



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113549859 A

(43) 申请公布日 2021.10.26

(21) 申请号 202110692727.0 *C23C 4/18* (2006.01)
(22) 申请日 2021.06.22 *B05D 7/24* (2006.01)
(71) 申请人 河南科技大学 *B05D 1/02* (2006.01)
地址 471000 河南省洛阳市涧西区西苑路 *B05D 1/32* (2006.01)
48号 *C09D 183/04* (2006.01)
C09D 167/08 (2006.01)
(72) 发明人 周孟 张毅 田保红 傅丽华
刘勇 李德 薛启明 张志阳
(74) 专利代理机构 洛阳公信知识产权事务所
(普通合伙) 41120
代理人 时亚娟
(51) Int. Cl.
G23C 4/08 (2016.01)
G23C 4/10 (2016.01)
G23C 4/131 (2016.01)
G23C 4/134 (2016.01)

权利要求书2页 说明书11页

(54) 发明名称

一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层及其制备方法

(57) 摘要

一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层,包括金属过渡层、陶瓷绝缘层和高分子封闭层,金属过渡层由91wt%的Ni和9wt%的Al组构成的合金喷涂而成,陶瓷绝缘层由复配原料喷涂而成,复配原料由混配粉末和混配粉末质量0.3%的醋酸纤维素粘结剂混合制成,混配粉末包括95-99wt%的 α - Al_2O_3 、0.2-2.5wt%的 TiO_2 和0.2-2.5wt%的 CeO_2 ,高分子封闭层的原料为醇酸树脂改性有机硅浸渍漆和稀释剂。本发明通过涂层材料的选择和喷涂加工工艺的改进,制备得到的复合陶瓷涂层与轴承基体结合强度高、韧性强、不易剥落,致密度高,温度适应范围宽,成本低廉,具有更高的绝缘性能,能够较好的抵抗轴电流的侵蚀。

1. 一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层,该复合陶瓷涂层加工于环状绝缘轴承的内圆周表面和外圆周表面,其特征在于:所述的复合陶瓷涂层包括从内到外依次附着于绝缘轴承表面的金属过渡层、陶瓷绝缘层和高分子封闭层,其中,金属过渡层的厚度为50~100 μm ,该金属过渡层由91wt%的Ni和9wt%的Al组构成的合金喷涂而成,陶瓷绝缘层的厚度为100~300 μm ,该陶瓷绝缘层由复配原料喷涂而成,所述的复配原料由混配粉末和混配粉末质量0.3%的醋酸纤维素粘结剂混合制成,混配粉末包括95-99wt%的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、0.2-2.5wt%的 TiO_2 和0.2-2.5wt%的 CeO_2 ,高分子封闭层的厚度不超过50 μm ,该高分子封闭层的原料为醇酸树脂改性有机硅浸渍漆和稀释剂。

2. 根据权利要求1所述的一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层,其特征在于:所述的金属过渡层、陶瓷绝缘层和高分子封闭层分别通过高速电弧喷涂、大气等离子喷涂和空气雾化喷涂的方式附着于绝缘轴承的表面。

3. 根据权利要求1所述的一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层,其特征在于:所述金属过渡层在喷涂时选用的原料为直径为1.6mm或2.0mm的Ni-9Al金属线材。

4. 根据权利要求1所述的一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层,其特征在于:所述混配粉末的粒径为1.0-5.0 μm ,且混配粉末中 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 TiO_2 和 CeO_2 的纯度均不低于99.95%。

5. 根据权利要求1所述的一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层,其特征在于:所述陶瓷绝缘层的复配原料经冷冻干燥造粒后,再进行喷涂。

6. 根据权利要求1所述的一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层,其特征在于:所述高分子封闭层的原料中醇酸树脂改性有机硅浸渍漆与稀释剂之间的体积比为4:1。

7. 根据权利要求1所述的一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一、采用水基碱性清洗剂,于70-90 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,对轴承套圈进行浸渍处理,待轴承套圈表面完成脱脂后,将其转置于80-120 $^{\circ}\text{C}$ 的干燥箱内进行烘干处理,制得表面洁净的轴承套圈,备用;

步骤二、采用两端带有金属端盖的夹具对轴承套圈的非喷涂区域进行遮蔽保护,之后,对轴承套圈的待喷涂区域进行喷砂处理,得到局部表面粗化的轴承套圈,备用;

步骤三、采用高速电弧喷涂机,以Ni-9Al金属线材为原料,对步骤二中已完成局部表面粗化的轴承套圈进行待喷涂区域的高速电弧喷涂处理,制得厚度为50~100 μm 的金属过渡层;

步骤四、按照重量百分比,分别称取95-99wt%的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、0.2-2.5wt%的 TiO_2 和0.2-2.5wt%的 CeO_2 进行混合,制得混配粉末,之后,向所得混配粉末中加入其重量0.3%的醋酸纤维素粘结剂,充分混匀后得到复配原料,对该复配原料进行冷冻干燥造粒处理,制得的颗粒状物料,采用大气等离子喷涂机,以制得的颗粒状物料为原料,在步骤三金属过渡层的表面进行大气等离子喷涂,使金属过渡层的表面形成厚度为100~300 μm 的陶瓷绝缘层;

步骤五、分别取醇酸树脂改性有机硅浸渍漆和稀释剂进行混合,制成封孔剂,采用雾化喷涂机,以制得的封孔剂为原料,在步骤四陶瓷绝缘层的表面进行空气雾化喷涂,使陶瓷绝缘层的表面固化形成高分子封闭层;

步骤六、采用外圆磨床对步骤五固化形成的高分子封闭层进行表面外圆研磨,使高分子封闭层的厚度不超过50 μm ,制得表面具有复合陶瓷涂层的轴承套圈,备用;

步骤七、采用超声波清洗机对步骤六制备完成的轴承套圈进行表面清洗,之后,转置于80-120℃的干燥箱内进行烘干处理,制得干燥的轴承套圈,备用;

步骤八、采用超声波探伤仪对步骤七制得的轴承套圈进行表面复合陶瓷涂层的探伤检查,以确保复合陶瓷涂层无界面开裂、内部层状裂纹和未封闭空洞缺陷;

步骤九、按照轴承装配标准程序,对步骤八完成探伤检查的轴承套圈进行配件装配,并对制得的成品轴承依次进行质量检验和包装处理,即得成品电机绝缘轴承。

8. 根据权利要求7所述的一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层的制备方法,其特征在于:在步骤二中,所述的喷砂处理采用自循环喷砂机进行,且喷砂处理时的喷砂介质为16-40目棕刚玉砂,喷砂压力为0.4-0.6MPa,喷砂距离为100-150mm,喷砂角度为75-85°,喷砂时间为5-10s/套圈,在喷砂处理后还设置有对轴承套圈的表面进行高压空气喷吹除杂的步骤,且后续的高速电弧喷涂处理需在喷砂处理后的4h内进行。

