

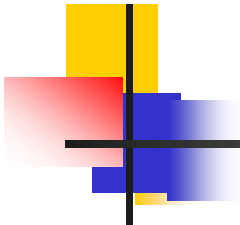
商用飞机热塑性复合材料制造技术



Manufacturing Technologies of Thermoplastic Composites for Commercial Aircraft

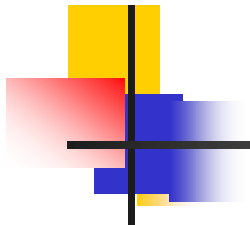
刘卫平

2013年4月17日



目 录

- 前言
- 航空用热塑性复合材料
- 热塑性复合材料制造技术
- 热塑性复合材料在航空上的应用
- 结论

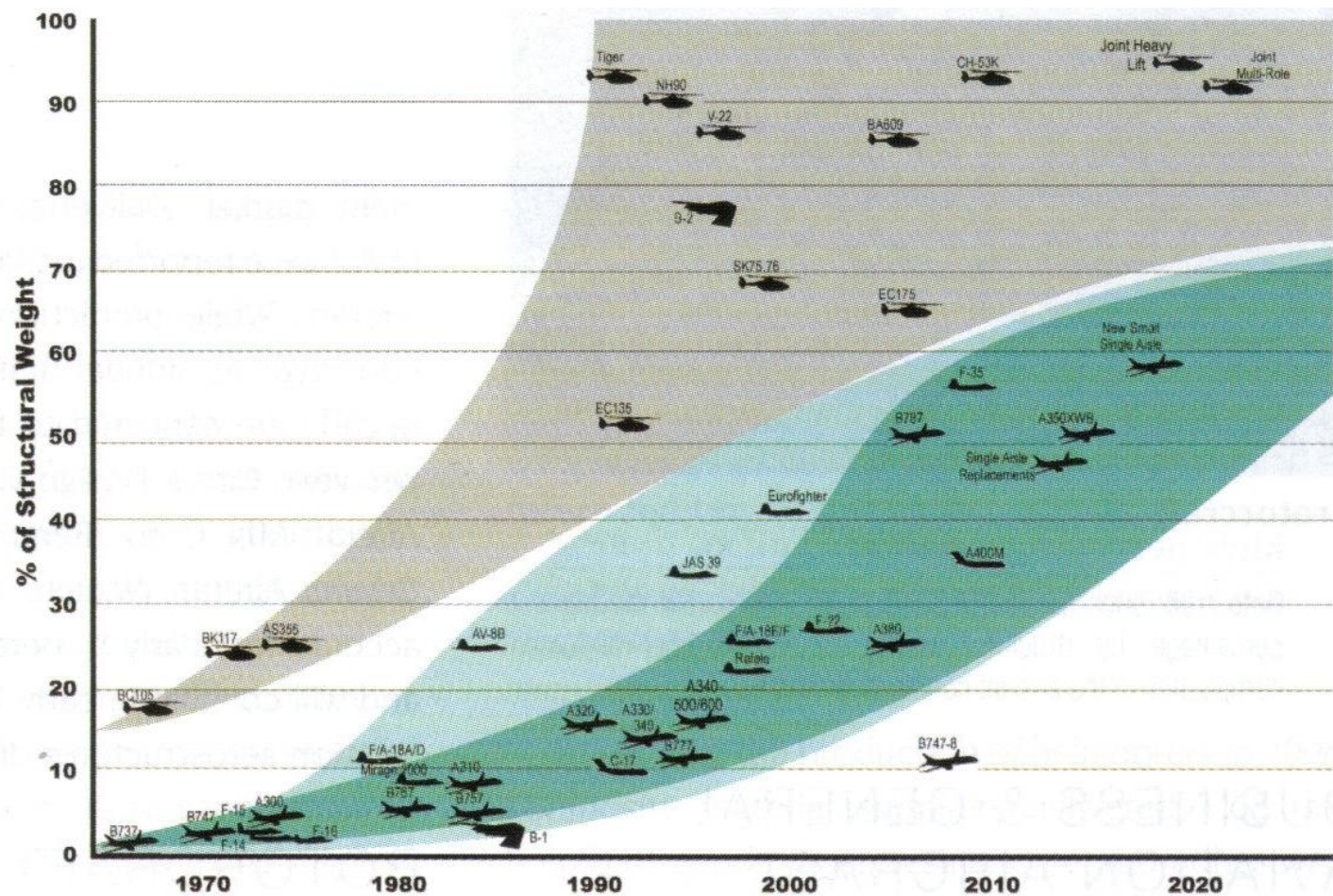


目 录

➤ 前言



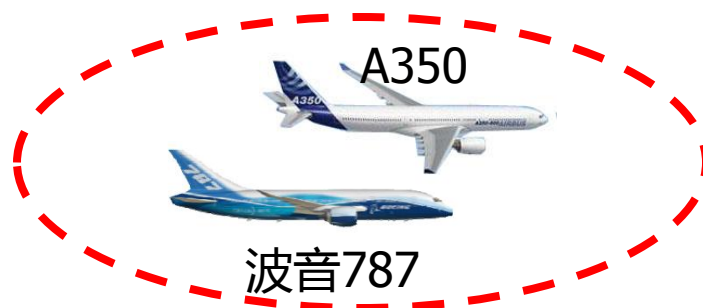
先进复合材料在飞机应用情况



先进复合材料在商用飞机应用情况

复合材料用量

A350 :	52%
B787 :	50%
A380 :	25%
A340 :	14%
B777 :	11%
B757 :	4%
B767 :	4%



年份

1970

1980

1990

2000

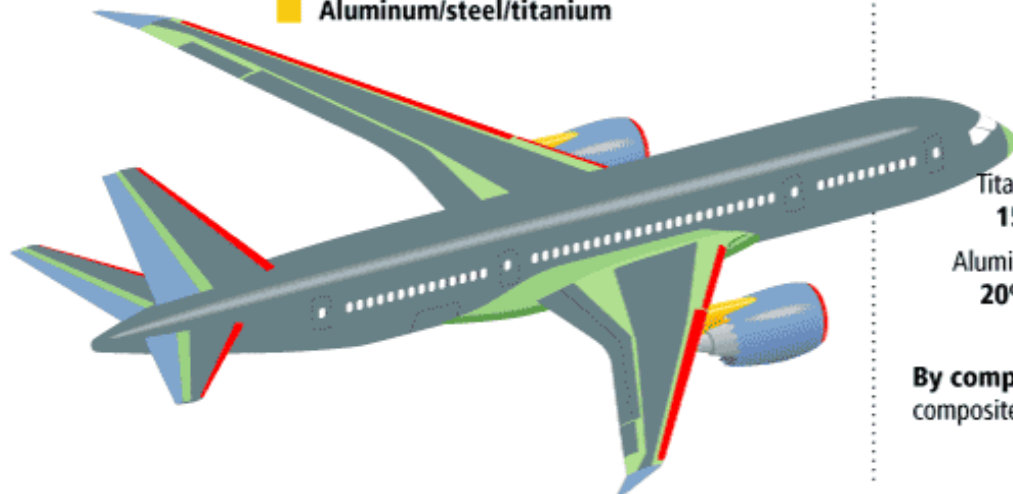
2010

先进复合材料在波音飞机应用情况

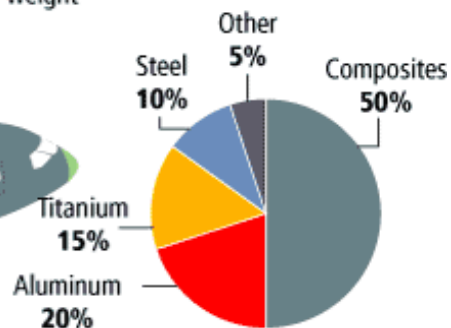


Materials used in 787 body

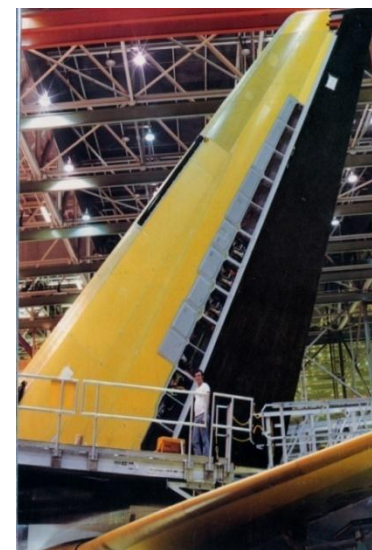
- Fiberglass
- Aluminum
- Carbon laminate composite
- Carbon sandwich composite
- Aluminum/steel/titanium



