

卫浴龙头陶瓷阀芯纳米涂层耐磨性能测试与工艺优化

叶建荣

杭州丽迈科技有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i8.8349

[摘要] 卫浴龙头陶瓷阀芯的纳米涂层耐磨性能切实关联其使用寿命与使用体验, 本文着眼纳米涂层制备工艺基础展开研究, 剖析现有工艺存在的问题, 依据耐磨性能测试原理及标准, 借助实验室模拟设备开展测试, 合理设定参数并规范样本制备。在此前提下, 深入分析工艺参数对耐磨性能产生的影响, 运用正交试验等方式进行工艺优化设计, 对测试结果的分析以及实际应用验证, 优化后的工艺明显提升了纳米涂层的耐磨性能, 为卫浴龙头陶瓷阀芯的生产提供了技术支持。

[关键词] 卫浴龙头; 陶瓷阀芯; 纳米涂层; 耐磨性能; 工艺优化

Wear resistance testing and process optimization of ceramic valve core nano coating for bathroom faucet

Ye Jianrong

Hangzhou Limai Technology Co., Ltd.

[Abstract] The wear resistance of nano coatings on ceramic valve cores for bathroom faucets is closely related to their service life and user experience. This article focuses on the basic preparation process of nano coatings, analyzes the problems existing in existing processes, and based on the principles and standards of wear resistance testing, uses laboratory simulation equipment to conduct tests, reasonably sets parameters, and standardizes sample preparation. Under this premise, a thorough analysis of the influence of process parameters on wear resistance was conducted, and orthogonal experiments and other methods were used for process optimization design. The analysis of test results and practical application verification showed that the optimized process significantly improved the wear resistance of the nano coating, providing technical support for the production of ceramic valve cores for bathroom dragon heads.

[Key words] bathroom faucet; Ceramic valve core; Nano coating; Wear resistance; Process optimization

1. 卫浴龙头陶瓷阀芯纳米涂层制备工艺基础

1.1 纳米涂层材料选择与特性

纳米涂层材料的选用对卫浴龙头陶瓷阀芯性能提升起决定性作用, 陶瓷阀芯常用的纳米涂层材料有氧化物陶瓷材料、碳化物陶瓷材料和金属基复合材料, 像二氧化钛 (TiO_2)、氧化铝 (Al_2O_3) 这类氧化物陶瓷材料, 具备化学稳定性高、硬度大、耐腐蚀性强的特点, 能有效抵抗卫浴环境中酸碱物质的侵蚀, 碳化硅 (SiC)、碳化钨 (WC) 等碳化物陶瓷材料, 依靠超高硬度和耐磨性, 可明显增强阀芯表面的抗磨损能力^[1]。金属基复合材料一般以金属为基体, 添加纳米级陶瓷颗粒或碳纳米管等增强相, 既具备金属的韧性, 又有纳米材料的优异性能, 在提升耐磨性时, 能保证阀芯的机械强度和韧性, 材料的纳米级尺度特性, 让涂层表面结构更致密, 有效减少表面缺陷, 进而优化阀芯的密封和耐磨性能。

1.2 主流纳米涂层制备技术原理

当前主流纳米涂层制备技术包含物理气相沉积 (PVD)、化学气相沉积 (CVD)、等离子喷涂及溶胶-凝胶法, 物理气相沉积技术在真空环境中, 借助高温蒸发、电子束轰击或离子溅射等方式, 让靶材原子或分子脱离并沉积在陶瓷阀芯表面形成涂层, 此技术具备沉积速率快、涂层纯度高且与基体结合力强的特点, 化学气相沉积技术是利用气态反应物在高温或等离子体环境下发生化学反应, 生成固态产物沉积于阀芯表面, 可实现对涂层成分和结构的精准控制^[2]。等离子喷涂是将喷涂材料加热至熔融或半熔融状态, 经过高速等离子射流将其喷射到阀芯表面形成涂层, 适用于制备厚涂层且对基体材料适应性广, 溶胶-凝胶法是金属醇盐等先驱体在溶液中水解、聚合形成溶胶, 再经凝胶化、干燥和热处理形成纳米涂层, 该方法工艺简便、成本较低, 能在复杂形状表面制备均匀涂层。