9. 根据权利要求7所述的一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层的制备方法,其特征在于:在步骤三中,所述高速电弧喷涂处理时的喷涂电压为30-35V,喷涂电流为170-185A,喷涂距离为200-300mm,喷涂角度为90°,喷枪移动速度为0.35-0.50m/s。

10. 根据权利要求7所述的一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层的制备方法,其特征在于:在步骤四中,所述大气等离子喷涂时的电弧电流为500-600A,电弧电压为60-80V,主气流量(Ar+N₂)为2-3.6m³/h,辅气流量(H₂)为0.40-0.75m³/h,喷涂距离为100-150mm,颗粒状物料的送料速率为30-45g/min,喷枪移动速率为0.3-0.6m/s,喷涂角度为90°。

一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层及其制备方法

[0001] 本发明涉及风力发电机绝缘轴承技术领域,具体地说是一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层及其制备方法。

背景技术

[0002] 风力发电作为一项可再生的绿色环保新型能源,在能源形势日趋紧张和保护环境需求日益迫切的情况下,受到各国广泛重视。据统计,1996年至今,全世界风电装机以接近每年30%的速度进行增长。截止到2020年,世界上通过风力发电进行装机的容量累计达到12亿kW,平均每年可发电3万亿kW·h,基本达到全球用电总需求量的12%左右。风电行业的迅速崛起,使与之相应的风电设备也得到了快速发展。然而,风电设备常年服役于野外,使用环境恶劣,常会出现风吹、沙打、雨淋、腐蚀等多种极端环境,同时会出现复杂交变的应力和各种冲击载荷,这就对风电设备的性能提出了严峻的挑战。

[0003] 轴承作为风电设备中的关键零部件,它的质量性能和技术水平一定程度上决定了整个风电系统的运行状态和产能效率。然而,风电轴承处于风电设备中的薄弱部位,往往是风电机组的主要故障点之一,成为了制约我国风电行业发展的软肋。根据目前风场的实际生产情况来看,风电发电机轴承失效的表现主要有两种形式:一种是保持架破裂导致的轴承失效;另一种是电腐蚀(即电蚀)导致的轴承失效。

[0004] 对于风力发电机组,通常由于电机内部磁通不平衡,会在定子机壳、驱动端轴承、轴及非驱动端轴承之间的回路内形成感应电压和电流。当轴电压积累到一定数值并大于轴承润滑油膜的击穿电压时,它们就会在轴承中产生电弧,沿着与电机轴承之间阻抗最小的路径放电。特别是在轴承内部滚道与滚动体形成金属性接触瞬间,轴电流可达上百安培,导致轴承滚道产生小的麻点和凹坑(即发生电蚀),使得轴承发生振动和剧烈的温升变化,造成轴承发生电腐蚀失效。

[0005] 为了解决风力电机轴承使役过程中的电蚀问题,通常情况下会对轴承的内外圈或滚动体进行绝缘,切断轴承内部的导电通路,从而有效避免电机轴承因电蚀损伤导致的失效。其中,采用喷涂方法在轴承内、外套圈外表面制备一种高绝缘性的陶瓷涂层,是最常见且应用最广泛的一种绝缘方式。该工艺制备的绝缘轴承不仅具有良好的绝缘性和耐磨耐腐蚀性,而且具有较好的尺寸稳定性,应用范围较广。然而,由于等离子喷涂涂层的受影响因素众多,该类型绝缘轴承产品并不成熟。与国外高端绝缘轴承产品相比较,国内该类型绝缘轴承产品的陶瓷涂层结合力差、致密度低、绝缘性差、受环境温度和湿度影响大。因此,开展风力发电机绝缘轴承陶瓷材料的研发和制备研究,具有十分重要的经济意义和战略意义。

发明内容

[0006] 本发明的技术目的是:通过涂层材料的选择和喷涂加工工艺的改进,制备一种与轴承基体结合强度高、韧性强、不易剥落,致密度高,温度适应范围宽,且成本低廉的高性能复合陶瓷涂层,使风力发电机绝缘轴承在拥有优良机械性能的基础上能够抵抗轴电流的侵蚀,且具有更高的绝缘性能,以满足轴承抗轴电流烧蚀的需求,并且能同时适用于潮湿和干

燥工作环境。

[0007] 本发明为解决上述技术问题,所采用的技术方案是:一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层,该复合陶瓷涂层加工于环状绝缘轴承的内圆周表面和外圆周表面,所述的复合陶瓷涂层包括从内到外依次附着于绝缘轴承表面的金属过渡层、陶瓷绝缘层和高分子封闭层,其中,金属过渡层的厚度为50~100 μm ,该金属过渡层由91wt%的Ni和9wt%的Al组成的合金喷涂而成,陶瓷绝缘层的厚度为100~300 μm ,该陶瓷绝缘层由复配原料喷涂而成,所述的复配原料由混配粉末和混配粉末质量0.3%的醋酸纤维素粘结剂混合制成,混配粉末包括95-99wt%的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、0.2-2.5wt%的 TiO_2 和0.2-2.5wt%的 CeO_2 ,高分子封闭层的厚度不超过50 μm ,该高分子封闭层的原料为醇酸树脂改性有机硅浸渍漆和稀释剂。

[0008] 优选的,所述的金属过渡层、陶瓷绝缘层和高分子封闭层分别通过高速电弧喷涂、大气等离子喷涂和空气雾化喷涂的方式附着于绝缘轴承的表面。

[0009] 优选的,所述金属过渡层在喷涂时选用的原料为直径为1.6mm或2.0mm的Ni-9Al金属线材。

[0010] 优选的,所述混配粉末的粒径为1.0-5.0 μm ,且混配粉末中 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 TiO_2 和 CeO_2 的纯度均不低于99.95%。

[0011] 优选的,所述陶瓷绝缘层的复配原料经冷冻干燥造粒后,再进行喷涂。

[0012] 优选的,所述高分子封闭层的原料中醇酸树脂改性有机硅浸渍漆与稀释剂之间的体积比为4:1。

[0013] 一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层的制备方法,包括以下步骤:

步骤一、采用水基碱性清洗剂,于70-90 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,对轴承套圈进行浸渍处理,待轴承套圈表面完成脱脂后,将其转置于80-120 $^{\circ}\text{C}$ 的干燥箱内进行烘干处理,制得表面洁净的轴承套圈,备用;