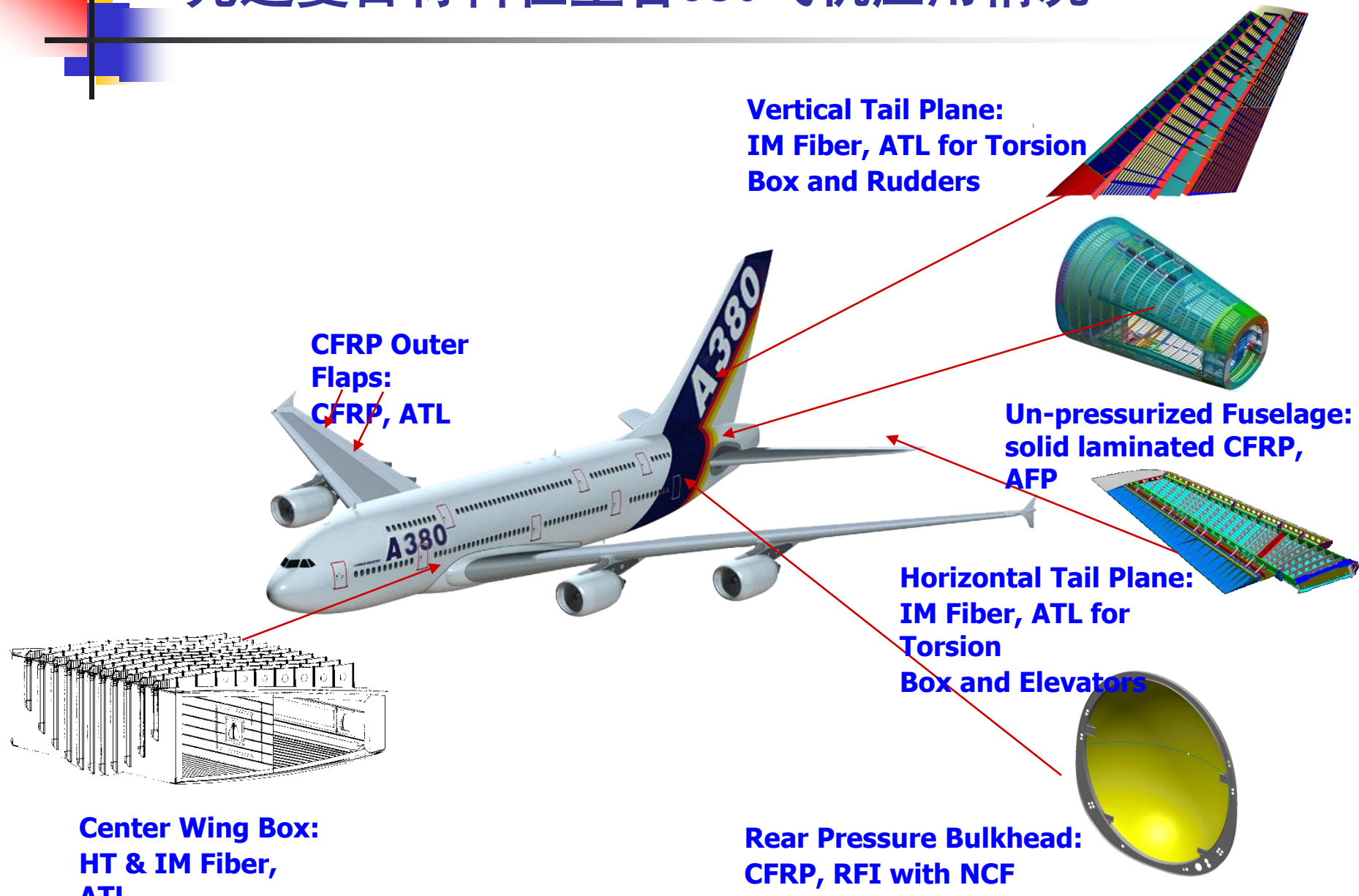
Total materials used
By weight



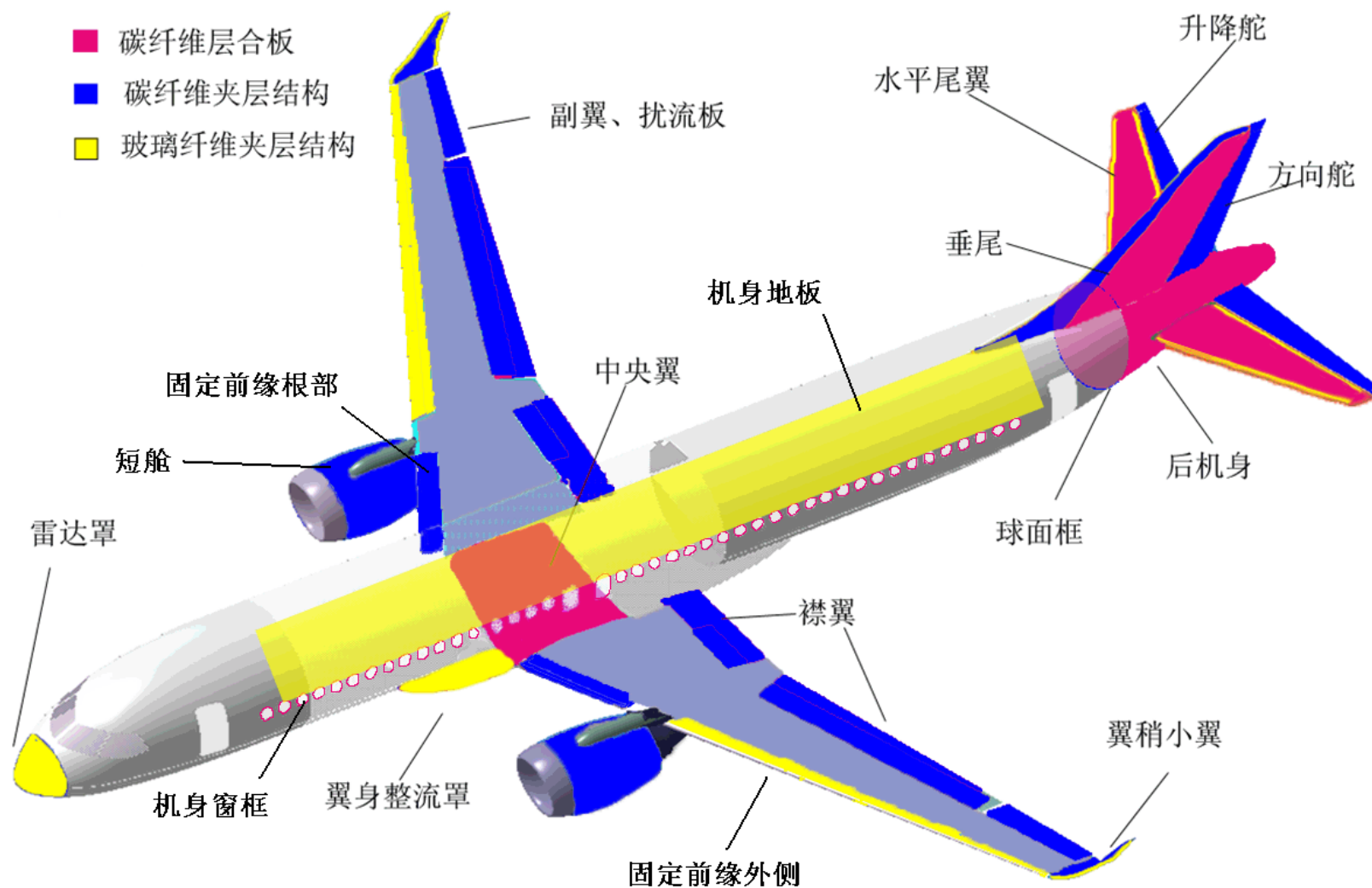
By comparison, the 777 uses 12 percent composites and 50 percent aluminum.

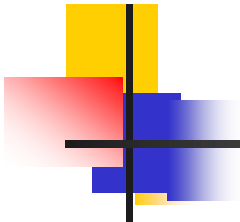


先进复合材料在空客380飞机应用情况



先进复合材料在C919飞机应用情况





航空结构热固性复合材料制造

- 热压罐成型(主流)
- 先进自动化及共固化技术（自动铺丝、热隔膜等）
- 液体成型（VARI、RFI、RTM等）
- 先进拉挤成型
- 缠绕成型

航空热固性复合材料结构制造技术



材料入厂

入厂复验

铺叠

预成型

蒙皮、长桁、缘条的装配

目视检查

固化

检验固化参数

脱模

航空热固性复合材料结构制造技术



目视检查

柔性模具+ 切割



随炉试片检测

目视检查和尺寸检测



无损检测

喷漆

终检



环氧等热固性材料的缺点

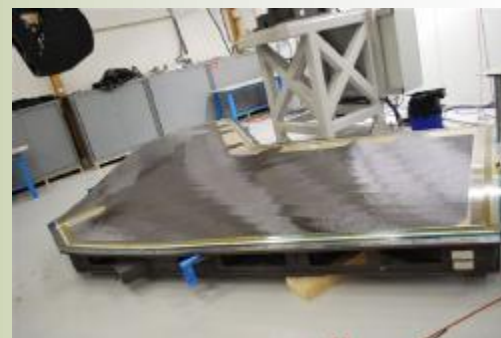
- ✓ 需要高温长时间固化、投资及使用成本高
- ✓ 需低温储存，保质期有限
- ✓ 工作环境要求高
- ✓ 韧性低
- ✓ 易吸湿，湿热性能较差
- ✓ 不环保，无法进行材料的再加工与再生等

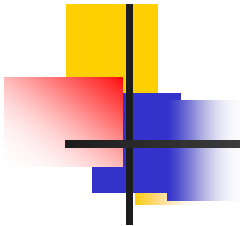
热塑性复合材料的特点

热塑性树脂替代热固性树脂，作为先进复合材料基体的研究在民用航空业得到了广泛的关注，当自动化制造技术相结合，有可能会带来革命性的变化，波音和空客公司都各自成立了相应的研发机构进行应用研究

与热固性复合材料相比

- ✓ 更高的韧性和损伤容限
- ✓ 原材料可以在室温下长期储存
- ✓ 制件具有很低的吸湿率
- ✓ 具备优异的阻燃性能和低的烟气毒性
- ✓ 同时可以回收再加工



