《发动机零件低摩擦类金刚石薄膜技术条件》编制说明

**一、工作简况**

1.1 任务来源

《发动机零件低摩擦类金刚石薄膜技术条件》团体标准是由中国汽车工程学会批准立项。文件号中汽学函【2018】56号，任务号为2018-3：。本标准由中国汽车工程学会防腐蚀与老化分会提出，中国科学院兰州化学物理研究所，中国第一汽车集团有限公司，重庆长安汽车股份有限公司，上汽大众汽车有限公司，众泰汽车工程研究院，北京海纳川汽车部件股份有限公司，上海菲瑟汽车技术服务有限公司，重庆大学，深圳恒邦新创科技有限公司，衡阳舜达精工科技有限公司，舍弗勒贸易（上海）有限公司，宏正（福建）化学品有限公司、常州博瑞油泵油嘴有限公司、南岳电控（衡阳）工业技术股份有限公司、上海福宜真空设备有限公司等单位起草。

1.2编制背景与目标

本标准是基于中国科学院兰州化学物理研究所

摩擦消耗掉全世界约1/3的一次能源，磨损致使大约60%的机器零部件失效。我国高端装备面临的共性问题是可靠性差、寿命短，主要原因之一是运动部件的摩擦磨损问题。因此，摩擦是机械系统的关键共性问题，低摩擦技术是机械系统的关键共性技术。发动机作为机械系统的典型代表，几乎涉及了所有的机械运动形式。有报告指出：低摩擦技术的应用有望降低摩擦18-60%。国际能源署、美国能源部将低摩擦技术列为重点发展技术。国务院相关规划（国务院“节能与新能源汽车产业发展规划”（2012―2020年）（国发〔2012〕22号），《国务院办公厅关于加强内燃机工业节能减排的意见》（国办发〔2013〕12号））强调发展低摩擦技术。

类金刚石薄膜是现有固体润滑薄膜中摩擦系数和磨损率最低的薄膜之一。在国家863、国家973、国防973、国家自然科学基金和中科院重大科技成果转化等项目的持续支持下，中国科学院兰州化学物理研究所历经10年产学研用联合攻关，取得了类金刚石薄膜的在汽车发动机上批量化应用。本技术文件规范“发动机零件低摩擦类金刚石薄膜技术条件”旨在提高我国发动机制造企业及相关配套企业的技术水平和竞争力，指导类金刚石薄膜在发动机领域的研发、应用，提高我国发动机技术水平和行业竞争力。

1.3主要工作过程

本标准于2017年11月开始标准学习；2017年11月到2018年1月份进行了标准相关的试验操作工作；2018年2月至5月进行了标准编写工作；2018年5月份至10月份对标准进行了申报、修改及讨论。预计2018年12月底之前完成标准的公布工作。

2018年5月22日在上海召开了“发动机零件低摩擦类金刚石薄膜技术条件”的启动会，会议上由中国科学院兰州化学物理研究所对本标准的任务来源、技术内容、编制说明等进行了简要介绍，并宣布成立标准起草组。各起草人对本标准的内容逐字逐句地进行了积极热烈的讨论，形成了征求意见处理汇总处理表，其中大部分意见被予以采纳和接受。

2018年9月7日，形成征求意见稿并公开征求意见，通过征求意见稿评审会。

2018年10月8日，起草组根据反馈意见进行修改后形成标准送审稿。

2018年12月4日，拟在西安召开标准审查会。

**二、标准编制原则和主要内容**

2.1标准制定原则

在标准的编制过程中，对行业相关的技术信息进行了调研，分析主要技术内容，在充分总结和比较了国内外类金刚石薄膜测试方法标准、调研了国内外对类金刚石薄膜分析的试验方法的基础上，参考了《ISO 25178.2-2012 表面性状（表面粗糙度测量）》、《GB/T 30707-2014 精细陶瓷涂层结合力试验方法 划痕法》、《GB/T 10125-2012 人造气氛腐蚀试验盐雾试验》、《GB/T 17754-2012 摩擦学术语》、《GB/T 1031-2009 表面结构轮廓法 表面粗糙度参数及其数值》、《GB/T 230.1-2009 金属材料 洛氏硬度试验》、《GB/T 191-2008 包装储运图示标志》、《GB/T 10587-2006 盐雾试验箱技术条件》、《GB/T 6461-2005腐蚀后试样及评级》、《JB/T 7707-1995离子镀硬膜厚度试验方法球磨法》。本标准对发动机零件低摩擦类金刚石薄膜技术条件利用氧弹设备将电线电缆用聚合物材料充分燃烧、产生的烟雾以溶液的方式充分吸收、经过一系列处理之后采用离子色谱仪进行测试等方面作了较详细的规定，以确保卤素含量测试的准确性及实现不同卤素含量的连续自动检测。