步骤二、采用两端带有金属端盖的夹具对轴承套圈的非喷涂区域进行遮蔽保护,之后,对轴承套圈的待喷涂区域进行喷砂处理,得到局部表面粗化的轴承套圈,备用;

步骤三、采用高速电弧喷涂机,以Ni-9Al金属线材为原料,对步骤二中已完成局部表面粗化的轴承套圈进行待喷涂区域的高速电弧喷涂处理,制得厚度为50~100 μm 的金属过渡层;

步骤四、按照重量百分比,分别称取95-99wt%的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、0.2-2.5wt%的 TiO_2 和0.2-2.5wt%的 CeO_2 进行混合,制得混配粉末,之后,向所得混配粉末中加入其重量0.3%的醋酸纤维素粘结剂,充分混匀后得到复配原料,对该复配原料进行冷冻干燥造粒处理,制得的颗粒状物料,采用大气等离子喷涂机,以制得的颗粒状物料为原料,在步骤三金属过渡层的表面进行大气等离子喷涂,使金属过渡层的表面形成厚度为100~300 μm 的陶瓷绝缘层;

步骤五、分别取醇酸树脂改性有机硅浸渍漆和稀释剂进行混合,制成封孔剂,采用雾化喷涂机,以制得的封孔剂为原料,在步骤四陶瓷绝缘层的表面进行空气雾化喷涂,使陶瓷绝缘层的表面固化形成高分子封闭层;

步骤六、采用外圆磨床对步骤五固化形成的高分子封闭层进行表面外圆研磨,使高分子封闭层的厚度不超过50 μm ,制得表面具有复合陶瓷涂层的轴承套圈,备用;

步骤七、采用超声波清洗机对步骤六制备完成的轴承套圈进行表面清洗,之后,转置于80-120 $^{\circ}\text{C}$ 的干燥箱内进行烘干处理,制得干燥的轴承套圈,备用;

步骤八、采用超声波探伤仪对步骤七制得的轴承套圈进行表面复合陶瓷涂层的探伤检查,以确保复合陶瓷涂层无界面开裂、内部层状裂纹和未封闭空洞缺陷;

步骤九、按照轴承装配标准程序,对步骤八完成探伤检查的轴承套圈进行配件装配,并对制得的成品轴承依次进行质量检验和包装处理,即得成品电机绝缘轴承。

[0014] 优选的,在步骤二中,所述的喷砂处理采用自循环喷砂机进行,且喷砂处理时的喷砂介质为16-40目棕刚玉砂,喷砂压力为0.4-0.6MPa,喷砂距离为100-150mm,喷砂角度为75-85°,喷砂时间为5-10s/套圈,在喷砂处理后还设置有对轴承套圈的表面进行高压空气喷吹除杂的步骤,且要求在喷砂处理结束4小时内必须进行热喷涂,超过4小时需重新进行喷砂处理。

[0015] 优选的,在步骤三中,所述高速电弧喷涂处理时的喷涂电压为30-35V,喷涂电流为170-185A,喷涂距离为200-300mm,喷涂角度为90°,喷枪移动速度为0.35-0.50m/s。

[0016] 优选的,在步骤四中,所述大气等离子喷涂时的电弧电流为500-600A,电弧电压为60-80V,主气流量(Ar+N₂)为2-3.6m³/h,辅气流量(H₂)为0.40-0.75m³/h,喷涂距离为100-150mm,颗粒状物料的送料速率为30-45g/min,喷枪移动速率为0.3-0.6m/s,喷涂角度为90°。

[0017] 本发明的有益效果:

1、本发明通过在轴承内外圈的非滚道部分有次序、分步骤地喷涂金属-陶瓷-封闭层构成的高性能复合陶瓷涂层,使得常规的电机轴承具有了良好的电绝缘性能和绝缘强度,可以抵抗风电高速电机在服役过程中的轴电流腐蚀,从而避免损害轴承及润滑油,延长其使用寿命和服役年限。同时,复合陶瓷涂层本身通过涂层材料的选择和搭配,以及涂层喷涂工艺的改进,使复合陶瓷涂层具有耐蚀性好、结合强度高、抗冲击韧性优异、致密度高,温度适应范围宽,且成本低廉等优异性能,尤其适用于海上、陆上等服役环境恶劣的极端环境。经测定,本发明绝缘轴承表面加工的复合陶瓷涂层,其结合强度 $\geq 15\text{MPa}$;孔隙率 $\leq 5\%$;电气强度 $\geq 18\text{kV/mm}$;交流极限耐压值为50Hz,2000V-5000V;体积电阻率(DC) $\geq 10^{11}\ \Omega\ \text{m}$;涂层冲击功 $\geq 7.8\text{J}$;工作温度范围为-40°C~+150°C;绝缘电阻值:室温 $25\pm 2^\circ\text{C}$,常规湿度RH60 $\pm 3\%$ 条件下DC1000V测量, $R\geq 500$ 兆欧;高湿度RH95 $\pm 3\%$ 条件下DC1000V测量, $R\geq 100$ 兆欧,综合性能优异。

[0018] 2、本发明在复合陶瓷涂层的结构设计上,采用了金属过渡层、陶瓷绝缘层和高分子封闭层,三层结构依次附着、叠加喷涂的方式来进行复合陶瓷涂层的制备。其中,由于陶瓷绝缘层与轴承钢的热膨胀系数和弹性模量均相差悬殊,金属过渡层的设计可起到缓冲作用,以有效降低陶瓷绝缘层与轴承钢之间的热喷涂界面热应力,提高后续待喷涂的陶瓷绝缘层的结合强度,防止起主要绝缘作用的陶瓷绝缘层的剥落,特别是当陶瓷绝缘层的厚度在0.3mm以上时,金属过渡层的缓冲效果更为突出。陶瓷绝缘层本身由 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、TiO₂和CeO₂三种具有不同结构相变特点的粉末物料复配而成,三种粉末物料通过醋酸纤维素粘结剂的结合,在热喷涂附着于金属过渡层表面后,能够相辅相成,有效提高复合陶瓷涂层在环境温度变化和服役温度变化过程中的宽适应性,使其能够满足于海上、陆上等苛刻的服役环境条件。高分子封闭层在陶瓷绝缘层外侧的附着能够有效地对陶瓷绝缘层在加工中产生的微小孔缝进行封堵和填充,使其表面致密、光滑和均一,尤其是当陶瓷绝缘层的厚度较薄时(如陶瓷绝缘层的厚度低于0.3mm),可有效避免其与金属过渡层之间存在的连通孔,以进一

