及所有的钢种(见表 1)。表 1 的统计数据反映出近年来材料的选择、处理以及使用等诸多方面存在的问题。

表 1 表明, 从失效案例来看, 材料种类上仍然是碳素钢和低合金钢为主。这两种钢也是制造业用量最大、价格较低的钢种。所占比例如此之高(约 35.4%), 显然也曝露出我们制造和使用环节的诸多

表 1 按失效材料种类进行统计

钢材种类	失效案例数	所占比例(%)
碳素钢	97	19.5
低合金钢	79	15.9
工、模具钢	23	4.6
弹簧钢	24	4.8
轴承钢	16	3.2
不锈钢	47	9.4
耐热钢	11	2.2
高强度钢	48	9.6
铸铁	13	2.6
铸钢	4	0.8
特殊材料	8	1.6
易切削钢	2	0.4

技术问题。用量多、问题多, 显然与我们的质量控制欠缺大有关系。

不锈钢和高强钢名列其次。检验发现, 近年来不锈钢的使用越来越多, 制造和应用中的失效案例也越来越多。大多数情况下是使用不当造成。如处于腐蚀环境、应力环境以及酸洗和电镀不当等。

据权威部门的统计数据, 2005 年我国不锈钢市场约需 420 万 t, 而我国的生产能力仅 178 万 t, 而投资 120 亿元的不锈钢厂, 年产量也就 70~80 万 t。不锈钢的供求矛盾依然突出, 不锈钢的高失效率加剧了矛盾的进一步扩大。

例如某过滤器用不锈钢板冲压成型后, 经过酸洗直接使用, 很短时间内就腐蚀泄漏失效。某管道伸缩补偿器, 用 1Cr18Ni9 不锈钢制成波纹管, 使用约 2 年产生泄漏。经失效分析, 裂纹产生的原因是

①开机频繁,环境水质中残留氧,硫和氯等腐蚀产物;②施工安装固定夹具上的顶端突出物压缩波纹管的峰底,使该处产生变形,导致局部拉应力而引起应力腐蚀。

高强钢的使用中常存在这样的问题,即设计中片面追求高强度,忽视其它因素的影响在一定程度上导致了高强钢不耐用、寿命短的问题。例如,某港口装卸作业的起重机在一夜之间发生倒塌事故,70根 $\phi 20\text{mm}$ 的螺栓全部断裂。断裂原因经分析是由氢脆引起。但使用方准备采用更高牌号的螺栓以解决问题,显然这又进入了一个误区,因为并非强度越高螺栓就不断裂,相反强度越高氢脆的敏感性越大。又如为国家某特别重要工程,制造的超高强度螺栓,根据计算其强度指标的安全裕量较小,设计者加大了螺栓尺寸,由 $\phi 80\text{mm}$ 放大到 $\phi 90\text{mm}$,理论上能满足要求,这给制造厂的技术控制带来巨大麻烦,材质要求更高,在去氢、热处理等工艺上更容易出现问题。

易切削钢制造业的使用应该是大量的,笔者收集的易切削钢失效案例实在太少,这并不表明我们在易切削钢方面没问题。易切削钢在一般用做轴、销、小零件时,其力学性能、加工性能、热处理性能等都与相应的基础钢相似,而在适当的切削条件下切削性能大大优于基础钢,从失效原因上看两个案例均是夹杂物的含量及分布问题,其中一例是进口易切削不锈钢轴承钢,制造成轴承内圈后,发现滚道上有“黑斑”现象,经分析“黑斑”处是夹杂物,并有腐蚀产物,原来在制造过程中有酸洗工序,由此造成不锈钢轴承的废品。

模具钢,失效分析中接触的模具钢失效事件比较多,为什么表1中的比例并不高?这是因为:大多数模具为进口件,用户方不能提供所使用材料牌号、加工工艺(特别是热处理工艺)等,不能提供完整的安装、使用工况。如某H13挤压模,上模芯重1.2t,宏观上只能观察到多条裂纹,与底部水道有关,使用者只能提供该模具是在国外使用十年后引进到国内,修磨型腔后仅使用几年就出现漏水现象,基本情况不清楚给模具失效分析带来很大困难。制造商希望分析结果是材料或者使用方面的问题,而使用方希望是材料与制造方面的问题,材料供应商则认为它们的材料没问题。对于此类问题,国内用户在引进之初就应对整套设备的技术标准索取备案,以备将来解决问题和索赔。

同时在模具制造上,目前国内模具材料的供应相当混乱,如江南某镇几百米的一条街上就集聚着几十家模具材料商店,国内模具材料的供应流程大致如图1所示。流程中3,4和5渠道市场非常活跃,中国产模具钢打上国外品牌人所共知。渠道“5”往往是重熔、铸造、热处理由个别小“作坊”分别进行,由此生产的钢材质量可想而知。

