

# 交联有机玻璃的热性能及其应用

## Thermal Properties and Applications of Crosslinked Acrylic Plastics

王 磊 (北京航空材料研究院, 北京 100095)

WANG Lei (Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

[摘要] 研究了国内外 6 种交联有机玻璃的热性能。试验结果表明: 交联有机玻璃的热性能优于线型不增塑有机玻璃, 在热性能方面可作为制造马赫数为  $M = 2.3 \sim 2.5$  高性能战斗机座舱透明件的候选材料。

[关键词] 有机玻璃; 交联; 热性能

[中图分类号] TQ 325.7 [文献标识码] A [文章编号] 1001-4381 (1999) 12-0016-03

**Abstract:** This paper studied the thermal properties of six types of crosslinked acrylic plastics. Experimental and comprehensively analytical results show that the thermal properties of the crosslinked acrylic plastics are better than that of the linear acrylic plastics which are not plasticized. From the respect of thermal property, crosslinked acrylic plastics can be the candidate materials for manufacturing the transparencies of the Mach 2.3 ~ 2.5 advanced fighters.

**Key words:** acrylic plastics; crosslinked; thermal property

交联有机玻璃是一种网状体型分子结构的聚合物透明材料, 由于大分子间的化学交联阻碍了分子链的运动, 使得材料的热性能显著提高。该类材料是美国和西欧国家用于制造高性能飞机单层座舱透明件的主要有机玻璃品种。本工作选取了国内外 6 种交联有机玻璃, 对其热性能进行了较系统的研究。

### 1 试验材料和方法

#### 1.1 试验用材料

试验用材料见表 1。

#### 1.2 试验方法和仪器

软化温度试验: 按 Q/6S 1355-1998 进行, 仪器型号为 RW-1。

玻璃化温度试验: 按 GB11998-89 进行, 仪器型号为 BW-1。

热分析试验: 热失重试验仪器型号为 Dupont 2100; 红外光谱分析试验仪器型号为 Nicolet。

模拟温差试验: 仪器型号为 WC-2。

温差条件下的拉伸强度试验: 按 HCS 224-65 进行, 仪器型号为 Instron 1253。

#### 1.3 试样的处理方法

表 1 试验用材料

Table 1 Materials used in the experiments

材料	简称	类型	厚度/mm	产地
S-1000	S	定向交联有机玻璃	10	美国
Tex-Stretch	T	定向交联有机玻璃	22	美国
Acrylex	A	定向交联有机玻璃	6	法国
Plex GS 249	249	浇注交联有机玻璃	10	德国
DJGYB	D	定向交联有机玻璃	10	中国
JJGYB	J	浇注交联有机玻璃	6	中国

定向有机玻璃加工热性能试样前, 要进行消向处理。处理条件:  $145 \sim 150^\circ\text{C} \times 1\text{h}$ 。为使试样达到该材料的最佳热性能状态, 要进行统一的调节处理。处理条件:  $95^\circ\text{C} \times 5\text{d} + 100^\circ\text{C} \times 2\text{d}$ , 然后放入干燥器中待用。

### 2 试验结果与讨论

#### 2.1 软化温度和玻璃化温度

各种交联有机玻璃的软化温度和玻璃化温度见表 2。从表 2 可以看出, 6 种交联有机玻璃的软化温度和玻璃化温度基本处于同一水平, 软化温度最大相差  $4^\circ\text{C}$ , 典型值为  $130^\circ\text{C}$ ; 玻璃化温度最大相差  $3^\circ\text{C}$ , 典型值为  $123^\circ\text{C}$ 。已知线型分子结构的不增塑有机玻璃软化温度

典型值为 122 ，玻璃化温度典型值为 115 ，该类材料已广泛用于制造 M ~ 2 的飞机透明件。因此，交联有机玻璃可用于制造马赫数更高的飞机透明件。

表 2 各种交联有机玻璃的软化温度和玻璃化温度

Table 2 Softening temperature and glass temperature of different kinds of crosslinked acrylic plastics

材料	软化温度/		玻璃化温度/	
	1	2	1	2
S	131	132	123	124
T	132	133	124	125
A	128	129	122	122
249	130	130	122	122
D	131	131	123	124
J	130	131	122	122

注：249 在温度 150 下退火 20min。

2.2 热重分析

试验得到的 6 种交联有机玻璃的热重 (TG) 和微分重量 (DTG) 曲线相似，典型的交联有机玻璃的 TG 和 DTG 曲线见图 1。图中 A 是急剧失重的温度，B 是完全解聚的温度。从各种交联有机玻璃的 TG 曲线上得到每种材料的热失重结果和积分分解温度，见表 3。

