

Vega™

碳纤维填充 PEKK 材料

Vega 是一种超高性能碳纤维填充 PEKK, 可供用户通过 FX20 3D 打印机打印关键的航空航天零件。该材料由 Markforged 的工程师和材料科学家精心研发而成, 可呈现出光滑的黑色哑光表面, 非常适合生产各类零件。在用连续纤维进行增强后, Vega 可以达到铝的强度, 可用于制造各种航空航天组件。

碳纤维 HT 和碳纤维 HT-A 是 Markforged 连续碳纤维的特殊版本, 专为搭配 Vega 和 ULTEM™ 9085 Filament 使用而设计¹。这些材料能够制造出强度媲美铝合金的部件, 并且可精准地铺设成各种几何形状。



特性和优势

高耐热性和阻燃、低烟和低毒 (FST) 性能

可抵御化学品和溶剂腐蚀

除气量较小

哑光表面光洁度

CF-HT 增强技术有效提升了材料强度

物理特性	单位	测试 (ASTM)	Vega XZ 方向	测试	碳纤维 HT (CFR) ²	碳纤维 HT-A (CFR) ^{2,3}
抗拉强度	MPa (ksi)	D638	87.6 ± 3.0 (12.7 ± 0.5)	D3039	800 (116)	800 (116)
拉伸模量	GPa (ksi)	D638	5.2 ± 0.2 (0.8 ± 0.03)	D3039	69 (10005)	69 (10005)
断裂伸长率	%	D638	3.0 ± 0.2	D3039	1.6	1.6
弯曲强度	MPa (ksi)	D790	140.2 ± 8.4 (20.3 ± 1.2)	D790	439.5 (63.7)	529.7 (76.8)
弯曲模量	GPa (ksi)	D790	4.7 ± 0.3 (678.3 ± 0.04)	D790	50.3 (7,291.1)	53.3 (7,730.5)
断裂弯曲伸长率	%	D790	5.2 ± 0.5	D790	1.0	1.1
压缩强度	MPa	D695	221.3 ± 35.9 (32.1 ± 5.2)	D695	300 (43.5)	300 (43.5)
压缩模量	GPa	D695	4.1 ± 0.3 (591.0 ± 37.0)	D695	59 (8557)	59 (8557)
缺口冲击强度	J/m	D256	47.9 ± 3.8	D256	810 (15.2)	810 (15.2)
密度	g/cm ³	-	1.27 ± 0.03	-	1.20	1.20
HDT (1.8 MPa)	°C (°F)	D648	150.8 (303.4)	-	190 (374)	190 (374)
HDT (0.45 MPa)	°C (°F)	D648	165.1 (329.2)	-	190 (374)	190 (374)

上述代表性数据均使用标准方法进行测试、测量或计算后得出, 如有更改, 恕不另行通知。Markforged® 不作任何形式的明示或暗示保证, 包括但不限于有关适用性、针对特定用途的适用性或防止专利侵权的保证; 且不承担任何与使用此信息有关的责任。不应将此处列出的数据用于确定设计方案、质量控制或规范限制, 也不应用于代替您自己的测试数据来确定材料是否适合您的特定应用。不得将本表中的任何信息解读为根据知识产权进行操作的许可, 或是侵犯任何知识产权的建议。