步提高复合陶瓷涂层的耐电气(体积电阻、绝缘电阻、耐电压强度等)性能。复合陶瓷涂层在层层叠加的综合作用下,孔隙率极低,且具有较高的韧性,可以承受7.8J以上的冲击载荷而不开裂、不剥落,使用寿命较长,综合性能优异。

[0019] 3、本发明的复合陶瓷涂层在陶瓷绝缘层原料的选择上,添加了少量的 CeO_2 , CeO_2 作为稀土氧化物在等离子高温喷涂的过程中,能够快速地为粘度较小的液态物质,以有效填充陶瓷绝缘层中熔化效果较差的 $\alpha-Al_2O_3$ 颗粒界面之间的空洞,降低陶瓷绝缘层自身的孔隙率,增强其致密性。同时 CeO_2 稀土氧化物的添加还可以提高陶瓷绝缘层施工时的输入功率可变化范围,具有明显的工艺适应性。

[0020] 4、本发明的复合陶瓷涂层在涂层制备原料的选择上,选择了价格低廉且容易获取的Ni、Al、 $\alpha-Al_2O_3$ 、 TiO_2 和 CeO_2 等物料,这些常见的物料市场供应量大,价格较低,从而降低了成品绝缘轴承的生产成本。

[0021] 5、本发明复合陶瓷涂层的制备工艺,步骤简单、操作方便,复合陶瓷涂层的加工可置入普通电机轴承制造过程的内外轴承套圈精加工工序之后与轴承装配工序之前,适用范围广,且涂层材料及喷涂设备的技术成熟度均较高,适用于工业化大批量生产。

[0022] 6、本发明复合陶瓷涂层的制备工艺在加工的过程中,充分考虑和利用了陶瓷绝缘层在等离子喷涂过程中,复配原料之间发生的结构转变。一方面可以用低廉材料获得高性能电绝缘特性,如喷涂过程中 $\alpha-Al_2O_3$ 粉末熔化,在轴承套圈表面高速沉积和快速冷却后,大部分 $\alpha-Al_2O_3$ 相保留,少部分转变为 $\gamma-Al_2O_3$,形成层状陶瓷绝缘层,丰富其组织结构,降低涂层的结构转变内应力,并使其在喷涂过程中具有良好的自修复能力;另一方面,利用复配原料在热喷涂熔化状态的互溶特性形成固溶体,如 $\alpha-Al_2O_3$ 与 TiO_2 互溶,形成高绝缘性铝硅酸陶瓷系列,能够有效增强陶瓷绝缘层的韧性,提高其在服役过程中的抗冲击能力。

[0023] 7、本发明采用特定配比的物料进行复合陶瓷涂层的制备,考虑的是在电弧喷涂过程中,Ni-9Al合金中的Al可与套圈表面氧化物发生放热反应,起到清除表面残留氧化膜和提高基体温度放热双重效应,改善过渡层与基体之间的结合强度。复配原料按照重量百分比包括95-99wt%的 $\alpha-Al_2O_3$ 、0.2-2.5wt%的 TiO_2 和0.2-2.5wt%的 CeO_2 ,添加特定配比的 TiO_2 、 CeO_2 粉末颗粒,可以通过影响材料的相变过程而改变陶瓷层的化学组成和微观结构,提高形核率,特别是 CeO_2 能够有效减小细化涂层的微观组织,降低绝缘陶瓷涂层的孔隙率。最后,采用醇酸树脂改性有机硅浸渍漆和稀释剂进行封孔处理,进一步提高复合陶瓷涂层的绝缘性能。

具体实施方式

[0024] 为了使专利局的审查员尤其是公众能够更加清楚地理解本发明的技术实质和有益效果,申请人将在下面以实例的方式作详细说明,但是对实施例的描述均不是对本发明方案的限制,任何依据本发明构思所作出的仅仅为形式上的而非实质性的等效变换都应视为本发明的技术方案范畴。

[0025] 一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层,该复合陶瓷涂层加工于环状风力发电机绝缘轴承的内圆周表面和外圆周表面,所述的复合陶瓷涂层包括从内到外依次附着于绝缘轴承表面的金属过渡层、陶瓷绝缘层和高分子封闭层,其中,金属过渡层的厚度为50~100 μm ,该金属过渡层的材料为具有优异粘结性能的自熔性Ni-9Al金属线材,其成分为91wt%

Ni-9Alwt%，规格为直径1.6mm或2.0mm。陶瓷绝缘层的厚度为100~300 μm ，陶瓷绝缘层的喷涂材料为纯度不低于99.95%的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粉末、纯度不低于99.95%的 TiO_2 和纯度不低于99.95%的 CeO_2 粉末，粉末粒度范围均为1.0-5.0 μm ，按 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (95-99wt%)+ TiO_2 (0.2-2.5wt%)+ CeO_2 (0.2-2.5wt%)的比例与混配粉末质量0.3%的醋酸纤维素粘结剂进行混合，经冷冻干燥造粒，得到喷涂用复配原料，以保证陶瓷绝缘层的成分均匀。高分子封闭层的厚度不超过50 μm ，该高分子封闭层的原料为醇酸树脂改性有机硅浸渍漆和专用稀释剂，室温固化沉积于轴承表面。

[0026] 复合陶瓷涂层的制备工艺流程为：1脱脂除油→2烘干→3遮蔽处理→4喷砂→5高速电弧喷涂金属过渡层→6等离子喷涂陶瓷绝缘层→7空气雾化喷涂高分子封闭层→8 涂层表面研磨→9超声波清洗→10烘干→11涂层无损检测→12轴承装配→13检验→14包装入库。

[0027] 复合陶瓷涂层的具体制备方法，包括以下步骤：

1、脱脂除油：以电加热水槽为脱脂装置，采用水基碱性清洗剂，对轴承套圈进行浸渍处理，以去除机械加工造成的油污染。油污对涂层结合强度影响强烈。水基碱性清洗剂配方为：碳酸钠50g/L，硅酸钠45g/L，乳化剂为聚氧乙烯脂肪醇醚（用量1%体积），去离子水1000ml。水基碱性清洗剂的使用温度为70-90 $^{\circ}\text{C}$ ，浸泡时间为5-10min。完成后采用挂水法检验脱脂效果，若水膜在轴承套圈表面连续分布，表明清洗干净。

[0028] 2、烘干：采用电热恒温热风干燥箱进行烘干，温度80-120 $^{\circ}\text{C}$ ，烘干脱脂工序后残留的水迹。

[0029] 3、遮蔽处理：对轴承套圈的非喷涂区域进行遮蔽处理，采用两端带金属端盖的夹具对轴承套圈两侧进行保护，每组5-10个套圈，用带螺纹芯轴连接，端盖用螺母固定。