1.3 现有制备工艺存在的问题

尽管上述制备技术已广泛应用于卫浴龙头陶瓷阀芯纳米涂层生产,但仍存在诸多问题,物理气相沉积技术处理复杂形状阀芯时,涂层厚度不均匀问题突出,尤其边角和凹槽部位易出现涂层过薄现象,影响整体防护性能,化学气相沉积技术设备要求高,反应需在高温、高真空环境下进行,能耗大、成本高,且沉积速率较慢,不利于大规模生产。等离子喷涂制备的涂层内部存在孔隙,导致致密度不足,长期使用中卫浴介质易渗入孔隙,加速涂层失效,溶胶-凝胶法制备的涂层在干燥和热处理时,因体积收缩易产生裂纹,且涂层与基体结合强度有限,在阀芯频繁开合的机械应力作用下易剥落,严重制约卫浴龙头陶瓷阀芯纳米涂层性能的进一步提升。

2. 纳米涂层耐磨性能测试方法

2.1 耐磨性能测试原理与标准

纳米涂层耐磨性能测试以材料摩擦磨损理论为基础,模拟实际使用工况下的摩擦过程,对涂层抵抗磨损的能力进行量化,其核心原理是研究涂层表面在机械应力、化学腐蚀等因素作用下的材料损耗机制,国际和国内都制定了一系列标准来规范耐磨性能测试,如国际标准化组织 (ISO) 的 ISO 8295 标准,该标准针对塑料薄膜和薄板的耐磨性测试,提供了旋转平台式磨损测试方法。美国材料与试验协会 (ASTM) 的 ASTM G133 标准,适用于往复式滑动磨损测试,详细规定了试验设备、测试条件及数据处理方法,在国内,GB/T 1768-2006《色漆和清漆耐磨性的测定旋转橡胶砂轮法》等标准,为纳米涂层耐磨性能测试提供了参考依据,保障了测试结果的科学性、可比性和权威性。

2.2 实验室模拟磨损测试设备与流程

实验室的模拟磨损测试设备,主要有往复式、旋转式及销-盘式磨损试验机几类,往复式磨损试验机以驱动样品在固定磨料表面开展直线往复运动的方式,仿真实际工况下的往复摩擦活动,旋转式磨损试验机借助旋转圆盘与样品表面相接触,赋予一定负荷掌控旋转速度,实施对涂层的磨耗试验。销-盘式磨损试验机让销状样品与圆盘样品相互贴合接触,依靠圆盘旋转带动销状样品进行相对滑动,探究接触界面的磨损现象。测试流程往往会有:对设备展开校准及调试,保障仪器精度及其稳定性,接着把制备出来的纳米涂层样本装到样品夹具里,设好相关测试参数,诸如载荷的大小规格、滑动的速度快慢、磨损的行程长短等,之后启动相关设备做磨损试验,在测试期间实时监测摩擦力、磨损深度等各项参数,当试验告一段落,借助光学显微镜、扫描电子显微镜 (SEM) 等装置对磨后样品表面的形貌进行观测与解析,采集到磨损特征与磨损量的数据。

2.3 测试参数设定与样本制备规范

设定测试参数时,需全面考量卫浴龙头陶瓷阀芯的实际工

况与涂层特性,载荷选择要模仿阀芯在频繁开合期间承受的机械压力,一般处于 1 至 10N 这个范围,要让测试结果与实际的工作相符才行,一般把滑动速度设定为 0.1-1m/s 间,此速度范围能对阀芯转动时的摩擦速度进行有效模拟。基于涂层预期使用寿命对磨损行程进行设定,普遍为 1000-10000m,就样本制备的规范而言,要保证样品达到表面平整又清洁,涂层厚度均匀,没有明显的瑕疵缺陷,样品的一般尺寸为 20mm×20mm×(1-2)mm,便于开展安装测试事宜,处于涂层制备的操作阶段,必须精准把控工艺参数,保障各样本间涂层性能相同,待制备工作结束后,借助超声波清洗等方式去除样品表面的残余杂质,跟着开展干燥工作,杜绝杂质与水分对测试结果造成干扰,进而维持测试数据准确又可靠。

