

ICS 49.040  
CCS V10/19

T/CSAA 23-2023

# 团 标 准

T/CSAA 23—2023

## 民用飞机复合材料蒙皮激光除漆后的材料 与工艺评定要求

Material and Process Evaluation Requirement after Laser  
Paint Removal from Composite Skin for Civil Aircraft

2023-9-20 发布

2023-12-1 实施

中国航空学会 发布

中国航空学会（英文简称 CSAA）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国航空学会团体标准，以满足企业、市场需求和社会发展需要，推动航空技术创新和航空应用新模式，是中国航空学会标准化工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国航空学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国航空学会团体标准按《中国航空学会团体标准管理办法》进行制定和管理。

中国航空学会团体标准草案经向社会公开征求意见、专家评审、公开公示等流程，方可由中国航空学会予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国航空学会团体标准推进工作委员会。

本标准版权为中国航空学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国航空学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国航空学会地址：北京市朝阳区安外北苑 2 号院

邮政编码：100012 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：[www.csaa.org.cn](http://www.csaa.org.cn) 联系人：梁勇 电子信箱：[csaa\\_123@163.com](mailto:csaa_123@163.com)

## 目 次

前 言 .....	II
民用飞机复合材料蒙皮激光除漆后的材料与工艺评定要求 .....	1
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 总则 .....	3
5 评定指标要求 .....	4
5.1 复合材料基材 .....	4
5.2 可控性 .....	4
5.3 表面微观性能 .....	4
5.4 漆层残留 .....	4
5.5 重涂性 .....	4
6 测试方法 .....	5
6.1 复合材料基材力学性能 .....	5
6.2 表面粗糙度 .....	5
6.3 纤维断裂 .....	5
6.4 分层精度可控性 .....	5
6.5 厚度精度可控性 .....	6
6.6 表面微观性能 .....	6
6.7 漆层残留率 .....	6
6.8 表面清洁度 .....	7
6.9 附着力 .....	7
6.10 耐久性 .....	7
7 结果评定 .....	7
7.1 工艺稳定性 .....	7
7.2 工艺效果 .....	7
7.3 评定要求 .....	7

## 前　　言

本文件依据 T/CAS 1.1—2017《团体标准的结构和编写指南》的有关要求编写。

本文件由中国航空学会提出并归口。

本文件起草单位：中国民用航空飞行学院、温州大学、北京飞机维修工程有限公司成都分公司、武汉华工激光工程有限责任公司、武汉锐科光纤激光技术股份有限公司、东方航空技术有限公司西北分公司、西安新安博复合材料科技有限公司。

本文件起草人：杨文锋、曹宇、李绍龙、邓家科、黄春义、靳伦平、钱自然、周晚君、杜雷、周晓锋、朱小伟、张威、胡月、王文轩、张赛。

考虑到本文件中的某些条款可能涉及专利，中国航空学会不负责对任何该类专利的鉴别。

本文件首次发布。

# 民用飞机复合材料蒙皮激光除漆后的材料与工艺评定要求

## 1 范围

本文件规定了民用飞机复合材料蒙皮漆层激光清除后，复合材料基材及其表面保留漆层材料的理化性能、力学性能的评定要求，以及激光除漆工艺技术基本要求。

本文件适用于民用飞机复合材料蒙皮漆层的激光清除，军用飞机复合材料蒙皮激光除漆后的材料与工艺评定要求可参考使用。

## 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。凡是注明日期的引用文件，仅注明日期的版本适用于本文件。凡是不注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3354-2014 定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸性能试验方法

GB/T 3356-2014 定向纤维增强聚合物基复合材料弯曲性能试验方法

GB/T 5206-2015 色漆和清漆 术语和定义

GB/T 9286-2021 色漆和清漆 划格试验

GB/T 33523.2-2017 产品几何技术规范（GPS） 表面结构 区域法 第2部分：术语、定义及表面结构参数

GB/T 33614-2017 三维编织物及其树脂基复合材料压缩性能试验方法

GB/T 35465-2020 聚合物基复合材料疲劳性能测试方法

GJB 385B-2020 飞机蒙皮用脂肪族聚氨酯磁漆及配套底漆规范

JY/T 0584-2020 扫描电子显微镜分析方法通则

ISO 19403-2:2017 Paints and varnishes — Wettability — Part 2: Determination of the surface free energy of solid surfaces by measuring the contact angle 色漆和清漆. 亲水性. 第2部分：通过测量接触角测定固体表面的表面自由能