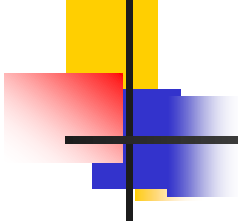


目 录



➤ 航空用热塑性复合材料

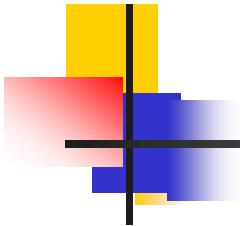




常用的热塑性基体树脂

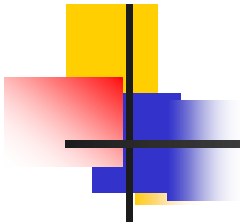
Polymer	T _g	Process Temperature	Morphology
PEEK	290°F (143°C)	715° – 740°F (380° – 395°C)	Semi-Crystalline
PEI	423°F (217°C)	575° – 625°F (300° – 330°C)	Amorphous
PPS	192°F (89°C)	550° – 620°F (290° – 325°C)	Semi-Crystalline
PEKK	312°F (156°C)	645° – 690°F (340° – 365°C)	Semi-Crystalline
Nylon – 11	108°F (42°C)	360° – 400°F (180° – 205°C)	Semi-Crystalline
Nylon – 6	116°F (47°C)	415° – 450°F (210° – 230°C)	Semi-Crystalline

Table 1. Thermoplastic Polymers Used in Composites



热塑性基体树脂的物理性能

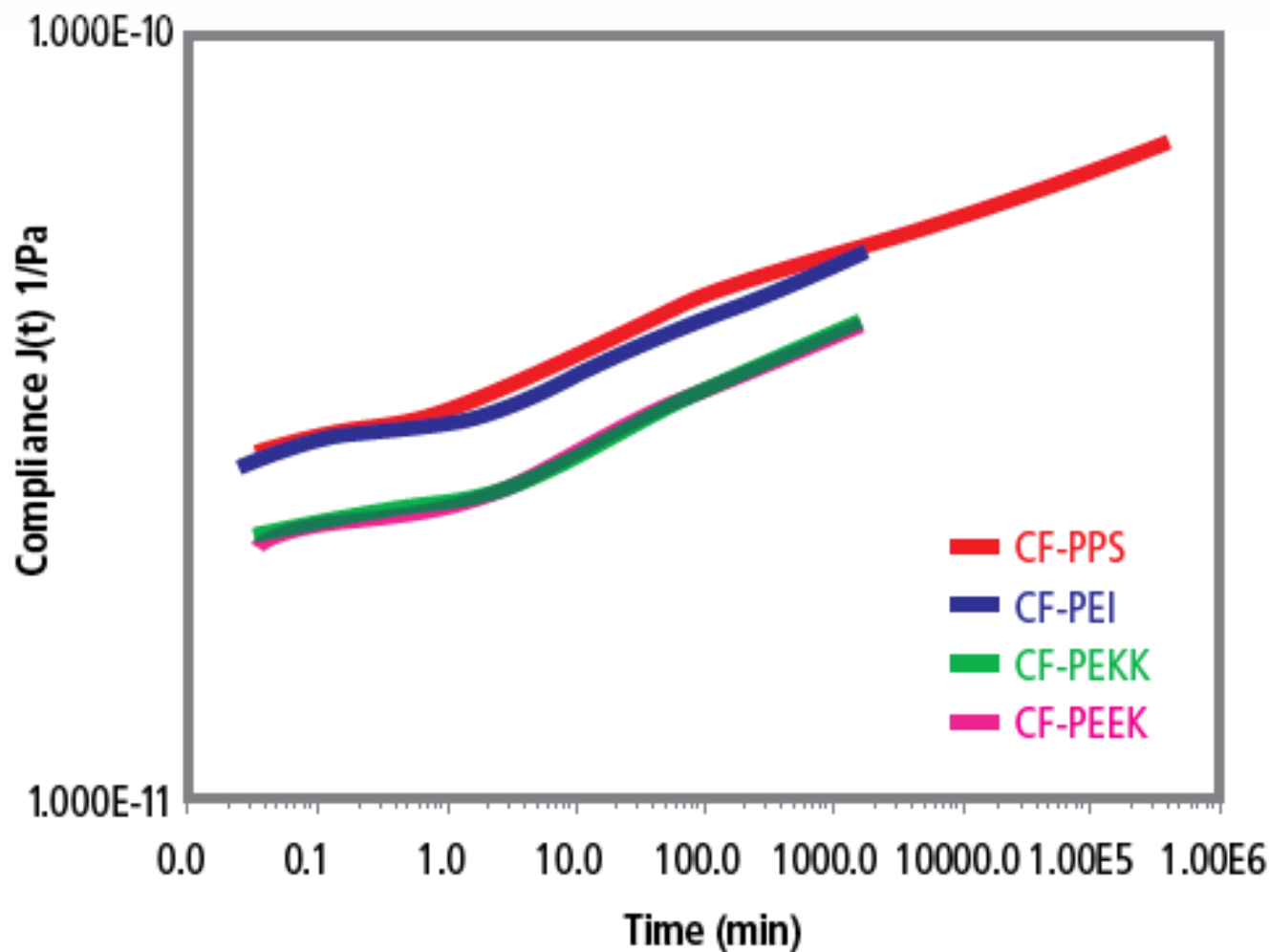
树脂	密度 (g/cm ³)	T _g (°C)	T _m (°C)	黏度 (Pa.s)	吸湿率	成形温度
<i>PPS</i>	1.35	85	285	140	-0.02%	315~340
<i>PEI</i>	1.27	210	360	-		
<i>PEEK</i>	1.32	143	343	3500		350~380
<i>PEKK</i>	1.29	156	338	2500		-
<i>Epoxy (PE 3501)</i>	1.2	193	-	2~3	4.13%	177

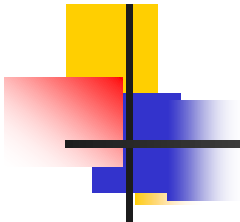


热塑性基体树脂的力学性能

树脂	拉伸模量 (GPa)	拉伸强度 (MPa)	断裂伸长率 (%)	断裂韧性 (KJ/m ²)
<i>PPS</i>	3.76	90.3	7	-
<i>PEI</i>	2.96	104	7	-
<i>PEEK</i>	3.6	93.8	4.7	2.0
<i>PEKK</i>	4.48	102	4.0	1.0
<i>Conventional Epoxy</i> <i>(PE 3501)</i>	4.43	69.0	1.7	0.1

热塑性基体树脂的抗蠕变性能





热塑性基体树脂的耐腐蚀性

Chemical Resistance of Candidate Resins

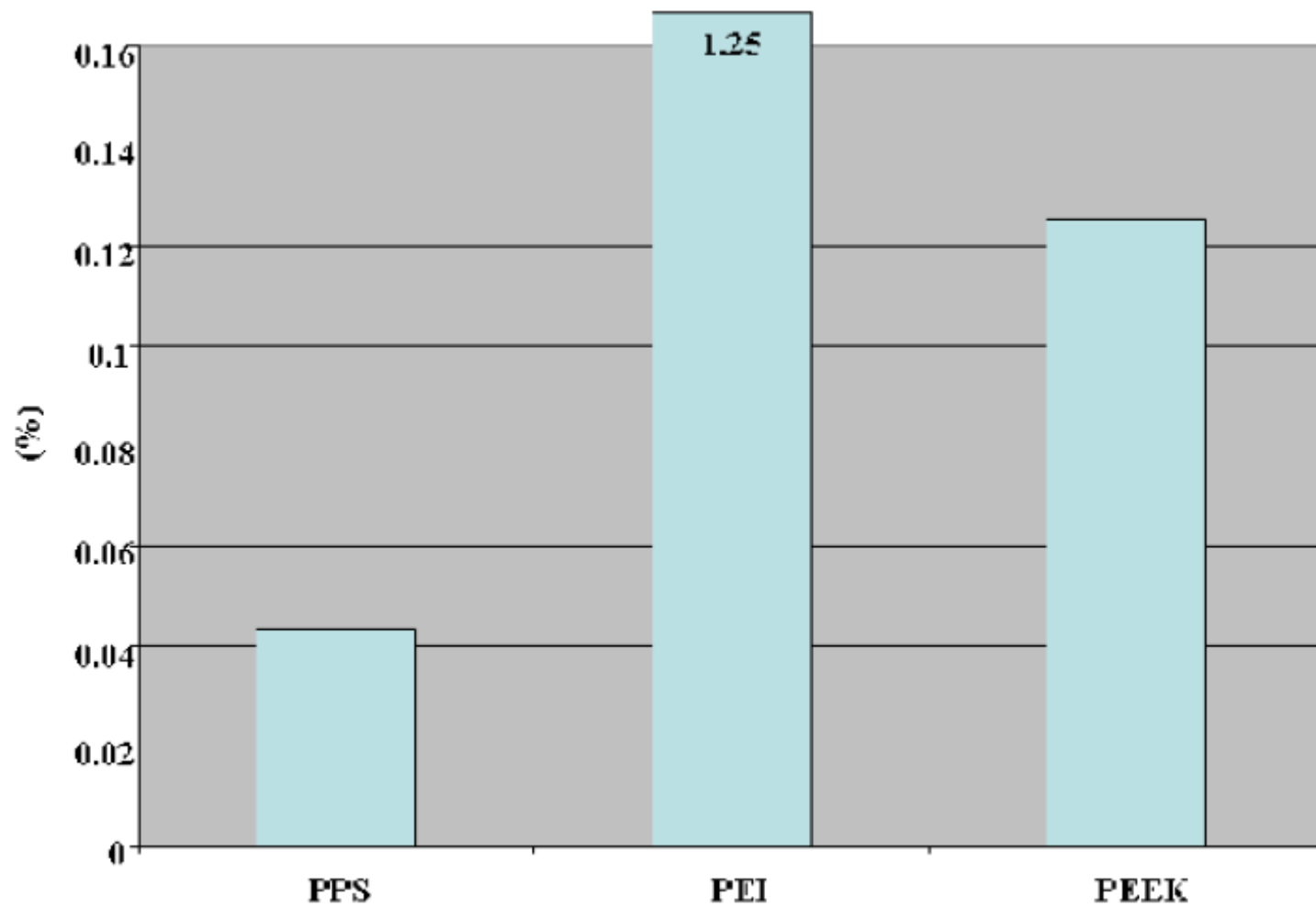
	PPS		PEI		PEEK	
	RT	100°C	RT	100°C	RT	100°C
Sulfuric acid, <10%	A	A	A	C	B	B
Sulfuric acid, >10%	A	C	A	C	C	C
Ethanol	A	A	A	B	A	A
Ethylene glycol	A	A	A	B	A	A
Acetone	A	A	C	C	A	A
Toluene	A	A	C	C	A	A