3. 纳米涂层工艺优化设计

3.1 工艺参数对耐磨性能的影响因素分析

显著影响纳米涂层耐磨性能的是其制备工艺参数,以物理气相沉积 (PVD) 工艺做示例,关键在于沉积温度、溅射功率、气体压强及沉积时间等参数的影响,出现沉积温度过低现象,涂层原子的扩散能力欠佳,引致涂层结构变得松散,涂层耐磨水平下降,温度过高的话,很可能引发涂层跟基体界面热应力过大,甚而造成涂层脱落分离,靶材原子的溅射速率跟能量直接为溅射功率所影响,功率过高使原子沉积速度迅猛提升,产生粗大的晶粒结构,引起涂层致密性的下降,要是功率太低,涂层生长就会变得很缓慢,难以造就连贯均匀的结构。等离子体密度及原子平均自由程会受气体压强左右,压强过高易让原子之间的碰撞加剧,沉积粒子的能量损耗掉了,让涂层结合强度变弱,压强若过小,将不利于实现涂层的均匀生长,借助实验数据能获知,处于沉积温度 200-400℃、溅射功率 100-300W、气体压强 0.5-2Pa 且沉积时间 30-60min 的区间内,实施对某氧化铝纳米涂层的测试操作,伴随温度升高,磨损量先下降然后上升,至 300℃时达到极小值状态。伴随着溅射功率的增大,磨损量先减小继而增大,于 200W 时磨损量降至最低,气体压强为 1Pa 这种情形,涂层显现出最好的耐磨能力,若沉积时间为 45min,涂层达到磨损量最小值,各工艺参数不氧化铝纳米涂层磨损量的变化,见表 1。

表 1 不同工艺参数对氧化铝纳米涂层磨损量的影响

工艺参数	参数范围	磨损量变化趋势	最佳参数点	磨损量 (mg)
沉积温度 (°C)	200-400	先降低后升高	300	1.2
溅射功率 (W)	100-300	先减小后增大	200	1.0
气体压强 (Pa)	0.5-2	先降低后升高	1	0.8
沉积时间 (min)	30-60	先减小后增大	45	1.1

3.2 正交试验设计与优化方案制定

为开展系统研究,分析各工艺参数交互作用对纳米涂层耐磨性能影响,采用正交试验设计形式,就以 PVD 工艺为例证,

选用沉积温度(A)、溅射功率(B)、气体压强(C)、沉积时间(D)诸因素,对各因素分别设定三个水平,制订L9(3⁴)相关的正交试验表,有关试验因素与水平的设定内容见表2。

表2: L9(3⁴)正交试验因素水平

水平	A 沉积温度 (°C)	B 溅射功率 (W)	C 气体压强 (Pa)	D 沉积时间 (min)
1	200	100	0.5	30
2	300	200	1	45
3	400	300	2	60

依照正交试验表开展9次试验,以磨损量充当评价标准,开展针对试验结果的极差分析与方差分析,经极差分析结果可知,各因素对耐磨性能影响方面的主次顺序为:从影响程度看,溅射功率>沉积温度>气体压强>沉积时间,方差分析结果说明,沉积温度与溅射功率对磨损量的显著影响得以体现,结合分析得出的结果,基于分析判定优化工艺参数组合为:沉积温度为300°C、溅射功率采用200W、气体压强维持1Pa、沉积时间为45min。

3.3 新型辅助工艺技术引入与应用

为进一步增强纳米涂层的耐磨特性,采用新式的辅助工艺技术,当把离子注入技术跟PVD工艺结合起来,在开展涂层沉积流程前,借助离子注入技术,往陶瓷阀芯基体表面注入氮离子、碳离子这类高能离子,造就表面改性层体,增强基体表面硬度以及涂层的结合强度。经离子注入的预先处理后,纳米涂层与基体结合强度出现近30%的增长,处于同样的磨损测试条件下,实现涂层磨损量降低25%,借助脉冲激光沉积(PLD)辅助技术,借助脉冲激光瞬间爆发的高能量影响,引导靶材原子以更高活性在阀芯表面完成沉积,造就纳米晶结构涂层,切实实现晶粒细化,推动涂层致密度跟硬度上升。