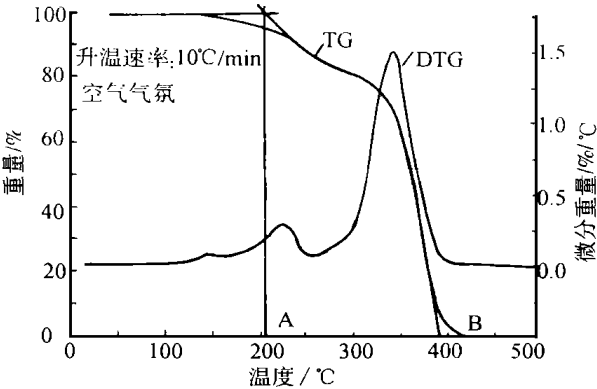


图 1 典型的交联有机玻璃的 TG 和 DTG 曲线

Fig. 1 The typical TG and DTG curves of the crosslinked acrylic plastics

由表 3 可知，200 时 6 种材料的热失重最大仅相差 4%，而 400 时最大相差 23%；材料 A 在 200 时的热分解稳定性略高于材料 T，而材料 T 在 400 时的热分解稳定性却高于材料 A，国产材料 D 分别处于两者之间；T、D 和 A 三种材料 400 时的热分解稳定性次序与它们的交联度次序一致，交联度对材料在 200 时的热分解稳定性的影响低于在 400 时的影响。

由表 3 还得知，6 种材料的积分分解温度最大值和

表 3 热重分析试验结果

Table 3 Experimental results of thermal gravimetric analysis

材料	交联度	热失重/ %				积分分解温度 /
		200	400	A 温度① /	B 温度② /	
S	0.0116	4	74	5/ 211	100/ 449	357
T	0.0118	6	72	6/ 200	100/ 446	353
A	0.0058	2	94	2/ 200	100/ 427	355
249	0.0053	4	95	4/ 205	100/ 423	351
D	0.0075	4	89	4/ 200	100/ 448	356
J	-	3	90	4/ 212	100/ 458	344

注：① 分子是热失重值，分母是急剧失重的温度  
② 分子是热失重值，分母是完全解聚的温度

最小值间仅相差 4%，可以认为这 6 种交联有机玻璃的积分分解温度基本相同。

线型分子结构的不增塑有机玻璃的平行对照试验显示 (未列入表中)，线型不增塑有机玻璃 200 时热失重 2%，400 时热失重 100%，积分分解温度为 329 。

需要说明的是，6 种交联有机玻璃的 TG 曲线上都存在两个失重陡坡，相应的 DTG 曲线上出现两个明显的波峰 (图 1)。傅立叶 (FTIR) -热重分析 (TGA) 结果表明，这两个失重陡坡释放出的物质均是甲基丙烯酸甲酯，见图 2。我们认为；它们分别对应于聚合物不同链结构位置的解聚，这有待进一步试验验证。

2.3 模拟温差试验

模拟温差试验是把有机玻璃材料置于实验室模拟的飞机实际飞行的温度和时间条件下，之后观察材料表面状态的变化，用以辅助选材。需观察的材料表面状态包括：外观、折光和波纹、定向材料的热松弛和浇注材料的热收缩。

本试验中模拟了 M ~ 2.3 和 M ~ 2.5 两种战斗机的典型高温飞行温度和时间条件。这两种飞行条件中，有机玻璃外表面 (受高温面) 经受的温度和时间条件曲线如图 3 所示；内表面处在自由状态时温度应低于 40 ，否则调节到 35 ~ 40 。每种材料的试验都依上述条件进行 30 个循环。试验结果见表 4。

表 4 显示，经 M ~ 2.3 飞机的模拟飞行条件试验后，定向有机玻璃 S 和 D 的高温面热松弛在试验误差范围内，可以认为不会产生热松弛现象，亦没有其它状态变化。经 M ~ 2.5 飞机的模拟飞行条件试验后，定向有机玻璃 S、D、A 和 T 的热松弛和浇注有机玻璃 J 的热收缩在 0.32% 以下，材料 S 表面出现明显的折光和波纹，材料 D 和 J 表面出现点状缺陷，材料 A 和 T 表面