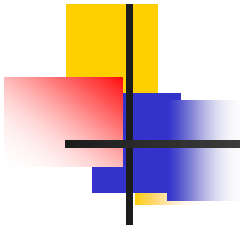
A = no attack

B = slight attack

C = severe attack

热塑性基体树脂的吸湿性能



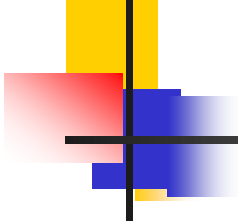


Tencate公司的热塑性预浸料产品

TENCATE CETEX[®] ENGINEERED THERMOPLASTIC COMPOSITES

Materials	Available Product Forms	Resin Type	Temperature Service / Tg / Processing	Morphology	Features
Cetex PEEK	Fabrics, Unitape, RTL, BMC	Poly-ether-ether-ketone	Ts = 250-300°F (93-149°C) Tg = 290°F (143°C) Tp = 715-740°F (380-395°C)	Semi-Crystalline	Highest temperature performance Excellent solvent resistance Low FST
Cetex PPS	Fabrics, Unitape, RTL, BMC	Poly-phenylene Sulfide	Ts = 150-200°F (65-93°C) Tg = 192°F (89°C) Tp = 575-625°F (290-325°C)	Semi-Crystalline	Excellent solvent resistance Low moisture absorption Low FST Moderate service temperature
Cetex PEI	Fabrics & RTL	Poly-ether-imide	Ts = 300-350°F (149-177°C) Tg = 423°F (217°C) Tp = 575-625°F (290-325°C)	Amorphous	Good bondability Good high temperature performance Low FST Moderate solvent resistance

BMC - Thermoplastic bulk molding compounds. RTL - Reinforced Thermoplastic Laminate. FST-Flame, smoke and toxicity.



PPS/T300织物复合材料的力学性能

Physical/Thermal (nominal values)

T300 3K 5HS/PPS with double sided Amcor foil

7781/PPS

Mechanical Properties 80°C (176°F) Dry

Tensile strength warp	730 MPa	105.9 ksi	280 MPa	40.5 ksi
Tensile strength weft	646 MPa	93.6 ksi	281 MPa	40.7 ksi
Tensile modulus warp	57 GPa	8.2 Msi	20 GPa	2.9 Msi
Tensile modulus weft	53 GPa	7.6 Msi	19 GPa	2.7 Msi
Compression strength warp	558 MPa	80.9 ksi	297 MPa	43.0 ksi
Compression strength weft	526 MPa	76.3 ksi	203 MPa	29.4 ksi
Compression modulus warp	51 GPa	7.5 Msi	22 GPa	3.2 Msi
Compression modulus weft	51 GPa	7.4 Msi	20 GPa	2.9 Msi
Flexural strength warp	955 MPa	138.4 ksi		
Flexural strength weft	794 MPa	115.1 ksi		
Flexural modulus warp	58 GPa	8.4 Msi		
Flexural modulus weft	45 GPa	6.5 Msi		
In plane shear strength	108 MPa	15.7 ksi	60 MPa	8.6 ksi
In plane shear modulus	2651 MPa	384.4 ksi	1705 MPa	247.3 ksi

PPS/T300织物复合材料的力学性能（湿态）

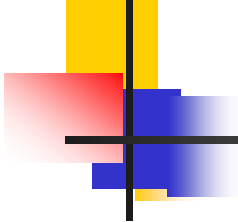
Physical/Thermal (nominal values)

T300 3K 5HS/PPS with double sided Amcor foil

7781/PPS

Mechanical properties 80°C (176°F) conditioned at 70°C (158°F) and 85%RH

Tensile strength warp	756 MPa	109.6 ksi	289 MPa	41.9 ksi
Tensile strength weft	698 MPa	101.2 ksi	289 MPa	41.8 ksi
Tensile modulus warp	56 GPa	8.2 Msi	21 GPa	3.0 Msi
Tensile modulus weft	53 GPa	7.6 Msi	19 GPa	2.8 Msi
Compression strength warp	578 MPa	83.8 ksi	230 MPa	33.4 ksi
Compression strength weft	535 MPa	77.5 ksi	156 MPa	22.6 ksi
Compression modulus warp	52 GPa	7.5 Msi	22 GPa	3.1 Msi
Compression modulus weft	51 GPa	7.4 Msi	20 GPa	2.9 Msi
Flexural strength warp	977 MPa	141.7 ksi		
Flexural strength weft	739 MPa	107.2 ksi		
Flexural modulus warp	60 GPa	8.7 Msi		
Flexural modulus weft	44 GPa	6.4 Msi		
In plane shear strength	104 MPa	15.1 ksi	68 MPa	9.8 ksi
In plane shear modulus	2998 MPa	434.7 ksi	1437 MPa	208.4 ksi
Open hole tensile strength	270 MPa	39.1 ksi	135 MPa	19.6 ksi
Open hole compressive strength	232 MPa	33.7 ksi	110 MPa	16.0 ksi
Compression after impact	218 MPa	31.6 ksi		
Bearing strength yield	413 MPa	59.9 ksi	184 MPa	26.7 ksi
Bearing strength ultimate	839 MPa	121.6 ksi	384 MPa	55.6 ksi



PEI/T300热塑性复合材料力学性能

Physical/Thermal (nominal values) Mechanical properties 80°C Dry

T300 3K PW/PEI

	<i>English Units</i>		<i>Metric</i>	
Tensile strength weft	101.6	ksi	701	MPa
Tensile modulus weft	8.1	Msi	56	GPa
Compression strength weft	80.6	ksi	556	MPa
Compression modulus weft	7.4	Msi	51	GPa
Flexural strength weft	117.2	ksi	808	MPa
Flexural modulus weft	7.1	Msi	49	GPa
In plane shear strength	17.5	ksi	121	MPa
In plane shear modulus	390.8	ksi	2695	MPa

T300 3K 5HS/PEI

<i>English Units</i>		<i>Metric</i>	
115.0	ksi	793	MPa
6.4	Msi	44	GPa

PEI/T300热塑性复合材料力学性能 (湿态)

Physical/Thermal (nominal values)

T300 3K PW/PEI

T300 3K 5HS/PEI

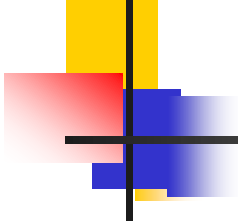
7781/PEI

Mechanical properties 176°F (80°C) conditioned at 122°F (50°C) and 95% RH for 7 days

	<i>English Units</i>	<i>Metric</i>		<i>English Units</i>	<i>Metric</i>		<i>English Units</i>	<i>Metric</i>		
Flexural strength warp			124.3	ksi	857	MPa	94.5	ksi	652	MPa
Flexural strength weft			115.4	ksi	796	MPa	83.8	ksi	578	MPa
Flexural modulus wart			7.3	Msi	50	GPa	3.9	Msi	27	GPa
Flexural modulus weft			6.7	Msi	46	GPa	3.5	Msi	24	GPa

Mechanical properties 176°F (80°C) conditioned at 158°F (70°C) and 85% RH

	<i>English Units</i>		<i>Metric</i>			<i>English Units</i>		<i>Metric</i>	
Tensile strength weft	92.9	ksi	641	MPa	112.1	ksi	773	MPa	
Tensile modulus weft	8.0	Msi	55	GPa	8.0	Msi	55	GPa	
Compression strength weft	76.3	ksi	526	MPa	87.7	ksi	605	MPa	
Compression modulus weft	7.5	Msi	52	GPa	7.8	Msi	54	GPa	
Flexural strength weft	109.0	ksi	752	MPa	108.0	ksi	745	MPa	
Flexural modulus weft	6.5	Msi	45	GPa	6.4	Msi	44	GPa	
In plane shear strength	15.8	ksi	109	MPa	15.8	ksi	109	MPa	
In plane shear modulus	367.4	ksi	2534	MPa	371.5	ksi	2562	MPa	



与常用热固性复合材料性能对比

977-2中模量碳纤维复合材料

Mechanical Properties	-65°F (-54°C)	RT	180°F (82°C)	180°F WET' (82°C WET')
0° Tensile Properties				
Strength, ksi	390	390		
Modulus, Msi	24.0	24.0		
Strength, MPa	2690	2690		
Modulus, GPa	165	165		
0° Compressive Properties				
Strength, ksi		230	210	180
Modulus, Msi		22.0	22.0	22.0
Strength, MPa		1580	1450	1240
Modulus, GPa		152	152	152
Quasi Compression After 1500 in-lb/in Impact				
Strength, ksi		38		
Strength, MPa		262		
Quasi Open Hole Compression				
Strength, ksi		45	39	37
Strength, MPa		310	269	255
Quasi Open Hole Tensile				
Strength, ksi		65		
Strength, MPa		448		

Property values listed are typical for laminates with 57 to 63% fiber volume. All testing per BMS 8-276.

Cure = 3 hours at 355°F (180°C).