2.1.1通用性原则

本标准提出的发动机零件低摩擦类金刚石薄膜技术条件不仅适用于发动机各类零部件，包括金属材质、工程塑料等表面类金刚石薄膜等的质量控制、性能检测、工艺验证等，对于汽车其它类零部件，相似环境下的零部件表面类金刚石薄膜应用亦可参照使用，通用性高。

2.1.2指导性原则

本标准提出的发动机零件低摩擦类金刚石薄膜技术条件能为类金刚石薄膜提供指导作用。目前没有类金刚石薄膜在发动机零件上应用相关技术规范。

2.1.3协调性原则

本标准提出的技术条件与目前使用的国家标准中的方法协调统一、互不交叉。仅作为一种更便捷、精确度更高、更高效的方法对目前使用的方法进行补充。

2.1.4兼容性原则

本标准提出的低摩擦类金刚石薄膜技术条件充分考虑了发动机零件所用到的金属材质、工程塑料等，具有普遍适用性。

2.2 标准主要技术内容

本标准共分为7章，规定了本标准规定了发动机零件低摩擦类金刚石薄膜分类标识、技术要求及试验方法等。内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、技术要求和试验方法、试验报告、包装与交付等。

2.3关键技术问题说明

本标准提出的方法首先对类金刚石薄膜进行分类，根据薄膜①结构：非晶碳/四面体碳/类富勒烯碳②含氢/不含氢③金属掺杂/非金属掺杂等原则分为13类。其次对不同基底表面及不同类金刚石薄膜进行了技术条件的规范。如表1

表1. 不同类金刚石薄膜的技术要求

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 薄膜 | 掺杂异质元素含量 | 厚度（nm） | 纳米硬度（单位） | 粗糙度（nm） | 腐蚀性能 | 结合力 | 摩擦系数 |
| 塑料/橡胶表面 | 金属/陶瓷表面 | 硅片表面 | 工件表面 | 实际镀膜工件 | 压痕法 | 划痕法 |
| a-C | Me≤25% | ≥300nm | ≥1500nm | ≤40GPa | ≤30nm | ≤工件表面粗糙度 | >100小时 | 上述方法仅满足在金属或者陶瓷表面镀膜的情况，可根据客户要求进行。划痕法测定的数据强烈依赖于基材的硬度，硬度越低，划痕法测试获得的数值越小，压痕法只能获得相对的结果，测试方法参照GB/T 2848-92进行，满足HF1-HF3为合格产品。建议以压痕法为主，划痕法为辅。 | 金属基底>50N | ≤0.15 |
| a-C: Me | Me≤25% | ≥300nm | ≥1500nm | ≤40GPa | ≤30nm | ≤0.15 |
| a-C: X | X≤25% | ≥300nm | ≥1500nm | ≤40GPa | ≤30nm | ≤0.15 |
| a-C: H | H≤40% | ≥300nm | ≥1500nm | ≤40GPa | ≤30nm | ≤0.10 |
| a-C: H:Me | Me≤25%；H≤40% | ≥300nm | ≥1500nm | ≤40GPa | ≤30nm | ≤0.10 |
| a-C: H:X | X≤25%；H≤40% | ≥300nm | ≥1500nm | ≤40GPa | ≤30nm | ≤0.10 |
| ta-C | Me/X≤25% | ≥150nm | ≥800nm | ≥40GPa | ≤30nm | ≤0.15 |
| ta-C: Me | Me≤25% | ≥150nm | ≥800nm | ≥40GPa | ≤30nm | ≤0.15 |
| ta-C: X | X≤25% | ≥150nm | ≥800nm | ≥40GPa | ≤30nm | ≤0.15 |
| ta-C: H | H≤20% | ≥150nm | ≥800nm | ≥40GPa | ≤30nm | ≤0.12 |
| ta-C: H:Me | Me≤25%；H≤20% | ≥150nm | ≥800nm | ≥40GPa | ≤30nm | ≤0.12 |
| ta-C: H:X | X≤25%；H≤20% | ≥150nm | ≥800nm | ≥40GPa | ≤30nm | ≤0.12 |
| FL-C:H | H≤40% | ≥300nm | ≥1500nm | ≤40GPa | ≤30nm | <0.01 |

表1显示，发动机零件低摩擦类金刚石薄膜在不同基底表面具有低摩擦系数，高纳米硬度。同时规定了类金刚石薄膜在不同发动机零件基底表面的厚度、结合力、粗糙度、摩擦系数等技术规范。

