

团体标准

T/CSAEXX—2019

发动机零件低摩擦类金刚石薄膜技术条件

Technical conditions of low friction diamond-like films for engine parts

(报批稿)

2019-xx-xx 发布

2019-xx-xx 实施

中国汽车工程学会发布

目 录

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 分类及标识.....	1
5 技术要求与试验方法.....	2
5.1 类金刚石薄膜技术要求.....	2
5.2 粗糙度.....	3
5.3 厚度.....	4
5.4 腐蚀性能.....	4
5.5 纳米硬度.....	4
5.6 结合力.....	5
5.7 摩擦系数.....	5
5.8 磨损率.....	6
6 试验报告.....	6
7 包装与交付.....	7
7.1 文件.....	7
7.2 合格证或质量证明.....	7
7.3 包装.....	7
7.4 运输.....	7
7.5 贮存.....	8
参考文献.....	9
附录 A 镀膜前处理.....	10
附录 B 需方向薄膜生产方提供的资料.....	11
附录 C 工件镀膜前处理技术要求.....	12
附录 D 压痕结合力参考对照表.....	13

前 言

本标准按照GB/T1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国汽车工程学会提出并归口。

本标准起草单位：中国科学院兰州化学物理研究所、重庆长安汽车股份有限公司、一汽解放汽车有限公司、常州博瑞油泵油嘴有限公司、上汽大众汽车有限公司、南岳电控（衡阳）工业技术股份有限公司、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（上海）有限公司、宏正（福建）化学品有限公司。

本标准起草人：张斌、黄平、张俊彦、高凯雄、米新艳、汤志明、姚翔宇、唐迎春、强力、龙美彪、张菊香、安宇鹏、熊建民、苏一畅、龚珍彬、叶胜华、孙德恩、李军、赵晓宏、叶金堆、韦剑飞、褚家宝、王昱昕、李贵康。

发动机零件低摩擦类金刚石薄膜技术条件

1 范围

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。

本标准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。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- 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/T6461-2005 腐蚀后试样及评级
- JB/T 7707-1995 离子镀膜厚度试验方法球磨法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 类金刚石薄膜 Diamond Like Carbon (DLC)

类金刚石薄膜是一类性质近似于金刚石，具有高硬度、高电阻率和良好光学性能等，同时又具有自身独特摩擦学特性的非晶碳薄膜。

4 分类及标识

类金刚石薄膜分类根据薄膜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，具体如下：

表 1. 类金刚石薄膜的分类方法示例及说明

序号	中文名	标识	说明	纳米硬度测试方法
1	非晶碳薄膜	a-C	特指纳米硬度低于 40GPa 的不含氢碳薄膜	见 5.5 纳米硬度测试
2	金属掺杂非晶碳薄膜	a-C:Me	特指纳米硬度低于 40GPa 的金属掺杂不含氢碳薄膜	
3	非金属掺杂非晶碳薄膜	a-C:X	特指纳米硬度低于 40GPa 的非金属掺杂不含氢碳薄膜	
4	非晶含氢碳薄膜	a-C:H	特指纳米硬度低于 40GPa 的含氢碳薄膜	
5	金属掺杂含氢非晶碳薄膜	a-C:H:Me	特指纳米硬度低于 40GPa 的金属掺杂含氢碳薄膜	
6	非金属掺杂非晶含氢碳薄膜	a-C:H:X	特指纳米硬度低于 40GPa 的非金属掺杂含氢碳薄膜	
7	四面体碳薄膜	ta-C	特指纳米硬度大于 40GPa 的不含氢碳薄膜	
8	金属掺杂四面体碳薄膜	ta-C:Me	特指纳米硬度大于 40GPa 的金属掺杂不含氢碳薄膜	
9	非金属掺杂四面体碳薄膜	ta-C:X	特指纳米硬度大于 40GPa 的非金属掺杂不含氢碳薄膜	
10	含氢四面体碳薄膜	ta-C:H	特指纳米硬度大于 40GPa 的含氢碳薄膜	
11	金属掺杂含氢四面体碳薄膜	ta-C:H:Me	特指纳米硬度大于 40GPa 的金属掺杂含氢碳薄膜	
12	非金属掺杂含氢四面体碳薄膜	ta-C:H:X	特指纳米硬度大于 40GPa 的非金属掺杂含氢碳薄膜	
13	类富勒烯含氢碳薄膜	FL-C:H	特指具有类富勒烯结构的含氢碳薄膜	