Wet = 7 day water immersion at 165°F (74°C)

X850高韧性中模碳纤维复合材料

Property 性能	Test Method 测试方法 Lay Up 铺层	Test Condition 测试条件	Results ² 结果 ²
0° Tension 0°拉伸 Strength, ksi (MPa) 强度, ksi (MPa) Modulus Msi (GPa) 模量, Msi (GPa) Strain, % 应变, % Poisson's Ratio 泊松比	ASTM D3039 [0]8	-75°F (-59°C) , ambient humidity -75°F (-59°C) , 环境湿度	438 (2965) 27.7 (191) 1.45 0.326
		Room temperature, ambient humidity 室温, 环境湿度	445 (2703) 28.3 (195) 1.47 0.331
90° Tension 90°拉伸 Strength, ksi (MPa) 强度, ksi (MPa) Modulus Msi (GPa) 模量, Msi (GPa)	ASTM D3039 [90]12	Room temperature, ambient humidity 室温, 环境湿度	12.8 (88) 1.2 (8.6)
0° Compression 0°压缩 Strength, ksi (MPa) 强度, ksi (MPa) Modulus Msi (GPa) 模量, Msi (GPa)	SACMA SRM01R94 [0]6	Room temperature, ambient humidity 室温, 环境湿度	253 (1747) 24.1 (165)
		180°F (82°C) , ambient humidity 180°F (82°C) , 环境湿度	203 (1402) 24.0 (166)
		180°F (82°C) ,WET ¹ 180°F (82°C) , 湿 ¹	194 (1339) N/A 不涉及
90° Compression 90°压缩 Strength, ksi (MPa) 强度, ksi (MPa) Modulus Msi (GPa) 模量, Msi (GPa)	SACMA SRM01R94 [90]12	Room temperature, ambient humidity 室温, 环境湿度	39.3 (271) 1.4 (9.7)

Properties 性能	Test Method 测试方法 Lay Up 铺层	Condition 条件	Results ² 结果 ²
Interlaminar Shear Strength 层间剪切强度 (Short Beam Shear) (短梁剪切) Strength, ksi (MPa) 强度, ksi (MPa)	ASTM D2344 [0]20	Room temperature, ambient humidity 室温, 环境湿度	15.0 (103)
Compressive Interlaminar Shear Strength 压缩层间剪切强度 Strength, ksi (MPa) 强度, ksi (MPa)	ASTM D3846 [0]20	Room temperature, ambient humidity 室温, 环境湿度	12.7 (88)
		180°F (82°C) , ambient humidity 180°F (82°C) , 环境湿度	9.9 (69)
		180°F (82°C) , WET ¹ 180°F (82°C) , 湿 ¹	8.7 (60)
0° Flexure Strength 0°挠曲强度 Strength, ksi (MPa) 强度, ksi (MPa) Modulus Msi (GPa) 模量, Msi (GPa)	ASTM D790 [0]12	Room temperature, ambient humidity 室温, 环境湿度	240 (1652) 23.1 (159)

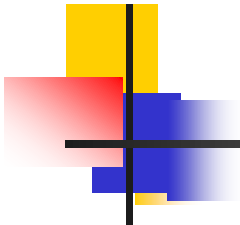
Properties 性能	Test Method 测试方法 Lay Up 层叠	Condition 条件	Results ² 结果 ²
QI Open Hole Tension QI 开孔拉伸强度 Strength, ksi (MPa) 强度, ksi (MPa)	ASTM D5766 [45/90/-45/0]2S	-75°F (-59°C), ambient humidity -75°F (-59°C), 环境湿度	74 (508)
		Room temperature, ambient humidity 室温, 环境湿度	79 (543)
QI Filled Hole Tension , Protruding Head QI 填料孔拉伸, 凸头 Strength, ksi (MPa) 强度, ksi (MPa)	ASTM D6742 [45/90/-45/0]2S	Room temperature, ambient humidity 室温, 环境湿度	65 (446)
QI Unnotched Compression QI 无缺口压缩强度 Strength, ksi (MPa) 强度, ksi (MPa) Modulus Msi (GPa) 模量, Msi (GPa)	ASTM D6641 [45/90/-45/0]2S	Room temperature, ambient humidity 室温, 环境湿度	93 (639) 8.7 (60)
QI Open Hole Compression  QI 开孔压缩强度 Strength, ksi (MPa) 强度, ksi (MPa)	ASTM D6484 [45/90/-45/0]2S	Room temperature, ambient humidity 室温, 环境湿度	43 (294)
		180°F (82°C), ambient humidity 180°F (82°C), 环境湿度	39 (271)
		180°F (82°C), WET ¹ 180°F (82°C), 湿 ¹	36 (250)
QI Filled Hole Tension , Protruding Head QI 已填料孔拉伸, 凸头 Strength, ksi (MPa) 强度, ksi (MPa)	ASTM D6742 [45/90/-45/0]2S	Room temperature, ambient humidity 室温, 环境湿度	63 (437)

¹ Exposure: 180°F (82°C) water soak for 14 days.

¹ 暴露: 在180°F (82°C) 的水中浸泡14天

² Results normalized to 0.00725 in (0.184 mm) cured ply thickness

² 结果换算为0.00725英寸 (0.184毫米) 的固化单层厚度

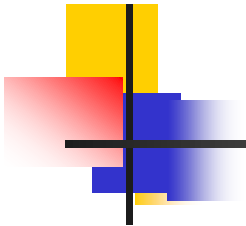


目 录



热塑性复合材料制造技术

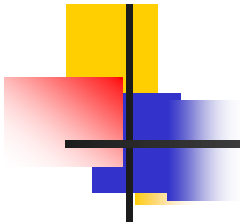




热塑性预浸料制备技术

树脂	溶液浸渍法	熔融浸渍法	纤维混合法	粉末混合法
<i>PEEK</i>	×	√	√	√
<i>PPS</i>	×	√	-	√
<i>PEI</i>	-	√	×	√
<i>PES</i>	×	√	√	-

×：不适合；√：适合

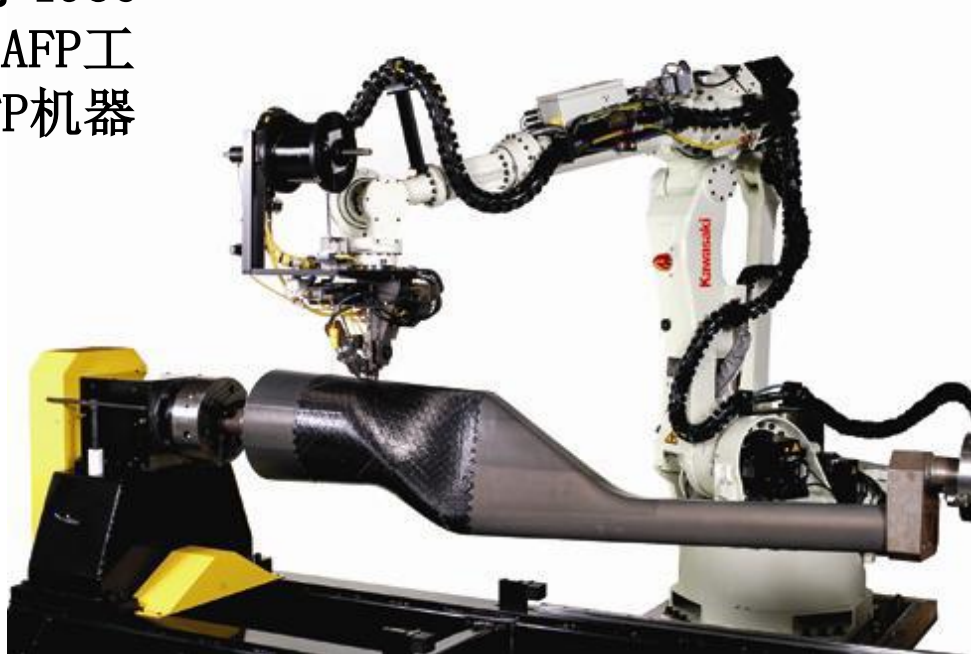


热塑性复合材料成型工艺方法

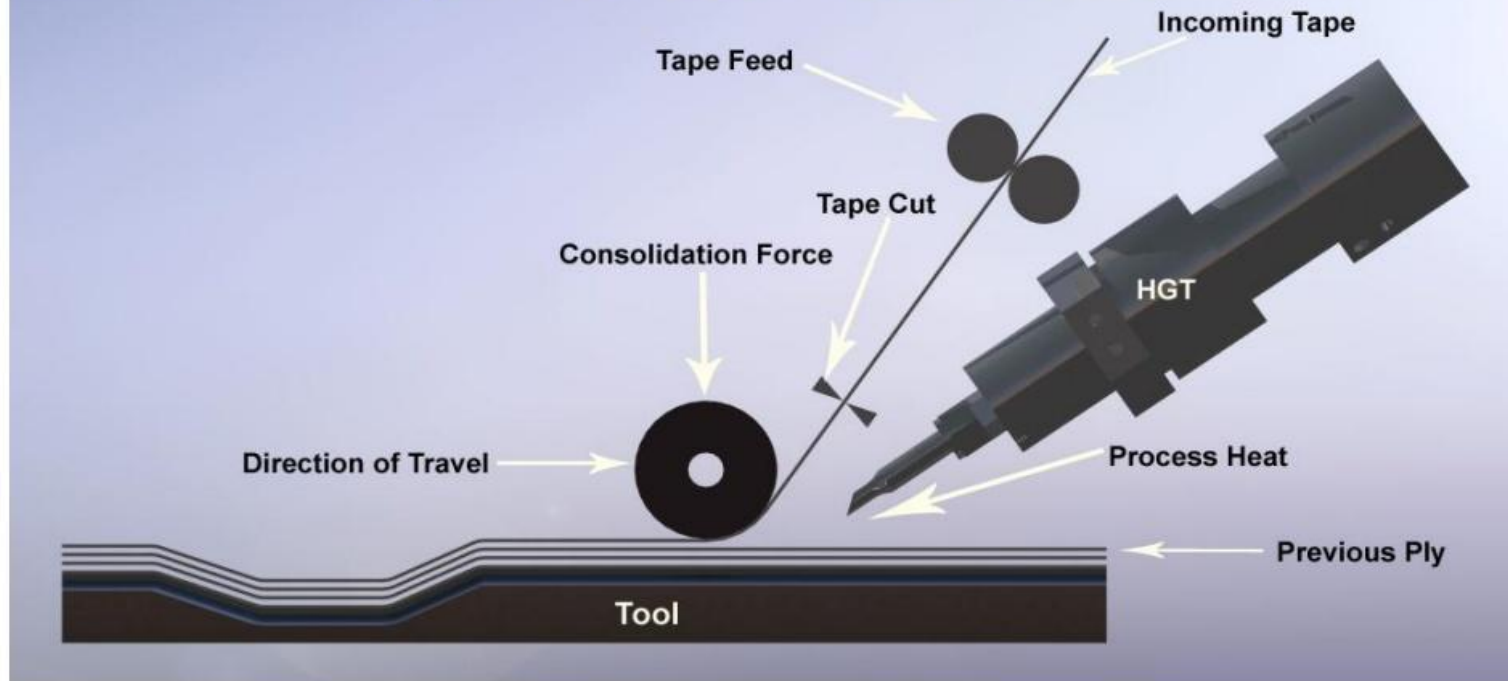
- 热压罐成型技术
- 模压成型技术
- 纤维混纺成型技术
- 预浸料自动铺丝原位成型技术
- 超塑性气压成型技术
- 无模具成型技术
- 焊接技术