## 3 术语和定义

GB/T 33523.2-2017、GB/T 5206-2015 界定的及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**复合材料蒙皮基材 composite skin substrate**

不包含任何表面漆层的飞机蒙皮连续纤维增强树脂基复合材料结构。

### 3.2

**纤维断裂 fiber fracture**

碳纤维纱线中若干碳纤维单丝的断裂或撕裂。

### 3.3

#### 力学性能 mechanical properties

材料在外加载荷作用下或载荷与环境因素（温度、介质和加载速率）联合作用下表现出来的行为。

### 3.4

#### 民用飞机蒙皮漆层 civil aircraft skin paint

民用飞机蒙皮漆层是指用在民用飞机蒙皮外表面的涂料涂层。飞机涂料具备耐腐蚀、耐高低温、耐紫外线、耐冲击、轻量型、耐久性和装饰性等功能。

### 3.5

#### 保留漆层 retention paint

选择性分层或厚度可控除漆时，为防护、绝缘、装饰、防风蚀等目的在飞机蒙皮表面特意保留的漆层。

### 3.6

#### 残留漆层 residual paint

对特定除漆区域内的待除目标漆层未实现完全清除，残留于基材或保留漆层表面的部分漆层。

### 3.7

#### 漆层残留率 paint residue rate

特定除漆区域内，漆层残留体积占待除目标漆层体积的百分比。

### 3.8

#### 表面清洁度 surface cleanliness

特定除漆区域内，实际除漆面积占待除目标漆层面积的百分比。

### 3.9

#### 表面粗糙度 surface roughness

表面粗糙度：表示相对于表面的平均面，各点高度差的绝对值的平均值，一般用算术平均高度  $S_a$  表示。

$S_a$ ：算数平均高度。一个定义区域  $A$  内各点高度绝对值的算数平均值。

$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A |Z(x, y)| dx dy \quad (1)$$

[参见 GB/T 33523.2-2017, 4.1.7]

### 3.10

#### 表面微观性能 surface microscopic properties

激光除漆后材料（基材或保留漆层）表面的微观形貌、物理、化学特性。

### 3.11

**可控性 controllability**

在除漆过程中控制激光参数以达到指定的除漆效果。

### 3.12

**分层精度可控性 controllability of layered accuracy**

实际除漆界面与目标分层界面高度偏差的平均值。

### 3.13

**厚度精度可控性 controllability of thickness accuracy**

实际除漆厚度与目标除漆厚度的偏差占目标除漆厚度的百分比。

### 3.14

**重涂性 recoatability**

重涂漆层与基材或保留漆层的界面匹配性能。

### 3.15

**附着力 adhesion**

在固体表面与另一种材料的界面间，通过分子力产生附着的现象。

注：附着力不宜与内聚力混淆。

[见 GB/T 5206-2015, 2.7]

### 3.16

**耐久性 durability**

涂层抵御环境对其破坏性影响的能力。

[见 GB/T 5206-2015, 2.89]

## 4 总则

4.1 民用飞机复合材料蒙皮出现漆层老化、结构受损等情况，需按照经批准的适航性资料进行维护和安全保障，除漆是其中重要一环。激光除漆技术绿色环保、智能高效、质量可控，在航空维修领域逐渐受到重视。激光除漆工艺施工前，应对激光不可接触区域的飞机蒙皮进行保护，并监控激光除漆过程中飞机复合材料蒙皮基材的温度变化。除漆前应选取与实际蒙皮漆层完全一致的试样作为对比试样或伴随试样，以进行工艺优化与除漆效果评定。

4.2 针对不同激光类型、复合材料基材、漆层结构等，激光除漆应控制能量密度，以满足相应的损伤阈值要求。不同漆层体系的激光除漆工艺需根据维修手册要求进行调整，以满足区域除漆或整机完全除漆的分层或厚度控制的精度要求。