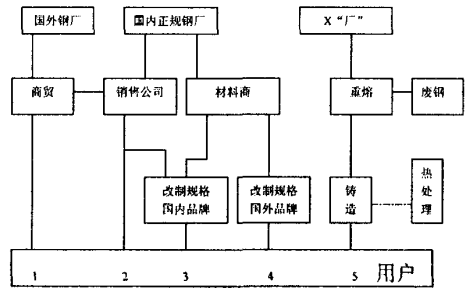


图1 国内模具钢的供货流程

1.2 按失效构件类别进行统计分析

按零部件统计结果见表2,可见其中基础件失效案例较多。基础件量大面广,在失效案例中也占有较高比例。分析中发现许多案例是重复出现,值得引起注意。以螺钉、螺栓为例,自攻螺纹类用量较大、国内生产厂遍地开花,有什么材料用什么材料,制造工艺上质量控制参差不齐,一份材料合格证和质保书可以用几年。这些都是失效的必然因素。如用于笔记本电脑压板的固定螺丝,采用 $M3 \times 4\text{mm}$ 的平十字头形,20钢经机加工—热处理—渗碳(渗层硬度 $410 \sim 490\text{HV}$)—镀铜—镀镍等工艺,要求设计扭力 $3.9\text{kg} \cdot \text{N}$ 。在十字头与螺钉帽R处的壁厚

表2 按失效构件类别进行统计

构件类别	失效案例数	所占比例(%)
管、板、棒材	43	8.6
叶片	5	1.0
容器	26	5.2
轴、杆类	60	12.0
管道类	59	11.8
轮类	54	10.8
基础件	109	21.9
工、模具	29	5.8
电子器件	37	7.4
艺术品	2	0.4
杂件	35	7.0

仅 1.5mm,因此渗碳层稍有增厚,或电镀时氢控制不佳,则造成安装时一拧就断,从而造成大量报废,其制造工艺值得商榷。

1.3 按失效原因进行统计分析

热加工问题引起的失效案例占有最重比例(见表 3),热处理问题又是首当其冲,究其原因有①是不太规范的专业热处理厂,技术力量薄弱,热处理时只问牌号或按委托工艺操作,而不管该牌号材料的原始状态,盲目加工;②专业技术人员匮乏。图 2 是失效原因不同时期的比数。显然,与 1988 年相比,热处理原因引起的失效案例有较大的增幅(约增加 80%)。

表 3 按失效原因进行统计

失效原因分类		失效案例数	所占比例(%)
原材料	夹杂	40	8.0
	带状(偏析)	22	4.4
	氢	6	1.2
冶金质量		33	6.6
设计		1	0.2
机加工	R	26	5.2
	刀痕、磨	41	8.2
热加工	铸造	29	5.8
	轧	45	9.0
	焊接	36	7.2
	热处理	90	18.0
电镀(复合镀)		13	2.6
使用问题	环境氢	2	0.4
	腐蚀	56	11.2
	磨损	15	3.0
	损伤	35	7.0
	装配	26	5.2
	温度(过热)	3	0.6
疲劳		58	11.6

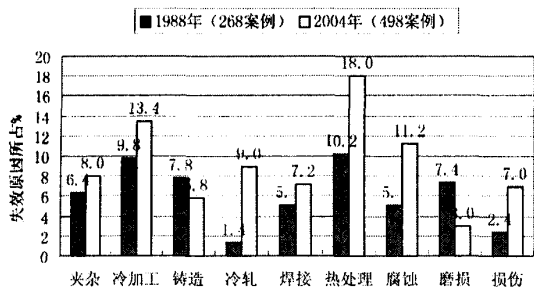


图 2 不同时期失效原因比较

某过江电缆钢塔,高度较高结构复杂,由于焊接工艺试验做的结构比较简单,在实际制造组件时产生了大量的横、纵向裂纹,分析结果表明,裂纹的产生与组件焊缝焊接次序和未采取有效的消除应力措施有关。仅 2003 年我们就处理法院、质检系统委托的七起焊管事故,其原因大部分是因为施工人员不懂、焊接工艺不良。

精密电子器件接头、触点、镀层等加工技术要求高,出现问题较多。某系统工程中使用的电池,安装绝缘层叶隅有异物落入,导致电池放电时击穿绝缘层,给系统调试带来麻烦,由于清洁工作不到位,出现污点、锈斑等缺陷的案例很多。

正确的结果源于合理的工艺。在磁浮工程中,根据国情我国采用水泥梁,其连接件的制造质量及其检测就成为以往没有的新课题。根据设计,它是水泥-钢筋-铸铁件组合,在先期试制中钢筋与铸件容易产生各种缺陷,经过大量的试验分析,形成了连接件制造的最佳工艺和解决方案,从而顺利解决了此问题。