预浸料自动铺丝原位成型（AFP）技术

- 上世纪八十年代早期首次发展了应用于航空航天的高温塑性复合材料预浸料
- 1985年首次发表了关于热塑性复合材料工艺模型
- Automated Dynamics公司于1986年开始发展热塑性复合材料AFP工艺，于1990提供了第一套AFP机器



Tape/ Fiber Placement Process



工艺过程：

- 浸渍了树脂的纤维束单步连续在工装表面进行定位、铺叠和凝固。
- 当指定结构大的表面被覆盖并达到一定的厚度时，制品就完成了。
- 后面的热压罐成型或模压凝固可以不必进行。
- 成型过程一般结合预浸料自动铺放技术，计算机控制程序可以使这一工艺过程完成自动化，提供了生产率，降低了劳动消耗，使加工成本进一步减少

早期AFP 工艺铺丝头

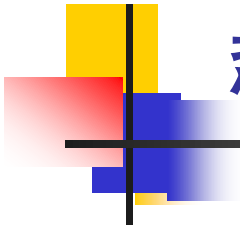


Ref. Kurt Kimball and David Hauber, SAMPE, 2008



Rouse模型和Reptation模型

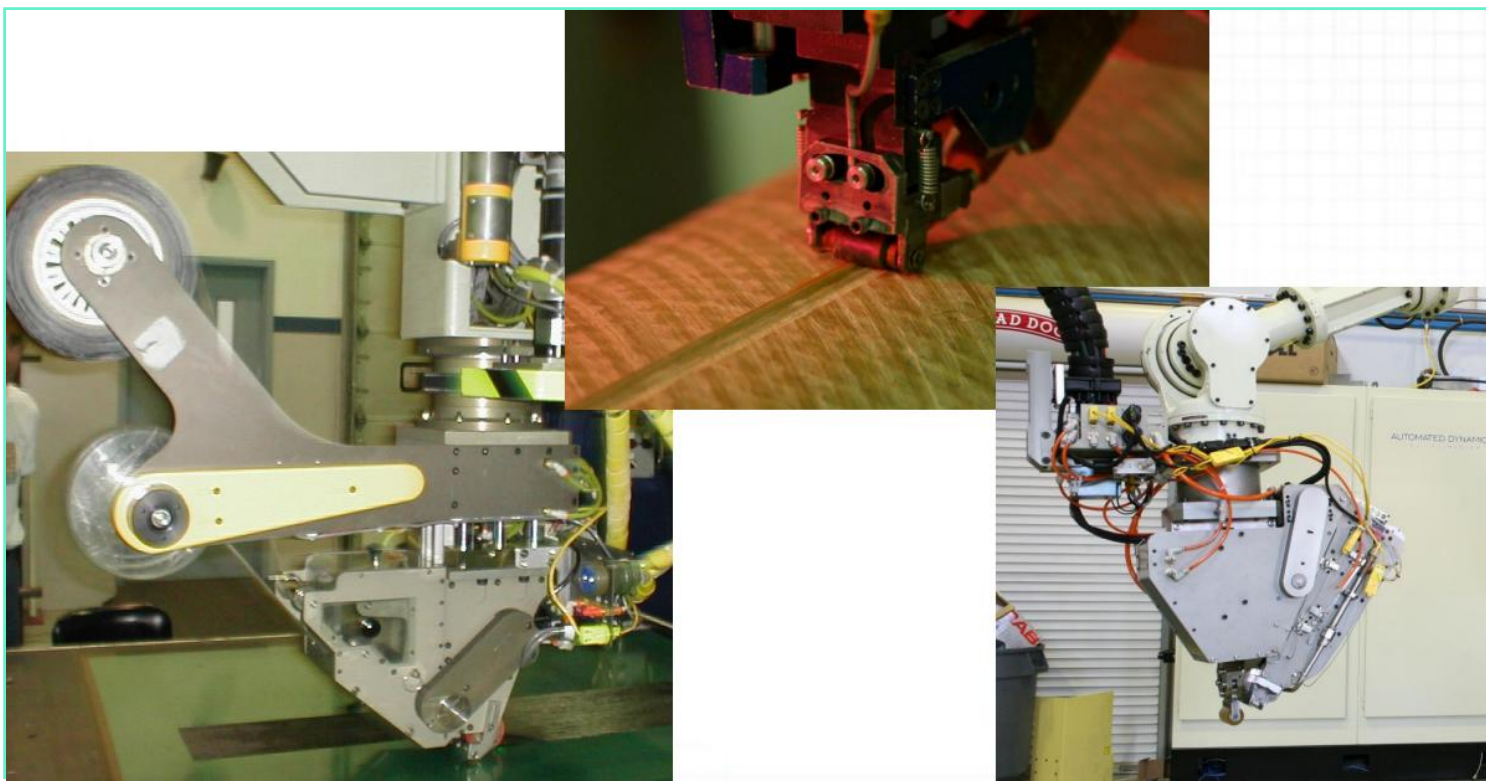
- Rouse模型也称为bead-spring model，其认为高分子之间的链接由步长固定的bond变成了可涨落的spring，monomer则被简化为bead，而在模型中紧紧考虑单体跟溶剂之间的摩擦
- Reptation模型也被称为爬行模型，认为在缠结状态下，分子链的运动只能沿其轮廓方向（contour direction）运动，而在垂直于轮廓方向的运动被限制，类似于草丛中的蛇的爬行，因此也称之为蛇形模型或爬行模型
- 二者描述的体系不同，Rouse model描述的是非缠结的动力学，而Reptation model描写的是缠结动力学，其分水岭在于缠结
- Rouse model完全忽略了流体力学相互作用，这在低分子量浓溶液或本体之下是成立的，但在描述稀溶液时不成立，因为此时流体力学相互作用不能忽略。而Reptation模型可以用于解释高分子量的缠结体系动力学，能够解释一些实验上的观测到的现象，但是其忽略了tube fluctuation以及chain leakage等效应。

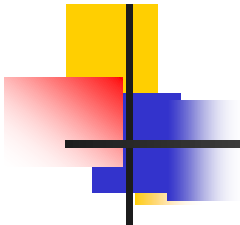


热塑性复合材料AFP优点

- 消除了真空袋封装材料及工时费用
- 消除热压罐及其辅助设备的投资和使用成本、也消除设备的占地空间及工艺时间
- 简化和延长成型工装
- 降低残余应力-非常厚截面的零件

AFP也利于设计的灵活性和适用性，**可高效成型大表面和中等曲率的制件**，比如飞机蒙皮等壳体。该技术还可以用于加工复杂的、非短程的、甚至凹陷形卷绕的部件，这就**保证了设计的灵活性**。