- 4.3 对于机器人自动除漆，激光除漆施工前，需根据蒙皮外轮廓进行机械臂随形的运动轨迹设计。
- 4.4 为满足激光自动化除漆，飞机蒙皮待除漆区域表面应整体完整、均匀，无明显掉漆、漆层破裂、鼓泡、厚度不均匀等情况。
- 4.5 激光除漆过程应遵循相应的环保要求及烟尘排放标准。

## 5 评定指标要求

### 5.1 复合材料基材

#### 5.1.2 力学性能

除漆后复合材料基材各项力学性能与初始值的偏差不应超过 $\pm 5.0\%$ 。

#### 5.1.1 表面粗糙度

Sa 推荐值： $2.0 \mu\text{m} \leq \text{Sa} \leq 6.0 \mu\text{m}$ 。

#### 5.1.3 纤维断裂

视域内纤维断裂比例 $\leq 1.0\%$ 。

### 5.2 可控性

#### 5.2.1 分层精度可控性

实际除漆界面与目标分层界面的平均偏差 $\leq 10.0 \mu\text{m}$ 。

#### 5.2.2 厚度精度可控性

激光除漆厚度精度 $\leq 10.0\%$ 。

### 5.3 表面微观性能

激光除漆后材料表面具有适宜的微观形貌、粗糙度，表面自由能及活性，水膜检测结果为 30 s 不破裂，以利于重新喷涂漆层与材料表面的机械互锁、物理润湿与吸附、化学结合，从而改善材料表面与重新喷涂漆层的界面结合与耐久性。

一般在激光除漆后采用 300 目砂纸进行表面磨抛。

### 5.4 漆层残留

#### 5.4.1 漆层残留率

漆层残留率 $\leq 10.0\%$ 。

#### 5.4.2 表面清洁度

表面清洁度 $\geq 90.0\%$ 。

### 5.5 重涂性

#### 5.5.1 附着力

重涂漆层与基材的附着力 $\leq 1$  级。

### 5.5.2 耐久性

基材应满足耐久性要求，包括耐热性、低温性，耐滑油、汽油、液压油，耐水性、盐雾性、湿热性，耐人工气候老化性，耐候性等。

## 6 测试方法

### 6.1 复合材料基材力学性能

#### 6.1.1 拉伸强度

按 GB/T 3354-2014 进行拉伸强度测试，检验材料拉伸强度。

#### 6.1.2 弯曲强度

按 GB/T 3356-2014 进行弯曲强度测试，检验材料弯曲强度。

#### 6.1.3 疲劳强度

按 GB/T 35465-2020 进行疲劳强度测试，检验材料疲劳强度。

#### 6.1.4 压缩强度

按 GB/T 33614-2017 进行压缩强度测试，检验材料压缩强度。

### 6.2 表面粗糙度

采用“接触式（针触式）”或“非接触式（光电探头）”测量并评估表面粗糙度，测量方法参见 GB/T 33523.2-2017。

注：对于增强相为编织纤维的复合材料，其表面形貌评估，视域（FOV）大小的选择需根据增强相纤维丝束大小、纤维克重、纤维种类等实际情况改变。视域内应能反映材料表面微观结构的最小单元分布，即至少覆盖完整的横、纵向纤维编织形状。

### 6.3 纤维断裂

以 3k 纤维丝束为例，进行 3k 丝束形貌测量，并根据测试结果判断纤维断裂比例，形貌测量方法参见 JY/T 0584-2020。

注：k 代表碳纤维的规格，是指碳纤维丝束中单丝数量。

### 6.4 分层精度可控性

通过 3D 光学轮廓仪采用微区成像、光学切片的方法，构建除漆后样品的实际除漆界面与目标分层界面。任意提取实际除漆界面、目标分层界面的 10 处纵剖面，计算每处实际除漆界面剖面与目标分层界面剖面高度差的平均值，将 10 处剖面平均高度差的平均值记为分层精度。