2 实际案例

2.1 家用电器热水器管的失效

该热水器管用进口 TP2Y 管,使用中开裂造成住户水漫金山损失惨重。分析表明,该材料导热率高,膨胀系数 0.018mm/m·K,即每升高 60°时膨胀约 1mm,而在实际焊接时由于操作不当引起较大的热应力引起开裂,如图 3 所示。

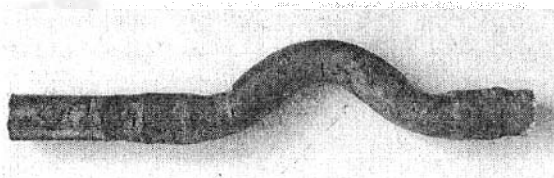


图 3 TP2Y 管

2.2 螺钉断裂

使用中发生断裂螺丝经分析,断裂的主要原因是制造过程螺丝头部针深较深,头杆交界处横截面壁厚较薄,造成使用中在截面较薄弱的区域发生断裂(图 4)。

2.3 圆钢的锻造开裂

φ330mm 的 45 号锻钢,进行调质处理后发现径向开裂(见图 5)。该锻钢的开裂原因主要是由于锻造过程存在严重的脱碳,淬火时脱碳层和锻件心部的马氏体转变点(M_s)不同导致脱碳层和心部存在

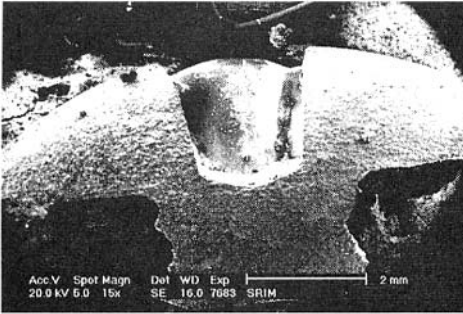


图4 螺钉的中心剖面

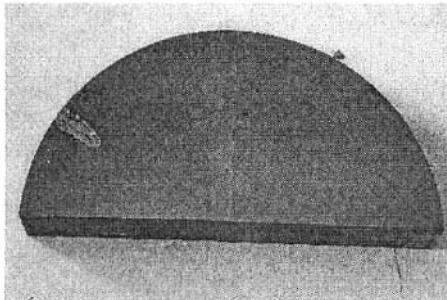


图5 锻造圆钢开裂

较大的拉应力,在热处理过程中发生开裂。

2.4 不锈钢仪表连接弯管断裂

某核电厂2根 $\phi 14\text{mm} \times 2\text{mm}$ 连接不锈钢仪表连接弯管在使用中发生断裂(见图6),仪表管材料是18H10Ti,手工氩弧焊焊接。资料分析表明,该管系取源点与初阀间的连接管,初阀是刚性固定于基座上。断裂发生于近熔合线的热影响区,起源于管子的外壁。近熔合线的热影响区与焊缝和基材相比,是整个管子综合性能较差的部位。分析表明,管网调试运行期间存在着一定的工作应力和载荷变化,以及初阀前管道处于刚性受力状态是导致断裂的主要原因。

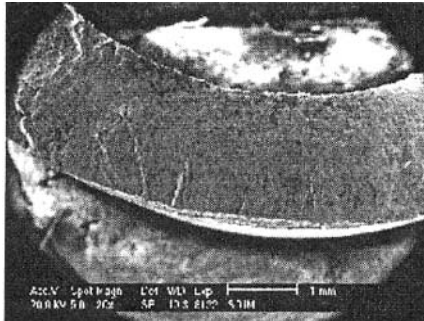


图6 不锈钢管的断口

2.5 铲车曲轴的断裂

铲车曲轴断裂起源于扇板与轴交界的R角处见图7,检验可见,该部位基体中严重的夹杂物和组织带状偏析,夹杂物提高了应力集中程度以及降低了基体强度,使得运行过程中该处在轴向应力下导致疲劳裂纹源的萌生,裂纹逐渐扩展导致沿轴向的疲劳断裂。

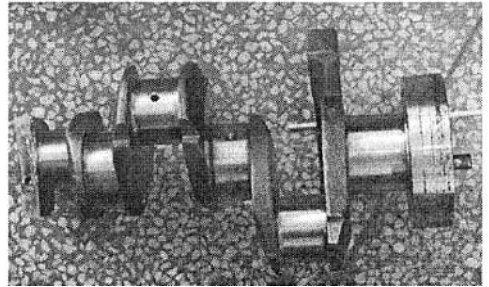


图7 铲车曲轴

3 展望

原机械工业部部长沈鸿曾指出“科研重精勤,精勤出真理。试谈失效案,篇篇是殷鉴”。从以上的统计分析与实际案例可以看出,十六大提出“中国走新型工业化道路”应具体体现在:科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥,以缩小我国制造业水平的差距。