目 录

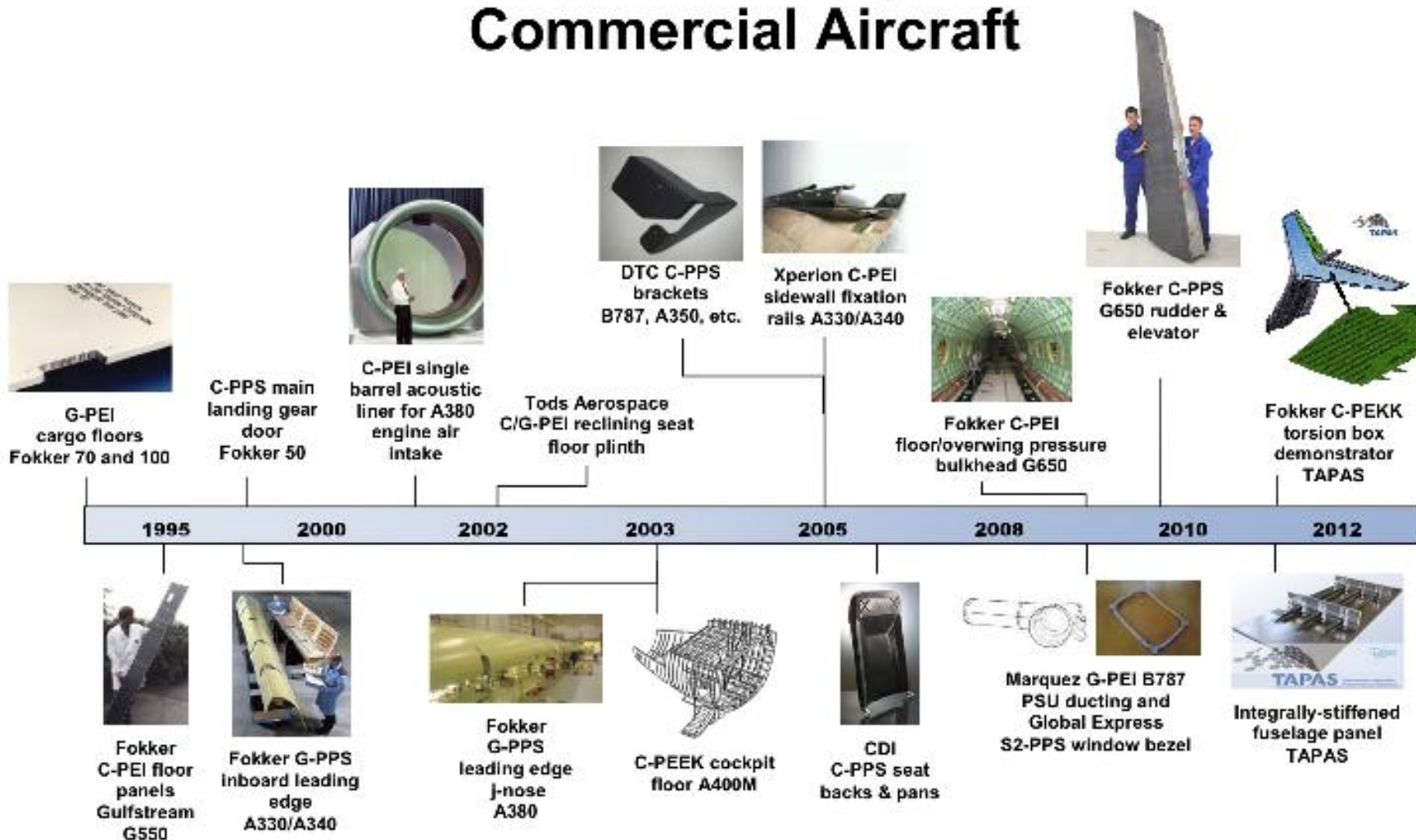


热塑性复合材料在航空上的应用



热塑性复合材料在商用航空上的应用

Thermoplastic Composites in Commercial Aircraft



AIRBUS (2005年)

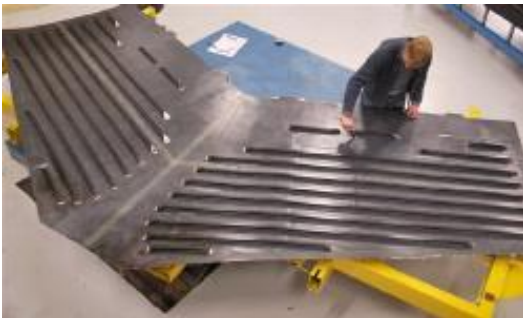
✓联合了九家荷兰热塑性复合材料原材料供应商、制造企业和高校，成立了名为可负担的航空主结构热塑性材料组织（**Thermoplastic Affordable Primary Aircraft Structure Consortium, TAPAC**）的研究组织。进一步致力于开发满足航空要求的低成本高性能的热塑性复合材料的解决方案

✓其应用目标为空客民用飞机的热塑性复合材料主结构等制件，如热塑性复合材料机身、机翼等

BOEING (2009年)

✓波音公司发起并建立了由**StorkFokker**公司、荷兰皇家滕卡特公司和特文特大学参与的热塑性复合材料研究中心（**Thermoplastics Composites Research Center, TPRC**），旨在热塑性复合材料的工艺性、降低成本、建立数据库、界面研究、性能表征等各个方面开展进一步的研究。

✓B787的行李厢的L型和T型导轨、输气系统等均采用了热塑性复合材料结构。有报道称波音公司也在大力发展主结构采用热塑性复合材料的相关制造技术。



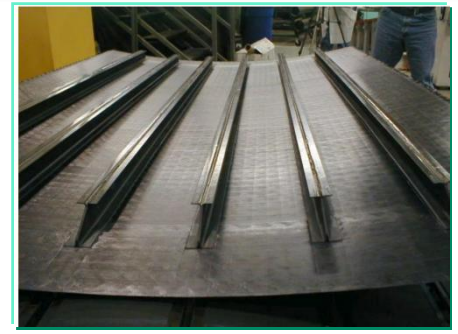
平尾扭力盒段



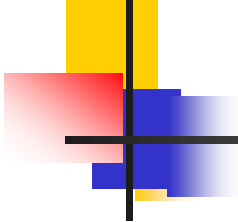
机翼前缘



地板梁



加筋蒙皮



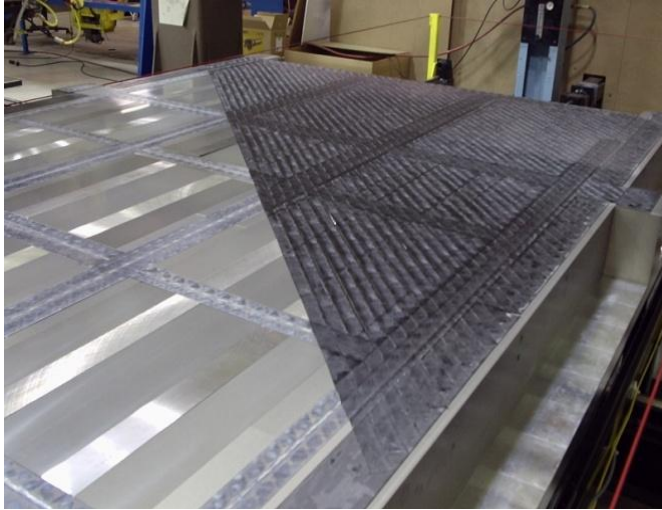
热塑性复合材料在现有生产型飞机上的应用

公司	飞机型号	零件	材料
福克	福克100、空客Bkluga 弯流V	地板	玻璃/PEI 碳/PEI
福克	多尼尔328	襟翼肋	碳/PEI
福克	弯流IV和V	方向舵肋 方向舵前缘	碳/PEI
福克	弯流V	增压隔框	碳/PEI
空客/福克	A340-500 A340-600	带检查口盖的前缘 带检查口盖的前缘	玻璃/PEI 碳/PEI

热塑性复合材料在验证机上的应用

公司	飞机型号	零件	材料
洛.马	F-22	主起落架舱门、座舱遮光屏/航空电子设备机架的左右侧板、机头检查口中心壁板和侧壁板、主起落架舱门帽形加强的内外蒙皮等 13个零件已通过验证,准备用于生产型	IM7/PEEK(APC-2)
洛.马	JSFAAI 计划	发动机检查口盖、水平尾翼、武器舱侧壁、翼盒	
福克	福克50	方向舵前缘翼肋	碳/PEI
空客/福克	A330-200	方向舵前缘翼肋	碳/PEI
空客（法国）	A340-500/600	副翼翼肋	碳/PPS
空客	A380	副翼翼肋	碳/PPS
	A	副翼翼肋	碳/PPS
	A380	升降舵辅助翼肋	碳/PPS
比利时 Sonaca	A380	前缘缝翼	碳/PPS
空客	A380	油箱口盖	三种材料竞争（长纤维玻璃/PPS与凯芙拉蜂窝、单向碳纤/PEEK 单向碳纤维/PEEK
	A	油箱口盖	
空客（西班牙）	A300-600	HTP整体油箱口盖	短纤维/PEEK注塑成型件与传统铝面板，螺接 短纤维/PEEK注塑成型件与传统铝面板，焊接
	A380	HTP整体油箱口盖	