按公式（2）计算分层精度。

$$h_{Layer} = \overline{|h|} = \frac{\sum_{i=1}^{10} |h_i|}{10} \quad (2)$$

式中：

$h_{Layer}$ ——分层精度， $\mu\text{m}$ ；

$|\bar{h}|$ ——10 处实际除漆界面剖面与目标分层界面剖面高度差值的绝对值的平均值；

$h_i$ ——第  $i$  处实际除漆界面剖面与目标分层界面剖面的高度差值。

## 6.5 厚度精度可控性

通过 3D 光学轮廓仪采用微区成像、光学切片的方法，构建材料表面漆层的厚度信息。

等间距提取已除漆表面与未除漆表面的 10 个纵剖面，测量并记录每个剖面的平均高度差，计算 10 个剖面平均高度差的平均值，记为实际除漆厚度，再计算目标除漆厚度与实际除漆厚度差值的绝对值占目标除漆厚度的百分比，记为厚度精度。

按公式（3）计算实际除漆厚度。

$$T_{Actual} = \bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^{10} t_i}{10} \quad (3)$$

式中：

$T_{Actual}$ ——实际除漆厚度，μm；

$\bar{t}$ ——10 处实际除漆界面剖面与目标分层界面剖面高度差值的平均值；

$t_i$ ——第  $i$  处实际除漆界面剖面与目标分层界面剖面的高度差值。

按公式（4）计算厚度精度。

$$\epsilon_T = \left| \frac{T_{Ideal} - T_{Actual}}{T_{Ideal}} \right| \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$\epsilon_T$ ——厚度精度，%；

$T_{Ideal}$ ——目标除漆厚度。

## 6.6 表面微观性能

按 GB/T 33523.2-2017 对激光除漆后材料表面微观形貌及粗糙度进行测试。

按 ISO 19403-2:2017 对激光除漆后材料表面自由能进行测试。

## 6.7 漆层残留率

激光除漆前，建议采用复合材料漆层专用涂层测厚仪对目标清除漆层的平均厚度进行测量。

激光除漆后，建议采用复合材料漆层专用涂层测厚仪对漆层残留的平均厚度进行测量，计算漆层残留体积占待除目标漆层体积的百分比，记为漆层残留率。

按公式（5）计算漆层残留率。

$$R_{Paint Residue} = \frac{V_{Paint Residue}}{V_{Paint Remove}} \times 100\% = \frac{\sum_{i=1}^n S_{Paint Residue}^i \times T_{Paint Residue}^i}{S_{Paint Remove} \times T_{Paint Remove}} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

$R_{Paint Residue}$ ——漆层残留率，%；

$V_{Paint Remove}$ ——待除目标漆层体积；

$V_{Paint Residue}$ ——漆层残留体积；

$S_{Paint Remove}$ ——待除目标漆层面积；

$T_{Paint Remove}$ ——待除目标漆层厚度；

$S_{Paint Residue}^i$ ——漆层残留面积；

$T_{Paint Residue}^i$ ——漆层残留厚度。

注：厚度值选取测量区域“田”字格上的 9 个点进行测量并取平均值，推荐 1 cm<sup>2</sup> 测量区域内取 1 个“田”字格，以此类推。

## 6.8 表面清洁度

可采用工业相机采集激光除漆后的图像；通过边缘检测、透视变换等算法提取特定激光除漆目标区域。

通过图像处理算法，将实际除漆面积占待除目标漆层面积的百分比，转化为实际除漆像素点个数占待除目标漆层像素点个数的百分比；计算漆层残留像素点个数、目标漆层像素点个数。

按公式（6）计算表面清洁度。

$$C_{Surface\ Cleanliness} = \frac{M_{Paint\ Remove} - N_{Paint\ Residue}}{M_{Paint\ Remove}} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

$C_{Surface\ Cleanliness}$ ——表面清洁度，%；

$M_{Paint\ Remove}$ ——待除目标漆层像素点个数；

$N_{Paint\ Residue}$ ——漆层残留像素点个数。

## 6.9 附着力

按 GB/T 9286-2021，进行漆层划格测试，检验材料表面附着力。

## 6.10 耐久性

按 GJB 385B-2020，检验基材耐久性。

## 7 结果评定

### 7.1 工艺稳定性

相同设备、施工环境下，激光除漆工艺参数、流程应稳定、可重复。

### 7.2 工艺效果

除漆后基材或保留漆层材料性能达到本标准第5章相应指标要求，则评定除漆工艺可接受。

### 7.3 评定要求

工艺参数变化、设备调整、加工前置条件超出规定要求，应重新进行评定。