5 技术要求与试验方法

5.1 类金刚石薄膜技术要求

表 2. 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		压痕法	划痕法	
a-C	Me≤25%	≥300nm	≥1500nm	≤40GPa	≤30nm	≤工件表面粗糙	>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	金属基底>50N	≤0.20
a-C: Me	Me≤25%	≥300nm	≥1500nm	≤40GPa	≤30nm					≤0.20
a-C: X	X≤25%	≥300nm	≥1500nm	≤40GPa	≤30nm					≤0.20

a-C: H	H≤40%	≥300nm	≥1500nm	≤40GPa	≤30nm	度	据客户要求 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。	≤0.15
a-C: H:Me	Me≤25%; H≤40%	≥300nm	≥1500nm	≤40GPa	≤30nm			≤0.15
a-C: H:X	X≤25%; H≤40%	≥300nm	≥1500nm	≤40GPa	≤30nm			≤0.15
ta-C	Me/X≤25%	≥150nm	≥800nm	≥40GPa	≤30nm			≤0.20
ta-C: Me	Me≤25%	≥150nm	≥800nm	≥40GPa	≤30nm			≤0.20
ta-C: X	X≤25%	≥150nm	≥800nm	≥40GPa	≤30nm			≤0.20
ta-C: H	H≤20%	≥150nm	≥800nm	≥40GPa	≤30nm			≤0.15
ta-C: H:Me	Me≤25%; H≤20%	≥150nm	≥800nm	≥40GPa	≤30nm			≤0.15
ta-C: H:X	X≤25%; H≤20%	≥150nm	≥800nm	≥40GPa	≤30nm			≤0.15
FL-C:H	H≤40%	≥300nm	≥1500nm	≤40GPa	≤30nm			<0.08

5.2 粗糙度

5.2.1 试验设备

3D 表面轮廓仪。

5.2.2 试验方法

参照 ISO 25178-2 2012 表面性状（表面粗糙度测量）。

5.2.3 数据处理

所获得的 4-7 次数据求平均值，得到所需的参考值。

5.3 厚度

5.3.1 试验设备

球坑试验仪，3D 轮廓仪。

5.3.2 试验方法

球坑试验仪参照 JB-T 7707-1995 离子镀硬膜厚度试验方法球磨法进行测量，具体应参考所用球坑仪的使用说明。

5.3.3 数据处理

球坑试验仪参照 JB-T 7707-1995 离子镀硬膜厚度试验方法。

5.4 腐蚀性能

5.4.1 试验设备

盐雾试验机（有效尺寸 $\geq 0.48\text{m}^3$ ）；或者客户指定的腐蚀试验系统。

5.4.2 试验方法

参照 GB/T 10125-2012 人造气氛腐蚀试验盐雾试验测定，根据客户需求分别进行中性盐雾试验，酸性盐雾试验等。

也可以根据客户要求应用其他已有国家或者行业标准进行腐蚀试验。

5.4.3 数据处理

参照 GBT6461-2005 腐蚀后试样及评级对腐蚀性能进行评级。

5.5 纳米硬度

5.4.1 试验设备

纳米压痕硬度计。本标准中采用纳米压痕硬度计。

5.4.2 试验方法

测试样品至少 $5\text{mm}\times 5\text{mm}$ 大小，被测试前对样品进行超声波清洗，溶液为酒精或者易挥发有机液体。

压入深度为薄膜厚度的十分之一。

5.4.3 数据处理

一般选取同意压痕载荷，选取同一样品的不同位置，进行 3-5 次测试，取平均值。

5.6 结合力

5.6.1 试验设备

洛氏硬度计或者划痕仪。

5.6.2 试验方法

参照 GB/T 230.1-2009 金属材料洛氏硬度试验或 GB/T 30707-2014 精细陶瓷涂层结合力试验方法划痕法进行测量，实验流程严格按照仪器说明的规定进行操作。