3.1 充分发挥失效分析的指导作用

材料科学发展到今天,已经具备了完备的理论基础和信息系统,以及先进的检测技术和检测手段。采用系统工程的方法,综合运用各方面的知识和技术,根据产品的服役条件和工作要求进行材料的设计和优化,并通过失效分析反馈给设计和选材。其实任何机电产品的失效,是人们对于客观事物的规律认识不够(或没有认识)的放映,人们通过失效分析去发现和认识这些新问题,可以把积累的丰富知识运用到新开发的产品中去,而新产品又会在研制和服役过程中出现新的失效形式,这就迫使人们再去认识和再求得解决。

按指定用途来设计和选择材料,需要材料和工程的紧密结合,需要从事材料、设计、工艺、检测和运行各项工作的各方面人员的密切配合,而失效分析则是联系各环节的纽带和接口。

3.2 从材料研究入手,提高产品质量水平

根据以上各项统计,当可发人深省:机械构件失效的内容,主要表现仍在热处理和工模具。热处理工艺似是机械行业的重要薄弱环节之一。加强材

无铅焊接技术在微电子封装工业中的应用综述

吴本生, 杨晓华, 陈文哲

(福州大学材料科学与工程学院, 福州, 350002)

摘要:介绍了无铅焊接技术的现状以及国内外对 Sn-Ag 和 Sn-Zn 等二无铅焊料的研究成果, 以及无铅焊接的几种常见技术。

关键词:无铅焊接; 微电子封装; 发展现状

中图分类号: TG40 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4012(2005)增刊

1 引言

钎焊焊接是指利用熔点较低的焊料(填充金属)和焊件连接处一同加热, 焊料熔化后, 渗入并填满连接处间隙而达到连接(焊件未经熔化)^[1]。传统铅锡焊料的熔点为 183℃, 焊接温度一般在 225~230℃ 之间。铅锡焊料的应用已有悠久的历史, 由于它具有熔点低、原料丰富、价格低的优点, 成为电子工业焊料中最主要的焊料系列。

如今, 随着电子封装工业的不断发展, 焊接技术的使用变的越来越广泛, 由于铅锡合金良好的性价比, 在目前电子部件的装配上仍占主导地位。然而

铅是一种重金属, 不容易被降解, 人类所使用的铅极少被回收, 大部分以不同形式污染着我们周围的土壤、水资源和空气。

世界各国纷纷采取措施来限制铅对环境的进一步污染。20 世纪 90 年代早期, 人们便开始研究使用无铅焊料代替铅焊料的研究^[3], 并将解决铅污染问题分成五个部分: 第一, 提高世界各国对铅污染问题的认识; 第二, 开发新的焊接工艺; 第三, 焊料合金的选择; 第四, 焊料可焊性研究; 第五, 制定相关环境保护法律。而在我国, 无铅焊料的研究起步较晚, 研制无铅焊料成为我国电子工业的当务之急。

料、工程、工艺研究, 是提高产品性能、产品质量的有效途径, 而每一次更改材料都需要以零件失效分析为根据。在国外大概每五年内就推出一种新型产品, 所以新材料、新零件的性能试验包括失效分析工作, 必须提前五年来完成, 可见材料研究和失效分析工作的急迫性。

3.3 实施全面质量管理、开展预防预测工作

早在 20 世纪 40 年代, 美国质量管理学会在开展“失效废品检验规划”时, 就号召美国企业重视产品的失效分析问题, 要求把失效分析纳入质量管理体系。企业开展失效分析的结果, 不仅增进了原有产品的质量, 而且从失效分析发现的许多新现象所产生的启示, 创新发展了许多新产品和新技术, 获得了巨大的经济效益。

失效分析不但必须保持科学性、公正性和权威性, 失效分析工作者要排除各种干扰, 得出客观结

论, 亡羊补牢; 失效分析更重要的是通过产品投放市场前和投放市场后的失效分析, 找出潜在的失效原因, 深入开展失效模式、失效机理研究, 颁布实行失效分析的技术指导性文件、规程和标准, 建立失效案例数据库及计算机辅助失效分析系统, 采取预防措施以防止事故的再发生。

参考文献:

- [1] 中国机械工程学会材料学会主编. 机械产品失效分析与质量管理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986, 105-124
- [2] 周惠久, 顾海澄. 失效分析与材料科学及工程[A]. 中国机械工程学会全国第三次机械装备失效分析会议论文集[D]. 上海: 国家机械委上海材料研究所, 1988.
- [3] 李鹤林. 失效分析的任务、方法及其展望[J], 理化检验—物理分册, 2005, 41(1): 1-6.