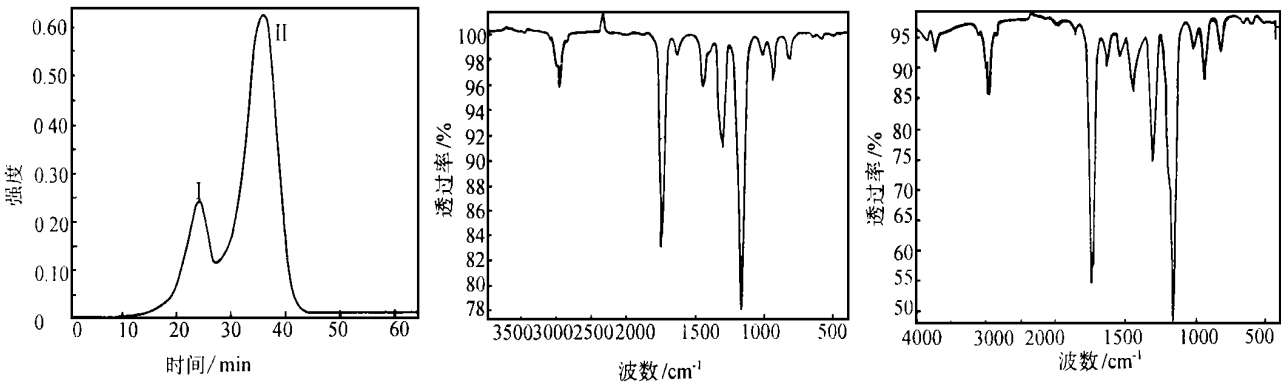


图 2 交联有机玻璃 FTIR-TGA 分析

(a) DTG 曲线图; (b) DTG 曲线峰 的 FTIR 图; (c) DTG 曲线峰 的 FTIR 图

Fig. 2 FTIR-TGA analysis of the crosslinked acrylic plastics

(a) DTG curve; (b) FTIR of the peak in the DTG curve; (c) FTIR result of the peak in the DTG curve

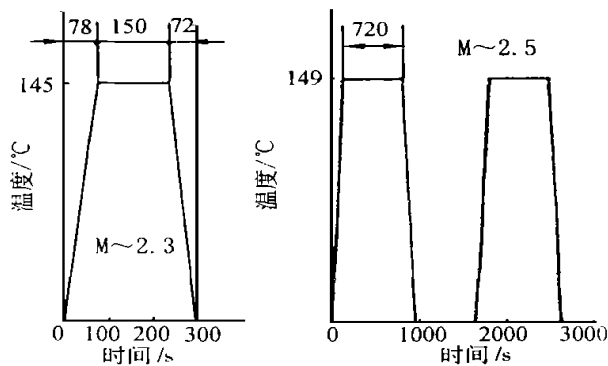


图 3 飞机的典型高温面飞行温度和时间曲线

Fig. 3 The typical mission profile of fighter

没有状态变化。材料 D 和 J 表面出现的点状缺陷可以通过提高材料组成的纯度来解决。

从国外的应用情况看, 马赫数  $M = 2.5$  的 F-15E 战斗机的座舱透明件采用单层结构的 Acrivue 350S 的交联有机玻璃, 使用过程中没有出现重要问题<sup>[1,2]</sup>。

2.4 热强度

表 4 各种材料的温差试验结果

Table 4 Temperature difference experimental results of different materials

材 料	模 拟 飞 行 条 件	30 循环后高温面状态					
		热松弛/ %		热收缩/ %		备 注	
		X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向		
S	M ~ 2.3	0.08	- 0.10	-	-	表面无变化	
D	M ~ 2.3	- 0.07	0.00	-	-	表面无变化	
S	M ~ 2.5	0.25	0.32	-	-	出现折光和波纹	
D	M ~ 2.5	0.05	0.12	-	-	出现点状缺陷	
T	M ~ 2.5	0.02	0.02	-	-	表面无变化	
J	M ~ 2.5	-	-	0.15	0.25	出现点状缺陷	

材料 S 和 D 在温差条件下的拉伸强度和材料 A, T 和 D 在 100 下的拉伸强度见表 5。由表 5 可知, 国产交联有机玻璃的热强度与国外同类材料基本处于同一水平。已知线型分子结构的不增塑有机玻璃在 100 时拉伸强度已失稳。

表 5 热强度试验结果

Table 5 Experimental results of thermal strength

材料	试验条件	拉伸强度/MPa	备注
S	150 / 35 ~ 40 × 30min	46.1	试样经过
D	150 / 35 ~ 40 × 30min	45.8	调节处理
A	100 × 20min	27.0	试样未经
T	100 × 20min	32.9	调节处理
D	100 × 30min	31.0	

3 结论

(1) 交联有机玻璃的热性能优于线型不增塑有机玻璃, 在热性能方面可作为制造马赫数  $M = 2.3 \sim 2.5$  高性能战斗机座舱透明件的候选材料。

(2) 国产交联有机玻璃的热性能已经基本达到发达国家同一类型有机玻璃的水平。

参考文献

[ 1 ] F. F. Abdi, G. M. Clark. High Performance Transparency Design [ R ]. AD-A234 456, November 1990.  
[ 2 ] Peter T. Specifications and Measurement Procedures for Aircraft Transparencies [ R ]. AD-A209 396, September 1988.

[ 作者简介 ] 王磊 (1972-), 女, 硕士, 工程师。联系地址: 北京 81 信箱 12 分箱 (100095)