试验前应按 GB/T 230.1-2009 金属材料洛氏硬度试验中选择并检查金刚石压头。按自动划痕试验机操作程序进行操作，对每批产品的 3 个以上平行试样，在不同位置上至少各作 5 次划痕试验，其平均值作为参考值。

5.6.3 数据处理

参照 GB/T 230.1-2009 金属材料洛氏硬度试验所获得的压痕点需要在显微镜下观察拍照，按照德国标准 VDI3198 进行测试，满足 HF1-3 的凹坑及周边形貌即为合格产品。

参照 GB/T 30707-2014 精细陶瓷涂层结合力试验方法划痕法测定的数据按照下面的方法处理。确定每次划痕试验的 Lc_i 值后，由所有 Lc_i 求得算术平均值

$$Lc = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Lc_i \dots\dots\dots(1)$$

式中：Lc—临界载荷；

n-独立单次测量次数， $n \geq 15$ 。

5.7 摩擦系数

5.7.1 试验设备

球-盘摩擦试验机，干摩擦。对有特殊要求的，按照双方协商进行测量，并按照相关标准进行分析。

5.7.2 试验方法

试样:以平行试样为转盘($\Phi 45\text{ mm}\times 8\text{ mm}$ 或 $\Phi 30\text{ mm}\times 5\text{ mm}$);其偶件为G10级9Cr18钢球, $HRC\geq 58$,直径为 $(8.000\pm 0.010)\text{ mm}$,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。

条件:

- a) 室温大气环境,湿度不大于60 %RH;
- b) 法向载荷为5.00 N,转盘转速为 $(1000\pm 2)\text{ r/min}$,即线速度 $(1.047\pm 0.002)\text{ m/s}$;球固定不动。

程序:

- a) 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 μ_{d0} ;
- b) 取其稳定段的平均值为稳定段摩擦系数 μ_d ,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。

5.7.3 数据处理

参照ASTM D1894-2011进行处理,或按照仪器说明对数据进行处理。

5.8 磨损率

5.8.1 实验设备

3D轮廓仪。

5.8.2 实验方法

参考GB/T 1031-2009。

5.8.3 数据处理

参考GB/T 1031-2009

6 试验报告

- a) 注明本标准及其他有关文件;
- b) 测试设备的型号及通过计量认证的级别;
- c) 发动机零部件表面低摩擦类金刚石薄膜的制备方法;

- d) 发动机零部件表面低摩擦类金刚石薄膜详细的各层成分及厚度
- e) 被试材料或产品的尺寸、形状、试样面积和表面状态
- f) 被测试产品或样品的保存时间和保存方法
- g) 被试样品的清洗过程和烘干处理程序
- h) 被测样品的外观（色泽）
- i) 被试样品数量；
- j) 单个样品测试次数；
- k) 试验过程中的空气环境（温度和湿度）
- l) 各测试项目的具体参数
- m) 测试结果分析的结论给出最终结果及其标准偏差。

