

Onyx FR-A y fibra de carbono FR-A

Materiales aeroespaciales



Información general

Onyx retardante de llama (FR) es un nylon retardante de llama reforzado con fibras de carbono cortas diseñado para aplicaciones en que las piezas no deban ser inflamables. El material ha obtenido la certificación Blue Card de UL y se considera V-0 (autoextinguible) en espesores iguales o mayores que 3 mm. Puede reforzarse con cualquier fibra continua y es compatible con impresoras 3D industriales de materiales compuestos.

La fibra de carbono FR es una variante retardante de llama de la fibra continua de carbono ultrarresistente y exclusiva de Markforged. Cuando se utiliza para reforzar un material base para compuestos, como Onyx retardante de llama (FR), puede producir piezas tan resistentes como el aluminio 6061-T6. Es extremadamente rígida y resistente, y permite crear una amplia gama de formas geométricas. Dibuje morfologías curvas, refuerce agujeros y replique capas de fibras unidireccionales mediante programación con solo un par de clics.

Onyx FR-A y la fibra de carbono FR-A se fabrican específicamente para cumplir con los requisitos de los sectores aeroespacial, del transporte y de la automoción. Los materiales FR-A ofrecen trazabilidad a nivel de lote y superan las pruebas necesarias para homologarse según la norma 14 CFR 25.853 en la mayoría de las piezas imprimibles en 3D. Onyx FR-A y la fibra de carbono FR-A que se imprimen en la X7 de Markforged se están sometiendo al proceso de homologación del NCAMP.

Si tiene preguntas específicas sobre estos materiales, contacte con aerospace@markforged.com

Prestaciones de los materiales

Las variantes FR-A de Onyx y fibra de carbono se utilizan de forma parecida a los materiales estándar. La fibra de carbono FR-A mejora las propiedades mecánicas de las piezas de Onyx FR-A. Se puede utilizar la regla de las mezclas para conocer de forma aproximada las propiedades mecánicas generales de los materiales compuestos impresos. Los resultados pueden variar en función de diferentes factores, como las condiciones ambientales, la geometría de los elementos, la orientación de la impresión y las condiciones de carga.

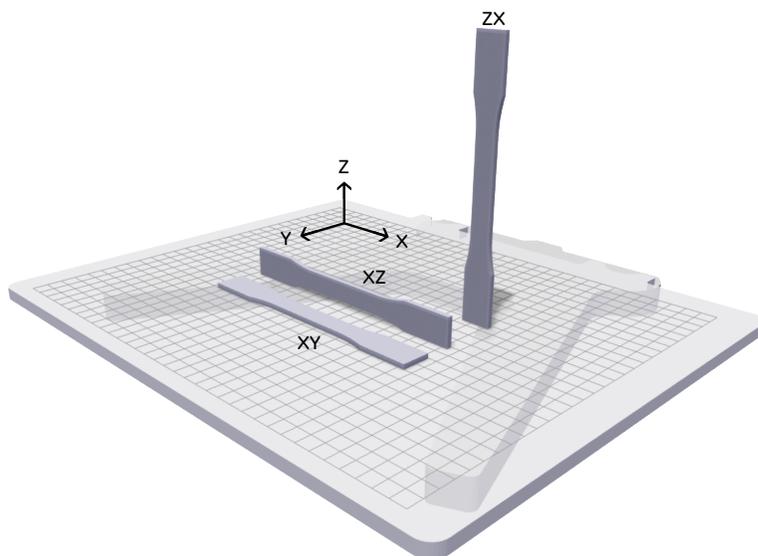
Propiedades mecánicas

Propiedad	Unidad	Prueba (ASTM)	Onyx FR-A	Prueba (ASTM)	Fibra de carbono FR-A
Resistencia a la tracción	MPa (ksi)	D638	40 (5,8)	D3039	760 (110)
Módulo de elasticidad a la tracción	GPa (ksi)	D638	3 (440)	D3039	57 (8280)
Resistencia a la rotura por tracción	%	D638	18	D3039	1,6
Resistencia a la flexión	MPa (ksi)	D790	71 (10,3)	D790	540 (78,32)
Módulo de flexión	GPa (ksi)	D790	3,6 (520)	D790	50 (7250)
Resistencia a la rotura por flexión	%		—	D790	1,6
Ensayo de Izod - con mella	J/m (ft•lb/in)	D256-10 A	—	D256-10 A	810 (15,2)
Densidad	g/cm ³	—	1,2	—	1,2
Temperatura de deflexión térmica	grados C (grados F)	D648 B	145 (293)	D648 B	105 (221)
CTE medio XY, 25-145 °C	µm/(m•°C)	—	30	—	—

