

# 封严涂层性能评定的新方法

## A New Method for Evaluation of Mechanical Properties of Sealing Coating

刘军海 何家文 陆明珠 苏启生 (西安交通大学材料学院)

Liu Junhai He Jiawen Lu Mingzhu Su Qisheng (Xi'an Jiaotong University)

[摘要] 利用研制成功的新型电子冲击刮削试验机,可测试航空发动机封严涂层的冲击载荷-位移曲线,由此得出的屈服载荷点、最大载荷点、冲击刮削韧性等参数可用于定量综合评估封严涂层的可磨耗性、抗冲蚀性以及涂层与基体结合强度。

关键词 封严涂层 冲击刮削试验机 涂层性能

[Abstract] A new type of impact-scraping test machine has been developed successfully. The machine can be used to measure the parameters such as yield limit, maximum load point, impact-scraping toughness of sealing coating used in aero-engine. By use of these parameters, evaluation of abrasability, anti-erosion ability, and binding strength between coating and matrix can be done synthetically.

Keywords sealing coating impact-scraping test machine coating properties

### 1 概述

表征航空发动机封严涂层的主要性能指标有:可磨耗性;抗冲蚀磨性;涂层与基体结合强度;抗热振性;化学稳定性等。早期的可磨耗性用涂层的粘结强度和硬度来考核,认为拉伸强度和硬度低可磨耗性好。其评定方法很多,但定量性不够,特别是许多模拟试验费用昂贵。可磨耗封严涂层的冲蚀磨损试验目前也无统一方法,常用的是气-固冲蚀装置,即用含 $Al_2O_3$ 或 $SiO_2$ 砂粒的压缩空气进行冲蚀实验或热冲蚀实验。这种气固粒子的冲蚀与飞机发动机封严涂层的冲蚀相似,对评价抗蚀性可行,但由于气体绕流的影响很难进行定量处理。对于涂层与基体结合强度的测量,普遍采用ASTM-C633标准试验法。本文对于可磨耗性、抗冲蚀性和涂层与基体的结合强度,提出一种新的测试和评估方法。

### 2 试验机和试验方法

#### 2.1 试验机及测试原理

研制的试验机(已有专文论述,图略),主要由摆锤及机架、冲击刀口、试样台、冲击力和位移传感器、零时差数据采集仪以及微型计算机、打印机等组成。其中含有冲击力传感器的冲击刀口装在摆锤之上,试样台装在机架的底座上,角位移传感器安装在摆轴上。零时差

数据采集仪接收上述二传感器感受到的冲击力和位移信号并进行记录,然后送计算机进行处理,所得结果由打印机输出。

试样台由左右对称的两个试样架组成,各夹持一个试样,试样端面相对放置,其上喷涂有涂层;冲击时,摆锤从两试样中间通过,刮削两试样端面上的涂层。

冲击刀口由弹簧钢加工而成,其钢体上贴有应变片,钢体端部装有一长方形、两边带有劈形刃口的刀片。冲击时,两边刃口刮削试样涂层。

自制的零时差数据采集仪,用于克服高速数据采集过程中所出现的数据错配现象。数据错配是指由于计算机工作的分时性,在数据采集时会出现此时刻X通道的数据和彼时刻Y通道的数据对应的现象,该现象对低速信号采集时所得到的最终处理结果影响不大,但对高速信号则会带来很大误差。

试验机主要性能指标为:最大冲击刮削速度,5m/s;最大冲击能量,20J;试样架定位精度,10 $\mu$ m;最大采集位移,30mm;最大数据采集速率,1MHz;通道数,2;数据采集相位差,0;数据采集分辨率,12位;载荷-位移曲线图文并茂输出。

#### 2.2 试样

试样尺寸为15mm×15mm×60mm,其端面经等离子喷涂工艺处理。

### 2.3 实验程序

①举起摆锤,将两根试样分别装于试样台左右两试样架上,用锁紧螺钉固紧;②使摆锤处于自由下垂位置,调整试样架使试样端面(涂层面)与刀口接触;③举起摆锤,分别精密调整两试样架向内移动,其移动量(涂层的刮削厚度)通过位于其上的千分尺分别读取;两方的移动量必须相等,其大小视涂层厚度而定,最后用螺钉将试样锁紧;④使采集仪处于准备状态,然后放摆进行冲击刮削试验;⑤采集后的数据经计算机处理并由打印机输出。