7 包装与交付

产品的包装、装箱及标志用目视检查，并符合本规范第 6 款的要求。

7.1 文件

交货清单：交货清单应包括产品名称、数量、编号和交货日期。

检测报告：交货时应给出质量一致性检验所依据的标准和检测结果。

7.2 合格证或质量证明

交货时应附有产品合格证或质量证明文件。

7.3 包装

低摩擦类金刚石薄膜产品包装前需要烘干；在相对湿度低于 50% 的洁净环境进行包装。

低摩擦类金刚石薄膜产品用洁净的聚乙烯塑料袋真空封装，然后用不少于 2 层不掉纤维的柔软包装纸分件包裹，再用装有变色硅胶干燥剂的聚乙烯塑料袋完成第二次真空封装。

外包装盒的表面应标注产品代号、编号、生产日期和生产单位；

外包装盒装箱时应采取可靠的减震防潮措施，包装箱侧面应有“小心轻放”、“怕湿”的标志，标志的图形应符合 GB/T 191-2008 包装储运图示标志的规定；

包装箱内应附有装箱清单。

7.4 运输

可以采取航空、铁路、公路或水上运输。

7.5 贮存

- a. 低摩擦类金刚石薄膜产品应防尘、防潮、避油和防磁；
- b. 使用前以放置于干燥容器中贮存为宜；
- c. 保持原包装并按 b 条件可贮存 5 年；开封后，在常温大气环境中小于 50%RH 的条件下可贮存 2 年。

参 考 文 献

1. ISO 25178.2-2012 表面性状（表面粗糙度测量）
2. GB/T 30707-2014 精细陶瓷涂层结合力试验方法 划痕法
3. GB/T 10125-2012 人造气氛腐蚀试验盐雾试验
4. GB/T 17754-2012 摩擦学术语
5. GB/T 1031-2009 表面结构轮廓法 表面粗糙度参数及其数值
6. GB/T 230.1-2009 金属材料 洛氏硬度试验
7. GB/T 191-2008 包装储运图示标志
8. GB/T 10587-2006 盐雾试验箱技术条件
9. GB/T 6461-2005 腐蚀后试样及评级
10. JB/T 7707-1995 离子镀硬膜厚度试验方法球磨法

附录 A 镀膜前处理

1. 准备工作。

所有员工接触工装时，始终双手戴手套。严禁工装以任何形式接触到皮肤、油性物质、水、脏物等。

2. 新工装的清洗

2.1 工装检验

新工装首先进行检验，需要试镀才能判定的工装，由镀膜人员试镀后判定。

2.2 初次清洗

合格工装必须进行初次清洗。将工装放入超声波清洗机，加入洗衣粉，进行超声波清洗 30 分钟，以去掉油污，并用用压缩空气吹干，

2.3 喷砂对于需要清理的工装，要进行喷砂清洗。喷砂机操作参照《喷砂机作业说明》。经过喷砂处理的工装要用压缩空气吹去灰尘。

2.4 超声波除尘

喷砂后的工装放入超声波清洗机，用清水超声波清洗 30 分钟，以彻底去掉灰尘，然后最后用压缩空气吹干。

2.5 烘烤

所有卡具清洗之后要放到烘烤箱内。温度 150°，烘烤 20 分钟。只有充分冷却的工装，才可以使用。

2.6 收纳

所有工装放入指定位置，严禁乱放。

新夹具要先刻上钢印编号，以备他人查找。刻不上编号的工装要做好标识。

3. 旧工装的清洗

旧工装需要清洗时，只需按照 2.3，2.4，2.5，2.6 步骤操作。

4. 工装的日常使用

4.1 工装每次使用，须按 2.5 操作。

4.2 工装日常使用时，必须时刻双手戴手套。擦拭人员佩戴手指套也可以。但需要拿大件工装或数量很多的卡圈时，必须戴手套，或召唤其他人员协助拿取工装。禁止使用白胶带，禁止在工装上用油性笔涂写（油性笔包括：红蜡笔、记号笔、白板笔、签字笔、圆珠笔）。可以使用铅笔做标识，尽量少用高温胶带。