Propiedades mecánicas direccionales de Onyx retardante de llama (FR)

Las propiedades mecánicas de los materiales impresos en 3D pueden variar en función de la orientación de impresión. En tensión, la mayoría de las piezas son más resistentes cuando la orientación de impresión y la dirección de carga son paralelas, y más débiles cuando la orientación de impresión y la dirección de carga son perpendiculares.

Propiedad	Orientación de impresión	Promedio	Desv. est.
Límite de fluencia* (MPa)	XY	46,6	0,16
	ZX	15,7	0,9
	XZ	40,6	0,6
Resistencia a la tracción (MPa)	XY	46,7	0,3
	ZX	16,2	0,8
	XZ	40,3	1,2
Módulo de elasticidad a la tracción (GPa)	XY	3,27	0,08
	ZX	1,05	0,08
	XZ	2,94	0,11
Alargamiento de rotura (%)	XY	14,0	0,4
	ZX	3,9	0,4
	XZ	25,5	7,6



Características de fuego, humo y toxicidad (FST)

Onyx FR-A solo y Onyx FR-A con refuerzo de fibra de carbono han logrado un rendimiento de las pruebas de inflamabilidad que supera las especificaciones de la norma CFR 25.853 con un espesor de 3,7 mm, salvo en la liberación de calor. Para obtener información sobre las limitaciones en las posibles aplicaciones, consulte PS-ANM-25.853-01-R2. El rendimiento de la prueba de humo ha superado las especificaciones de la norma CFR 25.853 con un espesor de 3,7 mm, pero no de 2 mm. El rendimiento de la prueba

de toxicidad de la combustión ha superado las especificaciones BSS 7239 de Boeing con un espesor de 2 mm. En general, las probetas con un espesor inferior tienen más dificultades para superar las pruebas. A continuación se muestra el rendimiento de las probetas de menor espesor que han superado las pruebas (y la probeta de mayor espesor, que no ha superado la prueba en la categoría de liberación de calor). Todas las muestras se han impreso con un relleno sólido.

Categoría de la prueba	Detalle de la prueba	Especificaciones	Espesor	Carga de fibra continua	Prueba	Criterio de aprobación	Resultado de la prueba	Evaluación
Inflamabilidad	Vertical (60 seg.)	FAR 25.853 apéndice F, parte I (a) (1) (i)	2 mm	Ninguna	Tiempo de combustión Longitud afectada Combustión más prolongada	≤ 15 seg. ≤ 6 pulg. ≤ 3 seg.	9 seg. 4,1 pulg. Ninguno	Aprobado
			2 mm	Completa	Tiempo de combustión Longitud afectada Combustión más prolongada	≤ 15 seg. ≤ 6 pulg. ≤ 3 seg.	9 seg. 4,3 pulg. Ninguno	Aprobado
	Vertical (12 seg.)	FAR 25.853 apéndice F, parte I (a) (1) (ii)	2 mm	Ninguna	Tiempo de combustión Longitud afectada Combustión más prolongada	≤ 15 seg. ≤ 8 pulg. ≤ 5 seg.	2 seg. 1,0 pulg. Ninguno	Aprobado
			2 mm	Completa	Tiempo de combustión Longitud afectada Combustión más prolongada	≤ 15 seg. ≤ 8 pulg. ≤ 5 seg.	0 seg. 1,3 pulg. Ninguno	Aprobado
	Horizontal (15 seg.)	FAR 25.853 apéndice F, parte I (a) (1) (iv)	2 mm	Ninguna	Velocidad de combustión media	≤ 2,5 pulg./min.	0 pulg./min.	Aprobado
			2 mm	Completa	Velocidad de combustión media	≤ 2,5 pulg./min.	0 pulg./min.	Aprobado
Liberación de calor*	FAR 25.853 apéndice F, parte IV	3,7 mm	Ninguna	Promedio máx. Promedio total 2 min.	≤ 65 kW/m ² ≤ 65 kW-min./m ²	196 kW/m ² 158 kW-min./m ²	No aprobado	
		3,7 mm	Completa	Promedio máx. Promedio total 2 min.	≤ 65 kW/m ² ≤ 65 kW-min./m ²	97 kW/m ² 114 kW-min./m ²	No aprobado	
Humo	Densidad de humo - modo llama	FAR 25.853 apéndice F, parte V	3,7 mm	Ninguna	Ds	≤ 200	191	Aprobado
			3,7 mm	Parcial**	Ds	≤ 200	139	Aprobado
			3,7 mm	Completa	Ds	≤ 200	115	Aprobado
Toxicidad	Toxicidad de la combustión	BSS 7239	2 mm	Ninguna	HCN CO NO / NO ₂ SO ₂ HF HCL	≤ 150 PPM ≤ 3500 PPM ≤ 100 PPM ≤ 100 PPM ≤ 200 PPM ≤ 500 PPM	— / — 351 / 368 20 / 34 7 / 9 <1 / <1 15 / 25	Aprobado
			2 mm	Completa	HCN CO NO / NO ₂ SO ₂ HF HCL	≤ 150 PPM ≤ 3500 PPM ≤ 100 PPM ≤ 100 PPM ≤ 200 PPM ≤ 500 PPM	35 / 40 81 / 49 5 / 3 0 / 0 <1 / <1 25 / 30	Aprobado