¹ ULTEM™ 和 9085 商标的使用已获得 SABIC、其附属公司或子公司的许可。

² CF-HT 和 CF-HT-A 值来自纯纤维试样。零件的实际强度取决于零件中纤维的数量和铺设路径。

³ 建议将 CF-HT-A 用于材料和系统资质认证。

除气

Vega 的除气量较小, 因此适用于各种关键的航空航天应用。

性能	测试 (ASTM)	总质量损失 (%)	挥发物质冷凝量 (%)	水汽量 (%)
除气	E595-15	0.47	<0.01	0.21

耐化学腐蚀性

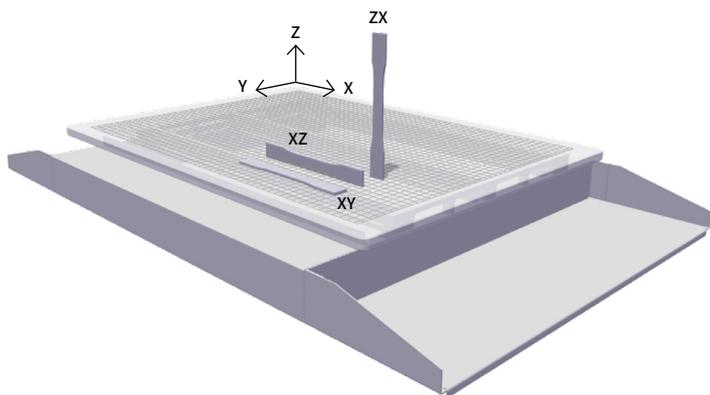
性能	Vega
37% 盐酸	A
80% 磷酸	A
49% 氟化氢	A
50% 氢氧化钾	A
50% 过氧化氢	A
乙醇	A
航空煤油	A
特种液压工作油	A
甲苯	B
甲乙酮	B
三氯乙烷	C
二氯甲烷	C

图例

- A - 几乎没有/无影响
- B - 轻度/中度影响
- C - 明显影响

Vega 的定向机械性能

3D 打印材料的机械性能可能会随打印方向的改变而变化。若施加拉力, 大多数零件会在打印方向与受力方向平行时具有最高强度, 而在打印方向与受力方向垂直时强度最低。



性能 ¹	打印方向	平均值
抗拉强度 (MPa)	XY	65.2 ± 3.0
	XZ	87.6 ± 3.0
	ZX	47.5 ± 3.3
拉伸模量 (GPa)	XY	4.0 ± 0.1
	XZ	5.2 ± 0.2
	ZX	3.3 ± 0.2
断裂伸长率 (%)	XY	3.9 ± 0.4
	XZ	3.0 ± 0.2
	ZX	5.2 ± 0.5

上述代表性数据均使用标准方法进行测试、测量或计算后得出, 如有更改, 恕不另行通知。Markforged® 不作任何形式的明示或暗示保证, 包括但不限于有关适用性、针对特定用途的适用性或防止专利侵权的保证; 且不承担任何与使用此信息有关的责任。不应将此列出的数据用于确定设计方案、质量控制或规范限制, 也不应用于代替您自己的测试数据来确定材料是否适合您的特定应用。不得将本表中的任何信息解读为根据知识产权进行操作的许可, 或是侵犯任何知识产权的建议。

¹XY 和 XZ 样本采用默认的实心填充设置打印。ZX 试样采用实心填充设置打印, 包含 6 层壁面和 4 层底面。

阻燃、低烟和低毒 (FST) 特性

单独的 Vega 和采用碳纤维增强的 Vega 燃烧测试表现出众,可在 2mm 厚度下达到所有 CFR 25.853 规范要求。如需了解阻燃性为潜在应用带来的限制,请参阅 PS-ANM-25.853-01-R2。烟雾测试表现表示该材料已在 2mm 厚度下达到了 CFR 25.853 规范要求。燃烧毒性测试表现表示该材料已达到了波音标准 BSS 7239 中针对 2 mm 厚度的燃烧规范要求。一般来说,试样越薄,通过测试的难度就越大。下表列出了已通过测试的最薄试样的相关性能。