2.4标准主要内容的论据

根据各汽车制造商、发动机零件企业在发动机过程中对低摩擦类金刚石薄膜应用的总结，结合我国目前我国发动机低摩擦技术的发展情况，本技术文件提出了类金刚石薄膜的基本分类和性能参考条件，归纳了测试方法和适用表面等基本技术信息。如在测定摩擦系数时，规定了试验尺寸(*Φ*45 mm×8 mm或*Φ*30 mm×5 mm)，摩擦偶件条件（为G10级9Cr18钢球，*HRC*≥58，直径为(8.000 ± 0.010) mm，球面无缺陷、清洁、干燥，钢球与盘的摩擦轨迹的直径*d*为20 mm）、测试条件（室温大气环境，湿度不大于60 %RH；法向载荷为5.00 N，转盘转速为(1000±2) r/min，即线速度(1.047 ± 0.002) m/s；球固定不动。）、测试程序（施加载荷，在1 min内将盘转速升至预定值，连续测量并记录摩擦力，当摩擦系数增大至0.15时，判为溅射低摩擦类金刚石薄膜膜层润滑失效，终止摩擦试验；取试验开始后1 min内摩擦系数最高值为启动摩擦系数μd0； 取其稳定段的平均值为稳定段摩擦系数μd，取低摩擦类金刚石薄膜溅射膜润滑失效前的累计转数为摩擦寿命。）

2.5标准工作基础

编写组主要起草单位中国科学院兰州化学物理研究所具备完整的类金刚石薄膜检测能力。其中就包括该项目中涉及的《ISO 25178.2-2012 表面性状（表面粗糙度测量）》、《GB/T 30707-2014 精细陶瓷涂层结合力试验方法 划痕法》、《GB/T 1031-2009 表面结构轮廓法 表面粗糙度参数及其数值》、《GB/T 230.1-2009 金属材料 洛氏硬度试验》、《JB/T 7707-1995离子镀硬膜厚度试验方法球磨法》。积累了大量的试验数据，其检测过程及结果得到了众多专家的认可。自项目开展以来，在国际标准、国外先进标准的ASTM G77-2005(2010)摩擦系数测定、ASTM C1624-2005(2010)结合力测定等技术研究上也投入了大量的精力，并取得了阶段性的成果。经过大量的对比技术指标，本标准提出的准确度更高且技术参数更全，本标准具有一定的先进性、通用性、科学性和可操作性。

**三、主要试验（或验证）情况分析**

1）本技术条件要求全面，覆盖了类金刚石薄膜可应用的参数要求；

2）本技术条件对类金刚石薄膜进行了归类总结，根据薄膜①结构：非晶碳/四面体碳/类富勒烯碳②含氢/不含氢③金属掺杂/非金属掺杂等原则分为13类；

3）本标准提出了类金刚石薄膜技术要求，包括粗糙度、厚度、耐蚀性能、纳米硬度、结合力、摩擦系数和磨损率等；

4）本标准提出了发动机零件表面在镀类金刚石薄膜前处理要求；

5）本标准准确性高，经过验证，极大地类金刚石薄膜应用条件的全面性。

综上所述，本标准提出的方法对于发动机零件低摩擦类金刚石薄膜技术条件有良好的指导性，是类金刚石薄膜工程应用标准的新选择。

**四、标准中涉及专利的情况**

本标准未涉及专利。

**五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用的情况**

本技术文件规范“发动机零件低摩擦类金刚石薄膜技术条件”旨在提高我国发动机制造企业及相关配套企业的技术水平和竞争力，指导类金刚石薄膜在发动机领域的研发、应用，提高我国发动机技术水平和行业竞争力。

当前，我国尚无“发动机零件低摩擦类金刚石薄膜技术条件”，国内各发动机、共轨系统生产、设计企业形成合力编制的、适用于中国汽车市场需求的“规范”，有利于从而解决目前面临的共性问题，“规范”侧重发动机用低摩擦类金刚石薄膜的应用技术条件，对与发动机相关的类金刚石进行分类描述，规范了测试方法和参考标准，体现“规范”的实用性。在大家合力、决心完善我国发动机低摩擦类金刚石薄膜应用技术条件的编制思路下，该技术文件将促进发动机低摩擦事业取得的进步、利于产业相关技术经验的积累与传承，推动我国发动机技术的持续发展。

**六、采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况，国内外关键指标对比分析或与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况**

尚无。

**七、在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性**

本标准符合国家有关法律、法规和相关强制性标准的要求，与现行的国家标准、行业标准相协调。

**八、重大分歧意见的处理经过和依据**

尚无。

**九、标准性质的建议说明**

本标准为中国汽车工程学会标准，属于团体标准,供协会会员和社会自愿使用。

**十、贯彻标准的要求和措施建议**

严格按照本标准提出的试验方法对材料的卤素含量进行检测，对试验人员进行理论学习和操作培训，保证检测方法操作的准确性。

**十一、废止现行相关标准的建议**

无。

**十二、其他应予说明的事项**

无。

标准起草工作组

2018年10月8日

**（注：具体内容可以结合项目本身撰写，如不涉及的可填写无）**