*De conformidad con PS-ANM-25.853-01-R2, la prueba de liberación de calor no es necesaria para la mayoría de las piezas interiores impresas en la X7, ya que tienen una superficie expuesta inferior al umbral especificado para los componentes de cabina.

**Muestra parcial producida como un panel sándwich de dos capas

Compatibilidad de los materiales con las impresoras

Onyx FR-A

Se puede utilizar con todas las impresoras 3D de la serie industrial de Markforged (X7, X5 y X3).

Se puede reforzar con las fibras continuas disponibles.

Fibra de carbono FR-A

Se puede utilizar con la X7.

Solo es compatible como reforzamiento de Onyx FR-A.

Impresora	Base para compuestos	Fibra continua
X7	Onyx FR-A	Fibra de carbono FR-A Fibra de carbono Fibra de vidrio HSHT Kevlar Fibra de vidrio Sin reforzamiento
X5	Onyx FR-A	Fibra de vidrio Sin reforzamiento
X3	Onyx FR-A	Sin reforzamiento

Datos futuros

Onyx FR-A y la fibra de carbono FR-A se están sometiendo al proceso de homologación del NCAMP. Una vez terminado este proceso, se obtendrán, entre otros, estos resultados adicionales:

Datos mecánicos direccionales ampliados

Datos mecánicos ambientales

Temperatura de transición vítrea

Coefficiente de expansión térmica (CTE)

Exposición a rayos UV

Sensibilidad a fluidos aeroespaciales comunes, como combustibles, lubricantes y agentes de limpieza

Para obtener más información sobre condiciones de prueba específicas o para solicitar piezas a fin de realizar pruebas internas, póngase en contacto con un representante de Markforged. Los clientes deben probar las piezas con sus propias especificaciones.

Estos datos representativos se han probado, medido o calculado utilizando métodos estándar y pueden cambiar sin previo aviso. Markforged no ofrece garantías de ningún tipo, ni expresas ni implícitas, como por ejemplo las garantías de comerciabilidad, idoneidad para un uso particular o garantía contra la violación de patentes. Tampoco asume ninguna responsabilidad en relación con el uso de esta información. Los datos aquí indicados no deben utilizarse para establecer límites de diseño, control de calidad o especificaciones, y no pretenden sustituir las pruebas que realice para determinar la idoneidad en aplicaciones específicas. El contenido de esta hoja informativa no debe interpretarse como una licencia de uso ni una recomendación para infringir derechos de propiedad intelectual.



Onyx FR-A

Fibra de carbono FR-A