[0030] 4、喷砂：对内套圈和外套圈的非滚道侧进行喷砂处理。喷砂采用封闭式自循环喷砂机进行，喷砂介质为16-40目棕刚玉砂，喷砂压力0.4-0.6MPa，喷砂距离100-150mm，喷砂角度75-85 $^{\circ}$ ，喷砂时间5-10s/套圈。喷砂处理作用：同时具有除锈与表面粗化，增加涂层界面结合强度的效果。喷砂处理后，基体表面应使用干燥洁净的高压空气吹去表面残余的砂粒及浮尘，然后放置于干净的环境中避免表面受空气中水分和杂质污染及氧化。要求在喷砂处理结束4小时内必须进行热喷涂，超过4小时需重新进行喷砂处理。

[0031] 5、高速电弧喷涂金属过渡层：要求喷砂处理结束后2小时内进行高速电弧喷涂，采用高速电弧喷涂机进行喷涂，以Ni-9Al金属线材为原料，其成分为91wt%Ni-9Alwt%，规格为直径1.6mm或直径2.0mm。高速电弧喷涂的工艺参数：喷涂电压30-35V，喷涂电流170-185A，喷涂距离200-300mm，喷涂角度90 $^{\circ}$ ，喷枪移动速度0.35-0.50m/s。金属过渡层的厚度为50~100 μm 。电弧喷涂过程中，Ni-9Al合金中的Al可与套圈表面氧化物发生放热反应，起到清除表面残留氧化膜和提高基体温度放热双重效应，改善过渡层与基体之间的结合强度。

[0032] 6、等离子喷涂陶瓷绝缘层：在金属过渡层上直接进行陶瓷绝缘层的喷涂，陶瓷绝缘层的喷涂材料为纯度为99.95%的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粉末、纯度为99.95%的 TiO_2 和纯度为99.95%的 CeO_2 粉末，粉末粒度范围均为1.0-5.0 μm ，按混配粉末【 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (95-99wt%)+ TiO_2 (0.2-2.5wt%)+ CeO_2 (0.2-2.5wt%)】的比例与混配粉末质量0.3%的醋酸纤维素粘结剂进行混合，经冷冻干燥机造粒，得到喷涂用复配原料，以保证陶瓷绝缘层成分均匀。采用大气等离子喷涂机进行喷涂，等离子喷涂的工艺参数为：等离子电弧电流500-600A，电弧电压60-

80V,主气流量(Ar+N₂)2-3.6m³/h,辅气流量(H₂)0.40-0.75m³/h,喷涂距离100-150mm,送粉速率30-45g/min,喷枪移动速率0.3-0.6m/s,喷涂角度90°。涂层厚度100~300μm。喷涂过程中α-Al₂O₃粉末熔化,在轴承套圈表面高速沉积和快速冷却后,大部分α-Al₂O₃相保留,少部分转变为γ-Al₂O₃,形成层状陶瓷绝缘层。

[0033] 7、空气雾化喷涂高分子封闭层:喷涂后的陶瓷绝缘层趁其余温尚存时要及时将封孔剂喷涂于其表面,对陶瓷绝缘层表面开口孔隙进行填充,从而起到封闭作用。封孔剂材料为醇酸树脂改性有机硅浸渍漆和专用稀释剂,比例为4:1。采用普通机械喷雾化涂法喷涂于陶瓷绝缘层表面,室温静置10min后取出,再进行10小时静置,即可完全固化。

[0034] 8、涂层表面研磨:用碳化硅细磨砂轮对经封孔处理的涂层表面进行外圆研磨,使高分子封闭层的厚度不超过50μm。

[0035] 9、超声波清洗:采用超声波清洗机进行清洗,采用去离子水作为清洗介质,清洗1-5分钟,清除套圈表面和涂层磨削加工后粘附的固体颗粒。

[0036] 10、烘干:采用电热恒温热风干燥箱进行烘干,温度80-120℃,烘干超声波清洗工序后残留的水迹。

[0037] 11、涂层无损检测:采用超声波探伤仪检查复合陶瓷涂层表面及次表面有无界面开裂、涂层内部层状裂纹、未封闭空洞等缺陷。

[0038] 12、轴承装配:按照普通轴承装配标准程序进行装配,注意不要损伤轴承套圈非滚道表面的复合电绝缘涂层。

[0039] 13、检验:对轴承成品按企业或国家技术标准进行检验。因电绝缘滚动轴承的特殊性,要求100%检验,检验合格后进行包装。

[0040] 14、包装入库:根据电绝缘滚动轴承尺寸,进行单件或多件装箱包装,做好防锈和防碰撞保护。

[0041] 本发明与已有技术相比,提供的复合陶瓷涂层材料及其制备方法简单可行,可置入普通电机轴承制造过程的内外轴承套圈精加工工序之后与轴承装配工序之前,涂层材料及喷涂设备技术成熟度高。通过在轴承内外圈非滚道部分喷涂金属-陶瓷-高分子封闭层复合陶瓷涂层,使得滚动轴承具有了良好的电绝缘性和绝缘强度,可以抵抗电机,特别是风机高速电机轴承服役中的轴电流腐蚀,避免损害轴承及润滑油。另外本发明提供的制备技术适合于工业化批量生产。

[0042] 本发明制备的绝缘轴承的主要用于在苛刻环境条件下服役的各类铁路、风电、矿山电机绝缘轴承。

[0043] 实施例1

本实施例的一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层,是在普通轴承的内圆周表面和外圆周表面均加工复合陶瓷涂层,复合陶瓷涂层包括从内到外依次附着于轴承表面的金属过渡层、陶瓷绝缘层和高分子封闭层,其中,金属过渡层的厚度为70μm,其材料为规格为直径2mm,成分为91wt%Ni-9Alwt%的Ni-9Al金属线材;陶瓷绝缘层的厚度为120μm,其材料为纯度均不低于99.95%、粉末粒度范围均为1.0-5.0μm的α-Al₂O₃粉末、TiO₂粉末和CeO₂粉末,三者之间的配比为98wt% α-Al₂O₃+1.8 wt% TiO₂+0.2wt% CeO₂,混合粉末使用时要与其质量0.3%的醋酸纤维素粘结剂混合,经冷冻干燥造粒后得到喷涂用复配原料;高分子封闭层的厚度为30μm,其材料是体积比为4:1的醇酸树脂改性有机硅浸渍漆和专用稀释剂。

[0044] 其具体的制备方法,包括以下步骤:

1、脱脂除油:电加热水槽内放入配方为碳酸钠50g/L,硅酸钠45g/L,乳化剂为聚氧乙烯脂肪醇醚(用量1%体积),去离子水1000ml的水基碱性清洗剂,开启电加热水槽,使其内部水基碱性清洗剂的温度升高至75℃,将轴承套圈放入其中进行浸渍去油处理,浸泡时间为8min。完成后采用挂水法检验脱脂效果,若水膜在轴承套圈表面连续分布,表明清洗干净。

[0045] 2、烘干:采用电热恒温热风干燥箱进行烘干,烘干温度为110℃,烘干脱脂工序后残留的水迹。

[0046] 3、遮蔽处理:对轴承套圈的非喷涂区域进行遮蔽处理,采用两端带金属端盖的夹具对轴承套圈两侧进行保护,每组5-10个套圈,用带螺纹芯轴连接,端盖用螺母固定。

[0047] 4、喷砂:采用封闭式自循环喷砂机对内套圈和外套圈的非滚道侧进行喷砂处理。处理时的喷砂介质为30目棕刚玉砂,喷砂压力0.45MPa,喷砂距离110mm,喷砂角度75°,喷砂时间8s/套圈。喷砂处理后,使用干燥洁净的高压空气吹去基体表面残余的砂粒及浮尘,然后放置于干净的环境中避免表面受空气中水分和杂质污染及氧化。

[0048] 5、高速电弧喷涂金属过渡层:采用高速电弧喷涂机,在喷砂处理结束后4小时内进行高速电弧喷涂,喷涂时以直径2mm的Ni-9Al金属线材为原料,工艺参数设定为:喷涂电压31V,喷涂电流170A,喷涂距离230mm,喷涂角度90°,喷枪移动速度0.35m/s,喷涂得到厚度为70μm的金属过渡层。

[0049] 6、等离子喷涂陶瓷绝缘层:采用纯度均不低于99.95%、粒度范围均为1.0-5.0μm的 α -Al₂O₃粉末、TiO₂粉末和CeO₂粉末为原料,按照98wt% α -Al₂O₃+1.8 wt% TiO₂+0.2wt% CeO₂的比例,取混合粉末与其质量0.3%的醋酸纤维素粘结剂进行混合,经冷冻干燥机造粒后,得到喷涂用复配原料。采用大气等离子喷涂机,设定工艺参数为:等离子电弧电流520A,电弧电压70V,主气流量(Ar+N₂) 3.5m³/h,辅气流量(H₂) 0.55m³/h,喷涂距离100mm,送粉速率38g/min,喷枪移动速率0.6m/s,喷涂角度90°,喷涂得到厚度为0.1mm的陶瓷绝缘层。

[0050] 7、空气雾化喷涂高分子封闭层:取体积比为4:1的醇酸树脂改性有机硅浸渍漆和专用稀释剂调配成封孔剂,采用普通机械雾化涂法,在陶瓷绝缘层余温尚存时将封孔剂喷涂于陶瓷绝缘层表面,室温静置10min后取出,再进行10小时静置,使其完全固化。

[0051] 8、涂层表面研磨:用碳化硅细磨砂轮对经封孔处理的涂层表面进行外圆研磨,使高分子封闭层的厚度为设定值。

[0052] 9、超声波清洗:以去离子水作为清洗介质,采用超声波清洗机进行清洗1-5min,清除套圈表面和涂层磨削加工后粘附的固体颗粒。

[0053] 10、烘干:采用电热恒温热风干燥箱于100℃温度条件下进行烘干,以烘干超声波清洗工序后残留的水迹。

[0054] 11、涂层无损检测:采用超声波探伤仪检查复合陶瓷涂层表面及次表面有无界面开裂、涂层内部层状裂纹、未封闭空洞等缺陷。

[0055] 12、轴承装配:按照普通轴承装配标准程序进行装配,注意不要损伤轴承套圈非滚道表面的复合电绝缘涂层。

[0056] 13、检验:对轴承成品按企业或国家技术标准进行检验。因电绝缘滚动轴承的特殊性,要求100%检验,检验合格后进行包装。

[0057] 14、包装入库：根据电绝缘滚动轴承尺寸，进行单件或多件装箱包装，做好防锈和防碰撞保护。

[0058] 对本实施例制备的绝缘轴承进行复合陶瓷涂层的性能测定，测得其结合强度为26.5MPa；孔隙率2.08%；电气强度19.6 kV/mm；交流极限耐压值：50Hz，4869V；体积电阻率(DC) $1.54 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{m}$ ；涂层冲击功11.3J；工作温度范围： $-40^\circ\text{C} \sim +150^\circ\text{C}$ ；绝缘电阻值：室温 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ，常规湿度RH60 \pm 3%条件下DC1000V测量，R=510兆欧；高湿度RH95 \pm 3%条件下DC1000V测量，R=103兆欧。

[0059] 实施例2

本实施例的一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层，是在普通轴承的内圆周表面和外圆周表面均加工复合陶瓷涂层，复合陶瓷涂层包括从内到外依次附着于轴承表面的金属过渡层、陶瓷绝缘层和高分子封闭层，其中，金属过渡层的厚度为50 μm ，其材料为规格为直径1.6mm，成分为91wt%Ni-9Alwt%的Ni-9Al金属线材；陶瓷绝缘层的厚度为100 μm ，其材料为纯度均不低于99.95%、粉末粒度范围均为1.0-5.0 μm 的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粉末、 TiO_2 粉末和 CeO_2 粉末，三者之间的配比为99wt% $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ +0.2wt% TiO_2 +0.8wt% CeO_2 ，混合粉末使用时要与其质量0.3%的醋酸纤维素粘结剂混合，经冷冻干燥造粒后得到喷涂用复配原料；高分子封闭层的厚度为50 μm ，其材料是体积比为4:1的醇酸树脂改性有机硅浸渍漆和专用稀释剂。

[0060] 其具体的制备方法，包括以下步骤：

1、脱脂除油：本步骤与实施例1一致，仅浸渍去油处理时的温度为70 $^\circ\text{C}$ ，浸泡时间为8min。

[0061] 2、烘干：本步骤与实施例1一致，仅烘干温度设定为120 $^\circ\text{C}$ 。

[0062] 3、遮蔽处理：本步骤与实施例1一致。

[0063] 4、喷砂：本步骤与实施例1一致，仅喷砂处理时采用的喷砂介质为16目棕刚玉砂，喷砂压力0.5MPa，喷砂距离120mm，喷砂角度70 $^\circ$ ，喷砂时间5s/套圈。

[0064] 5、高速电弧喷涂金属过渡层：采用高速电弧喷涂机，在喷砂处理结束后4小时内进行高速电弧喷涂，喷涂时以直径1.6mm的Ni-9Al金属线材为原料，工艺参数设定为：喷涂电压33V，喷涂电流175A，喷涂距离240mm，喷涂角度90 $^\circ$ ，喷枪移动速度0.40m/s，喷涂得到厚度为50 μm 的金属过渡层。