### 3 结果及讨论

图1为某飞机制造公司提供的按某特殊工艺处理的试样实际试验输出结果。从图可看出,在载荷-位移曲线的开始阶段,载荷随位移变化迅速上升。这是由于刀口接触到试样的涂层后,尚未刮削而处于弹性变形阶段,这一段基本上为线性。随着载荷的进一步增加,位移出现快速变化趋势,曲线出现转折,类似于屈服,此点称为屈服载荷点,表示从此点开始涂层被刮削。随着刮削过程的进行,载荷上升,直至出现最大点,此点称为最大载荷点;表示要使刮削继续进行,尚需增加额外的力。最大点之后载荷出现持续下降,其原因目前还不十分清楚,可能与刮削的剩余面积减小有关。载荷下降到某点后,突降到零,此点称突降点,表示在冲击过程中刀口开始离开试样。要特别指出的是,曲线的形状会随涂层成分、喷涂工艺的不同而变化,主要类型:①有屈服点、最大载荷点和突降点;②最大载荷点为屈服点;③最大载荷点为突降点;④无屈服点。

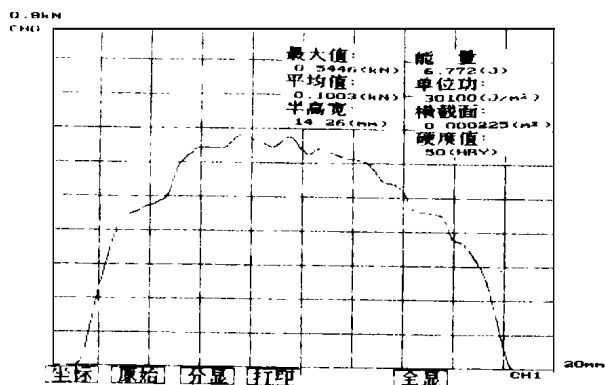


图1 典型冲击刮削载荷-位移曲线

Fig. 1 Typical curve showing the relation between the impact-scraping load and the displacement

冲击刮削曲线特征各主要参数与涂层性能的关系:屈服点的高低与下列因素有关:①涂层厚度及刮削

厚度。涂层越厚则刮削厚度越大,屈服点值就高;②涂层的成分及质量。涂层的孔隙度小、强度高,其屈服强度也高;③涂层与基体的结合强度。结合强度高则屈服强度高,反之则低。

最大载荷点主要与涂层和基体的结合强度有关,情况严重时结合强度低到足以在载荷位移曲线上不出现最大载荷点;其次与涂层的强度有关,涂层的韧性好、强度高,最大载荷点则高。所以,最大载荷和屈服载荷综合表征了涂层与基体的结合强度以及涂层的可磨耗性。一般而言,涂层的屈服点低、最大载荷点亦低,则涂层的可磨耗性好。

曲线所包围的面积代表了冲击刮削韧性,其量纲为J。其值可表征涂层的抗冲蚀磨损性高低。此值大,涂层的抗冲蚀性能好,否则抗冲蚀性能差。

根据分析由图1得出:屈服载荷 $L_y = 0.36\text{kN}$ ;最大载荷 $L_m = 0.54\text{kN}$ ;冲击刮削韧性 $J_i = 6.77\text{J}$ 。

目前我国一些公司利用国外涂层粉进行生产,并依据国外提供的标准在生产中用硬度对喷涂质量进行监控。虽然在涂层配方和喷涂工艺确定后涂层与基体的结合强度就恒定、且涂层的可磨耗性和抗冲蚀性取决于对喷涂工艺掌握的熟练程度和此二性能与涂层硬度间的匹配关系,但该关系并不具有普适性,涂层成分的变更会极大影响这个关系。所以,仅靠硬度测量显然不够。

综上所述,冲击刮削载荷-位移曲线上的屈服点、最大载荷点高,曲线所包围的面积大,即冲击刮削韧性好,涂层的可磨性差、抗冲蚀性能优越;屈服点、最大载荷点低,曲线所包围的面积小,即冲击刮削韧性好,涂层的可磨耗性优、抗冲蚀性能差。在实际应用中如何确定出屈服点、最大载荷点与冲击刮削韧性等参数同使用效果间的当量关系,尚待进一步研究。

### 4 结论

该种电子冲击刮削试验机,其最大冲击刮削能量为20J,最大刮削速度为5m/s。配用自制的零时差数据采集仪,可克服数据采集时出现的二通道数据错配现象。该试验机可用于测试航空发动机封严涂层的冲击刮削载荷-位移曲线,由此得出的屈服载荷点、最大载荷点、冲击刮削韧性等参数可用来定量综合评估封严涂层的可磨耗性、抗冲蚀性以及涂层与基体结合强度。

### 参考文献

- 1 刘军海,陆明珠,苏启生.电子与自动化.1995,24(5):33~35
- 2 刘军海,陆明珠,苏启生.自动化仪表.1995,16(2):26~28