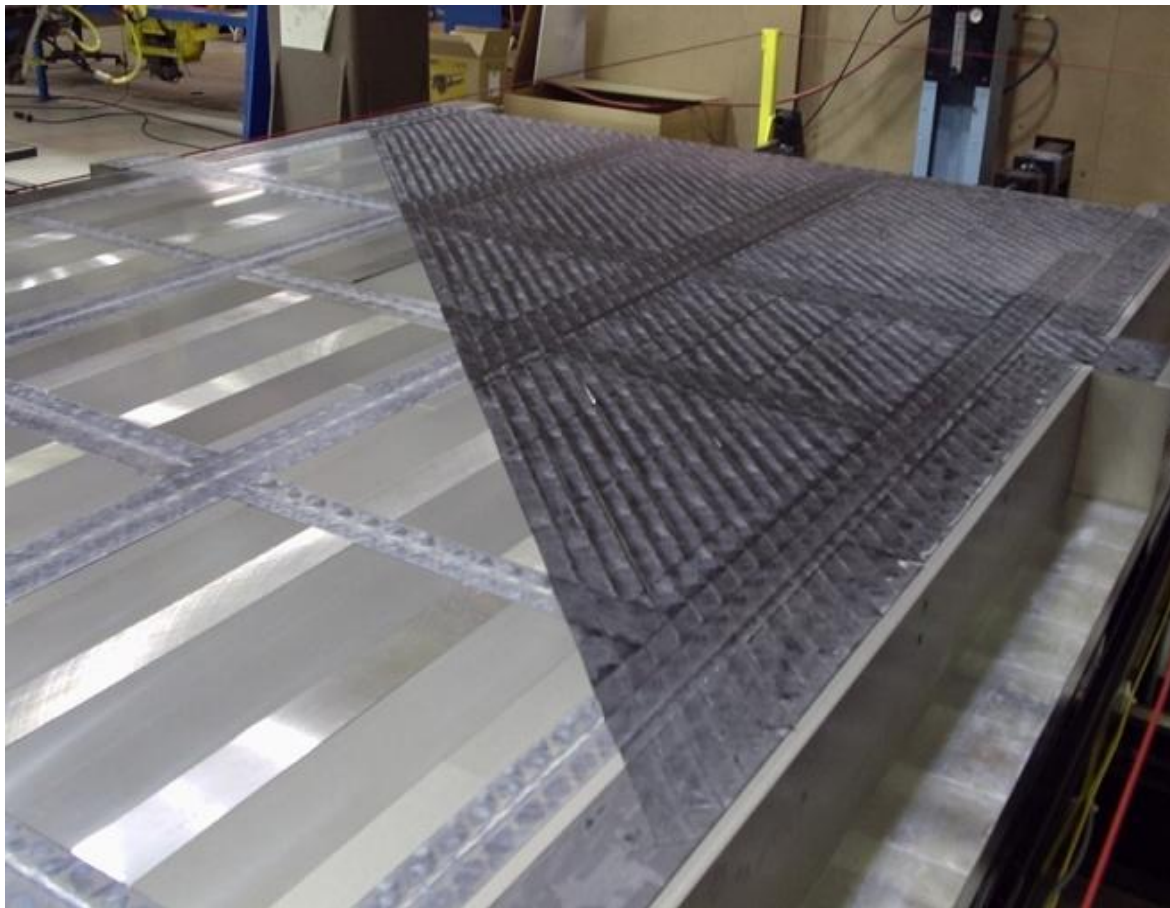
AFP整体成型的热塑性复合材料



黑鹰直升机上的应用

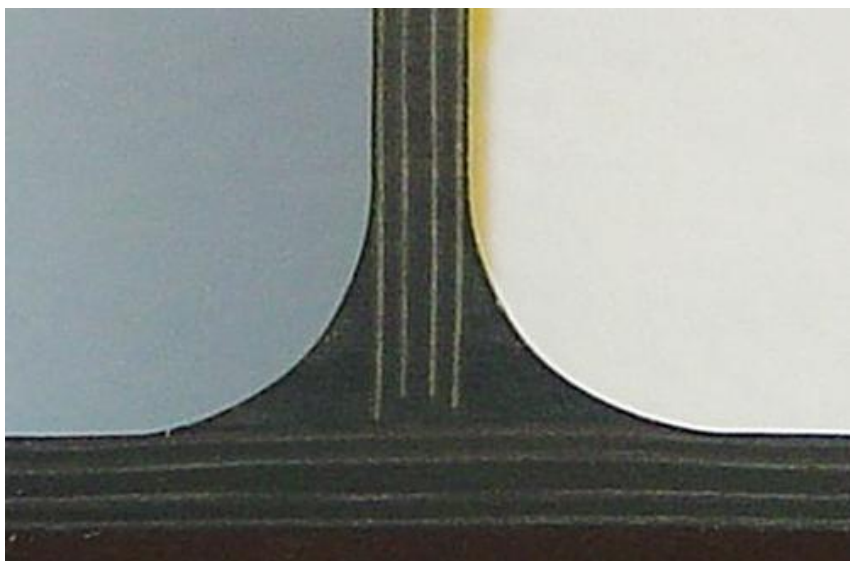


热塑性复合材料蒙皮的自动铺放成型

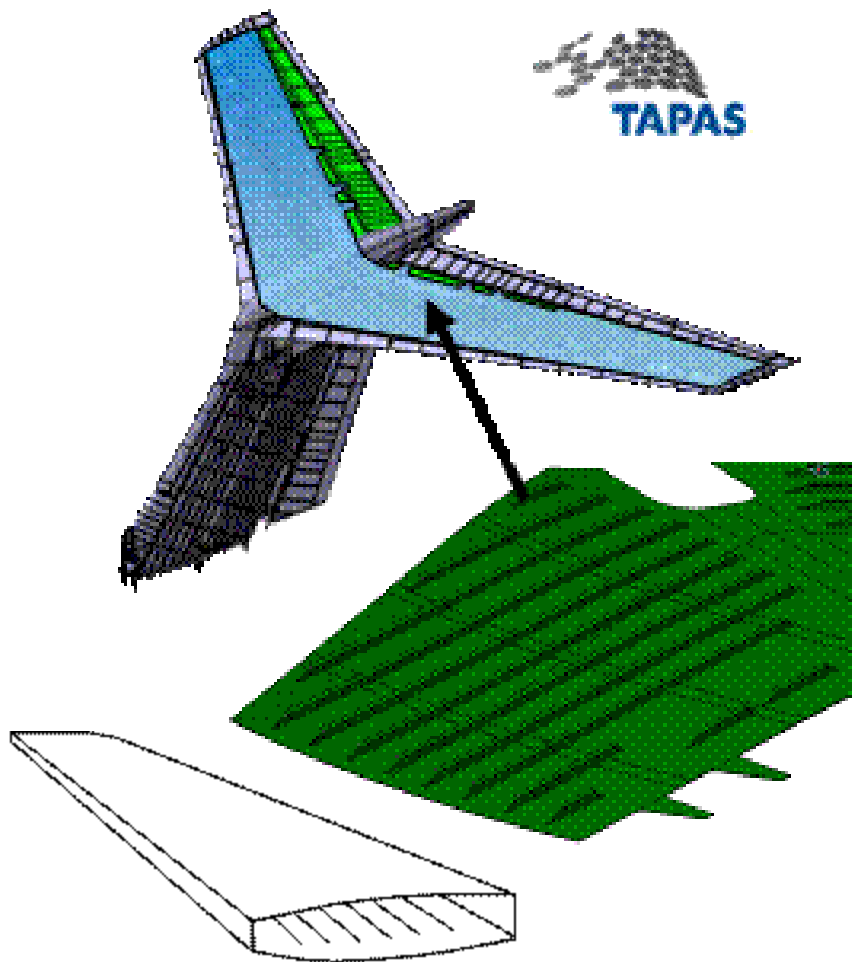


热塑性复合材料焊接技术成型加筋壁板

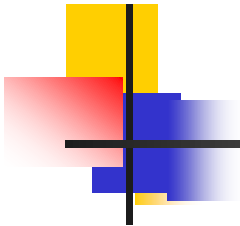




湾流G650扭力盒段







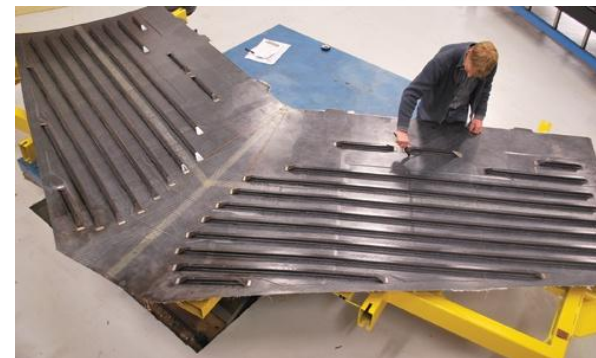
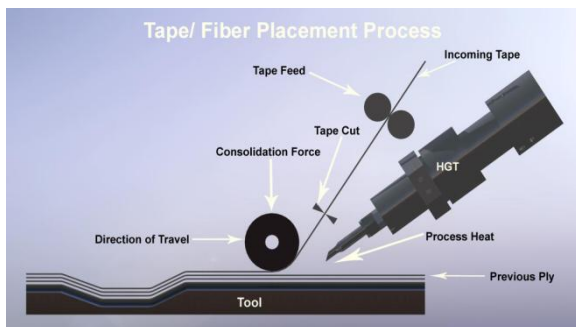
目 录

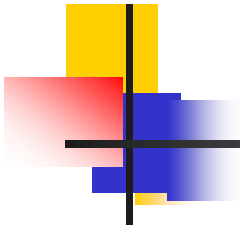


结论

热塑性复合材料自动化制造优点

- 热塑性复合材料自动化制造后不需要再进热压罐，降低投资成本，减少辅助材料，减少制造工时
- 可以回收重复使用，环保材料
- 韧性好、耐溶剂性能好、耐湿热性能好
- 可以焊接
- 材料不需要低温储存，无储存寿命
- 国内空白，倚赖进口



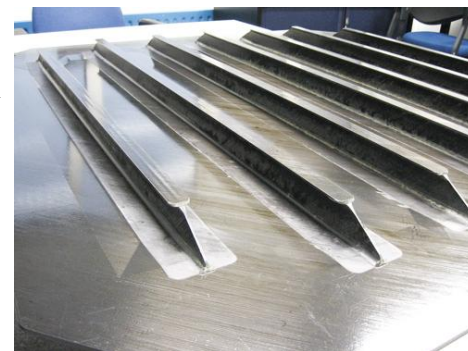


热塑性复合材料AFP成型技术优点

- 不使用热压罐（不需要封装辅助材料）
- 几乎不需要及固件
- 重量较热固性材料减轻25%
- 人力成本节约40%
- 研发人员减少40%
- 模具工装成本大幅度下降

需要解决的关键技术

- 根据热塑性复合材料的工艺特点，设计航空复合材料产品；
- 解决热塑性树脂与碳纤维之间的浸润性问题，选择合适工艺参数控制复合材料产品的内部质量如孔隙率和分层；
- 模具设计和优化，使热塑性复合材料产品的尺寸达到非常苛刻的设计要求；
- 热塑性复合材料的检验及相关适航认证



The background of the image is a vast, textured blue surface, possibly a sea of clouds or a desert landscape, under a bright, hazy sky. The sun is shining brightly from the upper center, creating a strong lens flare effect. The overall color palette is dominated by various shades of blue and white.

谢 谢！