[0065] 6、等离子喷涂陶瓷绝缘层：采用纯度均不低于99.95%、粒度范围均为1.0-5.0 μm 的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粉末、 TiO_2 粉末和 CeO_2 粉末为原料，按照99wt% $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ +0.2wt% TiO_2 +0.8wt% CeO_2 的比例，取混合粉末与其质量0.3%的醋酸纤维素粘结剂进行混合，经冷冻干燥机造粒后，得到喷涂用复配原料。采用大气等离子喷涂机，设定工艺参数为：等离子电弧电流500A，电弧电压65V，主气流量($\text{Ar}+\text{N}_2$) 3.6 m^3/h ，辅气流量(H_2)0.45 m^3/h ，喷涂距离120mm，送粉速率40g/min，喷枪移动速率0.4m/s，喷涂角度90 $^\circ$ ，喷涂得到厚度为100 μm 的陶瓷绝缘层。

[0066] 后续的步骤7-14均与实施例1一致。

[0067] 对本实施例制备的绝缘轴承进行复合陶瓷涂层的性能测定，测得其结合强度为33.1MPa；孔隙率2.39%；电气强度22.8 kV/mm；交流极限耐压值：50Hz，3256V；体积电阻率(DC) $1.69 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{m}$ ；涂层冲击功10.2J；工作温度范围： $-40^\circ\text{C} \sim +150^\circ\text{C}$ ；绝缘电阻值：室温 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ，常规湿度RH60 \pm 3%条件下DC1000V测量，R=505兆欧；高湿度RH95 \pm 3%条件下DC1000V测量，R=106兆欧。

[0068] 实施例3

本实施例的一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层,是在普通轴承的内圆周表面和外圆周表面均加工复合陶瓷涂层,复合陶瓷涂层包括从内到外依次附着于轴承表面的金属过渡层、陶瓷绝缘层和高分子封闭层,其中,金属过渡层的厚度为100 μm ,其材料为规格为直径2mm,成分为91wt%Ni-9Alwt%的Ni-9Al金属线材;陶瓷绝缘层的厚度为200 μm ,其材料为纯度均不低于99.95%、粉末粒度范围均为1.0-5.0 μm 的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粉末、 TiO_2 粉末和 CeO_2 粉末,三者之间的配比为97.4wt% $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ +2.4wt% TiO_2 +0.2wt% CeO_2 ,混合粉末使用时要与其质量0.3%的醋酸纤维素粘结剂混合,经冷冻干燥造粒后得到喷涂用复配原料;高分子封闭层的厚度为40 μm ,其材料是体积比为4:1的醇酸树脂改性有机硅浸渍漆和专用稀释剂。

[0069] 其具体的制备方法,包括以下步骤:

1、脱脂除油:本步骤与实施例1一致,仅浸渍去油处理时的温度为90 $^{\circ}\text{C}$,浸泡时间为7min。

[0070] 2、烘干:本步骤与实施例1一致,仅烘干温度设定为80 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0071] 3、遮蔽处理:本步骤与实施例1一致。

[0072] 4、喷砂:本步骤与实施例1一致,仅喷砂处理时采用的喷砂介质为40目棕刚玉砂,喷砂压力0.4MPa,喷砂距离150mm,喷砂角度85 $^{\circ}$,喷砂时间7s/套圈。

[0073] 5、高速电弧喷涂金属过渡层:采用高速电弧喷涂机,在喷砂处理结束后4小时内进行高速电弧喷涂,喷涂时以直径2mm的Ni-9Al金属线材为原料,工艺参数设定为:喷涂电压30V,喷涂电流185A,喷涂距离250mm,喷涂角度90 $^{\circ}$,喷枪移动速度0.45m/s,喷涂得到厚度为100 μm 的金属过渡层。

[0074] 6、等离子喷涂陶瓷绝缘层:采用纯度均不低于99.95%、粒度范围均为1.0-5.0 μm 的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粉末、 TiO_2 粉末和 CeO_2 粉末为原料,按照97.4wt% $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ +2.4wt% TiO_2 +0.2wt% CeO_2 的比例,取混合粉末与其质量0.3%的醋酸纤维素粘结剂进行混合,经冷冻干燥机造粒后,得到喷涂用复配原料。采用大气等离子喷涂机,设定工艺参数为:等离子电弧电流550A,电弧电压60V,主气流量($\text{Ar}+\text{N}_2$) 3.0 m^3/h ,辅气流量(H_2)0.75 m^3/h ,喷涂距离150mm,送粉速率45g/min,喷枪移动速率0.3m/s,喷涂角度90 $^{\circ}$,喷涂得到厚度为200 μm 的陶瓷绝缘层。

[0075] 后续的步骤7-14均与实施例1一致。

[0076] 对本实施例制备的绝缘轴承进行复合陶瓷涂层的性能测定,测得其结合强度为22.8MPa;孔隙率1.43%;电气强度26.9 kV/mm;交流极限耐压值:50Hz,2896V;体积电阻率(DC)1.38 $\times 10^{11}$ Ωm ;涂层冲击功9.6J;工作温度范围:-40 $^{\circ}\text{C}$ ~+150 $^{\circ}\text{C}$;绝缘电阻值:室温25 $\pm 2^{\circ}\text{C}$,常规湿度RH60 $\pm 3\%$ 条件下DC1000V测量,R=512兆欧;高湿度RH95 $\pm 3\%$ 条件下DC1000V测量,R=107兆欧。

[0077] 实施例4

本实施例的一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层,是在普通轴承的内圆周表面和外圆周表面均加工复合陶瓷涂层,复合陶瓷涂层包括从内到外依次附着于轴承表面的金属过渡层、陶瓷绝缘层和高分子封闭层,其中,金属过渡层的厚度为60 μm ,其材料为规格为直径1.6mm,成分为91wt%Ni-9Alwt%的Ni-9Al金属线材;陶瓷绝缘层的厚度为300 μm ,其材料为纯度均不低于99.95%、粉末粒度范围均为1.0-5.0 μm 的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粉末、 TiO_2 粉末和 CeO_2 粉末,三者之间的配比为97wt% $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ +2.1wt% TiO_2 +0.9wt% CeO_2 ,混合粉末使用时要与其

质量0.3%的醋酸纤维素粘结剂混合,经冷冻干燥造粒后得到喷涂用复配原料;高分子封闭层的厚度为30 μm ,其材料是体积比为4:1的醇酸树脂改性有机硅浸渍漆和专用稀释剂。