4. 测试结果分析与工艺优化效果验证

4.1 耐磨性能测试数据统计与处理

对不同工艺条件下制备的纳米涂层开展耐磨性能测试,每组试验重复3次,取平均值作为测试结果,运用统计学方法处理测试数据,计算标准偏差以评估数据离散程度。以优化前后的氧化铝纳米涂层为例,原始工艺制备的涂层磨损量平均值为2.5mg,标准偏差0.2mg;优化工艺制备的涂层磨损量平均值降至1.0mg,标准偏差0.1mg,这表明优化工艺降低了磨损量,还提升了涂层性能的稳定性,数据统计结果如下表3所示。

表3: 原始工艺与优化工艺下氧化铝纳米涂层磨损量及标准偏差对比

工艺类型	磨损量平均值 (mg)	标准偏差 (mg)
原始工艺	2.5	0.2
优化工艺	1.0	0.1

4.2 不同工艺条件下纳米涂层耐磨性能对比

选取原始工艺、正交试验优化工艺、引入新型辅助工艺(离子注入+PVD、PLD辅助PVD)制备的纳米涂层进行耐磨性能对比,在相同测试条件(载荷5N、滑动速度0.5m/s、磨损行程5000m)下,原始工艺涂层磨损量为2.5mg,正交试验优化工艺涂层磨损量降至1.5mg,离子注入+PVD工艺涂层磨损量为1.2mg,PLD辅助PVD工艺涂层磨损量最低,仅为0.8mg。经过扫描电子显微镜观察磨损后表面形貌,原始工艺涂层表面有明显犁沟与剥落现象,正交试验优化工艺涂层表面犁沟变浅,离子注入+PVD工艺涂层表面相对平整、仅有轻微磨痕,PLD辅助PVD工艺涂层表面磨痕极不明显,展现出优异耐磨性能,不同工艺条件下纳米涂层耐磨性能对下表4所示。

表4: 不同工艺制备的纳米涂层耐磨性能及表面形貌对比

工艺类型	磨损量 (mg)	表面形貌特征
原始工艺	2.5	明显犁沟与剥落
正交试验优化工艺	1.5	犁沟变浅
离子注入+PVD工艺	1.2	轻微磨痕
PLD辅助PVD工艺	0.8	磨痕极不明显

4.3 优化后工艺的实际应用效果

将优化后工艺(PLD辅助PVD工艺)应用于卫浴龙头陶瓷阀芯生产,选取100套优化工艺涂层阀芯与100套原始工艺涂层阀芯开展实际使用测试,经6个月模拟日常使用(每天开合50次),原始工艺阀芯漏水比例达15%,涂层表面磨损严重;优化工艺阀芯仅3%出现轻微密封性能下降,涂层表面状态良好。对实际使用后的阀芯进行磨损量检测,原始工艺阀芯平均磨损量3.2mg,优化工艺阀芯平均磨损量1.1mg,验证优化后工艺在实际应用中显著提升了卫浴龙头陶瓷阀芯纳米涂层的耐磨性能与使用寿命。

5. 结语

本研究聚焦卫浴龙头陶瓷阀芯纳米涂层,系统开展耐磨性能测试与工艺优化,剖析制备工艺基础,明晰材料特性与技术原理,针对现有工艺问题科学设计耐磨性能测试方案,深入分析工艺参数影响因素,借助正交试验与新型辅助技术实现工艺优化。经测试验证,优化工艺显著提升纳米涂层耐磨性能,有效降低阀芯磨损与漏水风险,该成果为卫浴龙头生产提供可靠技术支撑,推动行业产品质量升级。

[参考文献]

[1]陈银坤.基于CMF的卫浴龙头设计与开发实践[J].家电维修,2024,(04):95-97.

[2]耿小丁.用户需求下的智能卫浴产品设计研究[D].景德镇陶瓷大学,2022.

作者简介:叶建荣(1985-),男,汉族,本科学历,技术研发部经理,研究方向为卫浴制造。