测试类别	测试细节	规范	厚度	连续纤维装载	测试	通过标准	测试结果	结果
燃烧	垂直 (60 s)	FAR 25.853 Appendix F, Part I (a) (1) (i)	2 mm	无	燃烧时间 燃烧长度 最长燃烧时间	≤ 15 s ≤ 6 in ≤ 3 s	0 s 3.3 in 无	通过
			2 mm	满载	燃烧时间 燃烧长度 最长燃烧时间	≤ 15 s ≤ 6 in ≤ 3 s	0 s 3.1 in 无	通过
	垂直 (12 s)	FAR 25.853 Appendix F, Part I (a) (1) (ii)	2 mm	无	燃烧时间 燃烧长度 最长燃烧时间	≤ 15 s ≤ 8 in ≤ 5 s	2 s 0.9 in 无	通过
			2.0 mm	满载	燃烧时间 燃烧长度 最长燃烧时间	≤ 15 s ≤ 8 in ≤ 5 s	0 s 0.4 in 无	通过
	水平 (15 s)	FAR 25.853 Appendix F, Part I (a) (1) (iv)	2.0 mm	无	平均燃烧长度	≤ 2.5 in/min	0 in/min	通过
			2.0 mm	满载	平均燃烧长度	≤ 2.5 in/min	0 in/min	通过
	放热率*	FAR 25.853 Appendix F, Part IV	2.0 mm	无	平均最大值 平均值(总计2min)	≤ 65 kW/m ² ≤ 65 kW-min./m ²	40.4 kW/m ² 6.9 kW-min./m ²	通过
			2.0 mm	满载	平均最大值 平均值(总计2min)	≤ 65 kW/m ² ≤ 65 kW-min./m ²	34.1 kW/m ² 9.3 kW-min./m ²	通过
烟雾	烟雾密度 - 燃烧模式	BSS 7238	2.0 mm	无	最大光学密度	≤ 200	1	通过
	烟雾密度 - 非燃烧模式	BSS 7238	2.0 mm	满载	最大光学密度	≤ 200	0	通过
毒性	毒性 燃烧	BSS 7239	2.0 mm	无	氰化氢 一氧化碳 一氧化氮/二氧化氮 化氮 二氧化硫 氟化氢 氯化氢	≤ 150 PPM ≤ 3500 PPM ≤ 100 PPM ≤ 100 PPM ≤ 200 PPM ≤ 500 PPM	<1 / <1 29 / 30 1 / 1 0 / 0 <1 / <1 <1 / <1	通过
				满载	氰化氢 一氧化碳 一氧化氮/二氧化氮 化氮 二氧化硫 氟化氢 氯化氢	≤ 150 PPM ≤ 3500 PPM ≤ 100 PPM ≤ 100 PPM ≤ 200 PPM ≤ 500 PPM	<1 / <1 39 / 26 3 / 2 0 / 0 <1 / <1 <1 / <1	通过
	毒性 非燃烧	BSS 7239	2.0 mm	无	氰化氢 一氧化碳 一氧化氮/二氧化氮 化氮 二氧化硫 氟化氢 氯化氢	≤ 150 PPM ≤ 3500 PPM ≤ 100 PPM ≤ 100 PPM ≤ 200 PPM ≤ 500 PPM	<1 / <1 2 / 3 0 / 1 0 / 0 <1 / <1 <1 / <1	通过
				满载	氰化氢 一氧化碳 一氧化氮/二氧化氮 化氮 二氧化硫 氟化氢 氯化氢	≤ 150 PPM ≤ 3500 PPM ≤ 100 PPM ≤ 100 PPM ≤ 200 PPM ≤ 500 PPM	<1 / <1 <1 / 6 1 / 1 0 / 0 <1 / <1 <1 / <1	通过

*根据 PS-ANM-25.853-01-R2, X7 可打印的大多数内饰面零件无需进行放热率测试,原因是它们的外露表面积低于机舱组件的规定阈值。

**部分装载纤维的样品作为双层夹层板生产全纤维试样在制作过程中采用了纤维用量最大的条纹纤维配置。

上述代表性数据均使用标准方法进行测试、测量或计算后得出,如有更改,恕不另行通知。Markforged® 不作任何形式的明示或暗示保证,包括但不限于有关适销性、针对特定用途的适用性或防止专利侵权的保证;且不承担任何或使用此信息有关的责任。不应将此列出的数据用于确定设计方案、质量控制或规范限制,也不应用于代替您自己的测试数据来确定材料是否适合您的特定应用。不得将本表中的任何信息解读为根据知识产权进行操作的许可,或是侵犯任何知识产权的建议。