[0078] 其具体的制备方法,包括以下步骤:

1、脱脂除油:本步骤与实施例1一致,仅浸渍去油处理时的温度为80 $^{\circ}\text{C}$,浸泡时间为5min。

[0079] 2、烘干:本步骤与实施例1一致,仅烘干温度设定为110 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0080] 3、遮蔽处理:本步骤与实施例1一致。

[0081] 4、喷砂:本步骤与实施例1一致,仅喷砂处理时采用的喷砂介质为20目棕刚玉砂,喷砂压力0.6MPa,喷砂距离100mm,喷砂角度80 $^{\circ}$,喷砂时间10s/套圈。

[0082] 5、高速电弧喷涂金属过渡层:采用高速电弧喷涂机,在喷砂处理结束后4小时内进行高速电弧喷涂,喷涂时以直径1.6mm的Ni-9Al金属线材为原料,工艺参数设定为:喷涂电压32V,喷涂电流180A,喷涂距离300mm,喷涂角度90 $^{\circ}$,喷枪移动速度0.5m/s,喷涂得到厚度为60 μm 的金属过渡层。

[0083] 6、等离子喷涂陶瓷绝缘层:采用纯度均不低于99.95%、粒度范围均为1.0-5.0 μm 的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粉末、 TiO_2 粉末和 CeO_2 粉末为原料,按照97wt% $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ +2.1wt% TiO_2 +0.9wt% CeO_2 的比例,取混合粉末与其质量0.3%的醋酸纤维素粘结剂进行混合,经冷冻干燥机造粒后,得到喷涂用复配原料。采用大气等离子喷涂机,设定工艺参数为:等离子电弧电流600A,电弧电压80V,主气流量($\text{Ar}+\text{N}_2$) 2.2 m^3/h ,辅气流量(H_2) 0.4 m^3/h ,喷涂距离110mm,送粉速率30g/min,喷枪移动速率0.5m/s,喷涂角度90 $^{\circ}$,喷涂得到厚度为300 μm 的陶瓷绝缘层。

[0084] 后续的步骤7-14均与实施例1一致。

[0085] 对本实施例制备的绝缘轴承进行复合陶瓷涂层的性能测定,测得其结合强度为19.9MPa;孔隙率1.65%;电气强度23.5kV/mm;交流极限耐压值:50Hz,4125V;体积电阻率(DC) $2.15 \times 10^{11} \Omega \text{m}$;涂层冲击功8.1J;工作温度范围:-40 $^{\circ}\text{C}$ ~+150 $^{\circ}\text{C}$;绝缘电阻值:室温25 $\pm 2^{\circ}\text{C}$,常规湿度RH60 $\pm 3\%$ 条件下DC1000V测量,R=509兆欧;高湿度RH95 $\pm 3\%$ 条件下DC1000V测量,R=101兆欧。

[0086] 实施例5

本实施例的一种风力发电机绝缘轴承用复合陶瓷涂层,是在普通轴承的内圆周表面和外圆周表面均加工复合陶瓷涂层,复合陶瓷涂层包括从内到外依次附着于轴承表面的金属过渡层、陶瓷绝缘层和高分子封闭层,其中,金属过渡层的厚度为80 μm ,其材料为规格为直径2mm,成分为91wt%Ni-9Alwt%的Ni-9Al金属线材;陶瓷绝缘层的厚度为260 μm ,其材料为纯度均不低于99.95%、粉末粒度范围均为1.0-5.0 μm 的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粉末、 TiO_2 粉末和 CeO_2 粉末,三者之间的配比为95wt% $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ +2.5wt% TiO_2 +2.5wt% CeO_2 ,混合粉末使用时要与其质量0.3%的醋酸纤维素粘结剂混合,经冷冻干燥造粒后得到喷涂用复配原料;高分子封闭层的厚度为50 μm ,其材料是体积比为4:1的醇酸树脂改性有机硅浸渍漆和专用稀释剂。

[0087] 其具体的制备方法,包括以下步骤:

1、脱脂除油:本步骤与实施例1一致,仅浸渍去油处理时的温度为75 $^{\circ}\text{C}$,浸泡时间为10min。

[0088] 2、烘干:本步骤与实施例1一致,仅烘干温度设定为100 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0089] 3、遮蔽处理:本步骤与实施例1一致。

[0090] 4、喷砂：本步骤与实施例1一致，仅喷砂处理时采用的喷砂介质为30目棕刚玉砂，喷砂压力0.5MPa，喷砂距离120mm，喷砂角度75°，喷砂时间8s/套圈。

[0091] 5、高速电弧喷涂金属过渡层：采用高速电弧喷涂机，在喷砂处理结束后4小时内进行高速电弧喷涂，喷涂时以直径2mm的Ni-9Al金属线材为原料，工艺参数设定为：喷涂电压35V，喷涂电流185A，喷涂距离200mm，喷涂角度90°，喷枪移动速度0.5m/s，喷涂得到厚度为80μm的金属过渡层。

[0092] 6、等离子喷涂陶瓷绝缘层：采用纯度均不低于99.95%、粒度范围均为1.0-5.0μm的 α -Al₂O₃粉末、TiO₂粉末和CeO₂粉末为原料，按照95wt% α -Al₂O₃+2.5wt% TiO₂+2.5wt% CeO₂的比例，取混合粉末与其质量0.3%的醋酸纤维素粘结剂进行混合，经冷冻干燥机造粒后，得到喷涂用复配原料。采用大气等离子喷涂机，设定工艺参数为：等离子电弧电流560A，电弧电压75V，主气流量(Ar+N₂) 2.0m³/h，辅气流量(H₂) 0.5m³/h，喷涂距离130mm，送粉速率35g/min，喷枪移动速率0.6m/s，喷涂角度90°，喷涂得到厚度为260μm的陶瓷绝缘层。

[0093] 后续的步骤7-14均与实施例1一致。

[0094] 对本实施例制备的绝缘轴承进行复合陶瓷涂层的性能测定，测得其结合强度为29.2MPa；孔隙率2.1%；电气强度27.1 kV/mm；交流极限耐压值：50Hz，3581V；体积电阻率(DC) $2.23 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{m}$ ；涂层冲击功9.3J；工作温度范围：-40℃~+150℃；绝缘电阻值：室温25±2℃，常规湿度RH60±3%条件下DC1000V测量，R=519兆欧；高湿度RH95±3%条件下DC1000V测量，R=112兆欧。

[0095] 上述实施例仅仅是为清楚地说明本发明创造所作的举例，而并非对本发明创造具体实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说，在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。而由此所引申出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造权利要求的保护范围之内。