附录 B 需方向薄膜生产方提供的资料

主要资料包括：

- a) 被镀工件的材质、物理性能（硬度、耐温、化学性能）；
- b) 被镀工件的尺寸外形图纸，需镀膜的主要表面；
- c) 薄膜的标识（见第 4 部分）；
- d) 薄膜的厚度要求；
- e) 镀膜前后工件的粗糙度允许变化值；
- f) 镀膜前后工件的硬度允许变化值。

附录 C 工件镀膜前处理技术要求

1.1 镀膜前检测

肉眼观测：

- a) 工件外观无异色；
- b) 工件无明显锈斑；
- c) 工件无明显划伤。

显微镜观察：

- a) 无凹坑；
- b) 无氧化斑；
- c) 无划痕；
- d) 无毛刺；
- e) 无裂纹等缺陷。

1.2 镀膜前清洗

对于不耐腐蚀的工件的待镀膜表面，在严格去除锈、污渍和氧化物后，在溅射镀膜前应一直采取可靠的防护措施。详见附录 A。

1.3 工件的装载

应在超净环境中进行装配；工作人员应穿洁净工作服，戴干净双层白色细纱手套或乳胶手套；必要时用专用工具夹持工件并防止损伤工作面。

装配时应将工件逐一平稳地推或压入安装位置，不应通过工件传递装配载荷，防止用锤子或重物敲打。

附录 D 压痕结合力参考对照表

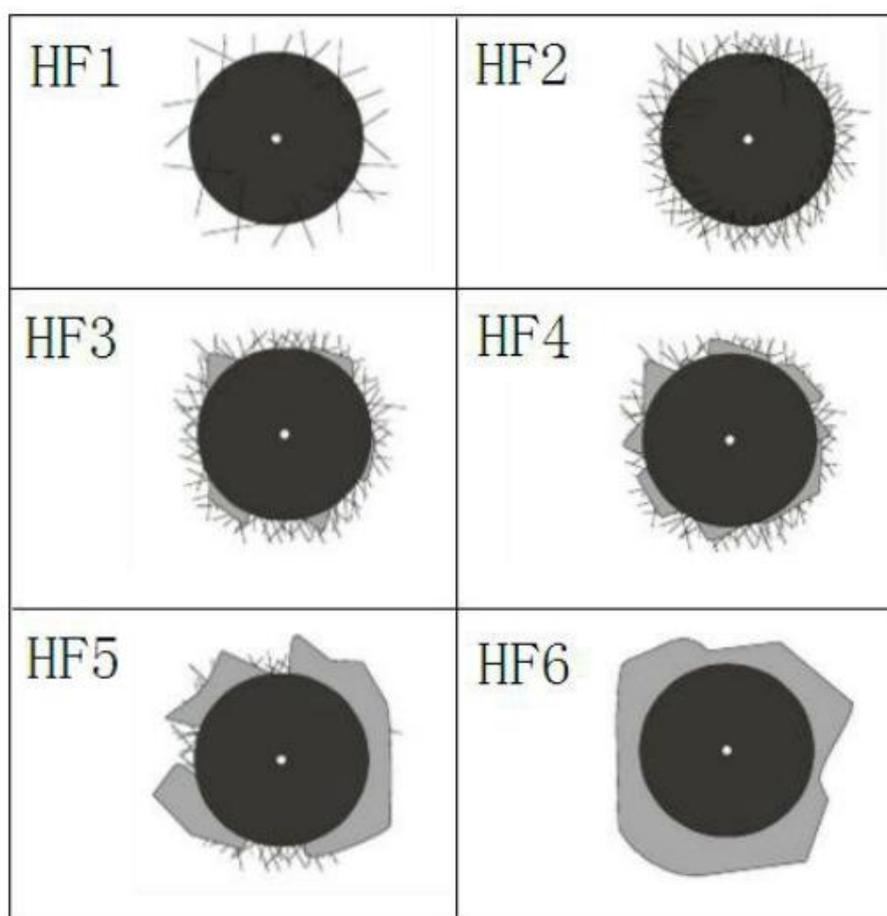


表 1. 压痕结合力参考对照表