

# Onyx FR-A und Carbonfaser FR-A

Materialien für Luft- und Raumfahrt



## Übersicht

Onyx FR ist ein mit flammhemmenden kurzen Carbonfasern gefülltes Nylon. Es wird verwendet für Anwendungen die potenziell Verbrennung standhalten müssen. Das Material wurde mit einer UL Blue Card ausgezeichnet und gilt bei einer Dicke ab 3 mm als V-0 (selbstlöschend). Es kann mit beliebigen Endlosfasern verstärkt werden und ist mit industriellen 3D-Verbunddruckern kompatibel.

Carbonfaser FR ist eine flammhemmende Variante der einzigartigen ultrastarken Endlos-Carbonfaser von Markforged. Bei Verwendung zur Verstärkung eines Verbundbasismaterials wie Onyx FR können Teile gefertigt werden, die so stark wie 6061T6-Aluminium sind. Das Material ist extrem steif und kräftig und kann in einer Vielzahl von geometrischen Formen präzise angewandt werden. Mit wenigen Klicks lassen sich programmgesteuert gekrümmte Formstücke verfolgen, Löcher verstärken und unidirektionale Faser-Layups nachahmen.

Onyx FR-A und Carbonfaser FR-A wurden eigens für die Anforderungen der Luft- und Raumfahrt-, Transport- und Automobilindustrie entwickelt. FR-A-Materialien ermöglichen eine Materialnachverfolgbarkeit auf Chargenebene und bestehen die Testreihe, die für die Qualifizierung gemäß 14 CFR 25.853 für die meisten 3D-druckfähigen Teile erforderlich ist. Onyx FR-A und Carbonfaser FR-A durchlaufen bei Druck mit dem Markforged X7 die Qualifizierung über den NCAMP-Prozess.

Bei konkreten Fragen wenden Sie sich bitte an [aerospace@markforged.com](mailto:aerospace@markforged.com)

## Materialleistung

Die FR-A-Varianten von Onyx und Carbonfaser werden ähnlich wie die entsprechenden Standardmaterialien verwendet. Carbonfaser FR-A kann die mechanischen

Eigenschaften der Onyx FR-A-Teile verbessern. Die Mischungsregel kann für Annäherungen an die mechanischen Bulk-Eigenschaften gedruckter Verbundwerkstoffe verwendet werden. Die Ergebnisse können abhängig von zahlreichen Faktoren wie Umgebungsbedingungen, Formstückgeometrie, Druckausrichtung und Belastungsbedingungen variieren.

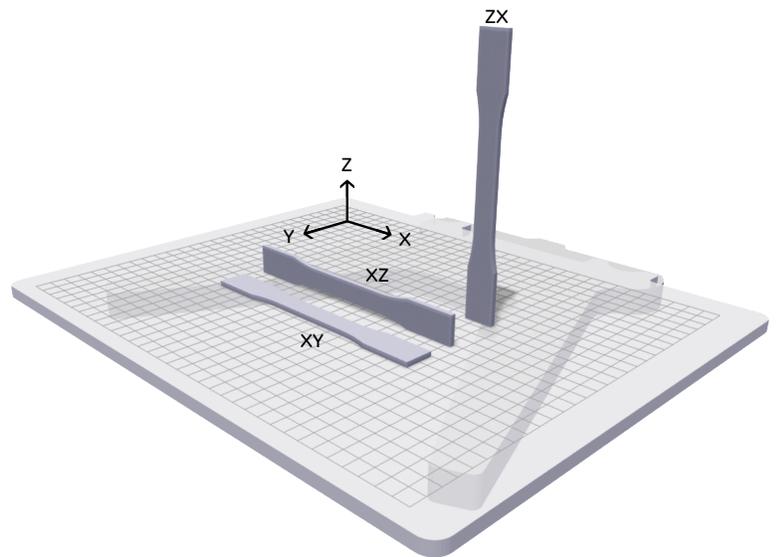
### Mechanische Eigenschaften

Eigenschaft	Einheit	Test (ASTM)	Onyx FR-A	Test (ASTM)	CF FR-A
Zugfestigkeit	MPa (ksi)	D638	40 (5,8)	D3039	760 (110)
Zug-Modul	GPa (ksi)	D638	3 (440)	D3039	57 (8280)
Bruchdehnung	%	D638	18	D3039	1,6
Zugfestigkeit	MPa (ksi)	D790	71 (10,3)	D790	540 (78,32)
Biege-E-Modul	GPa (ksi)	D790	3,6 (520)	D790	50 (7250)
Biegedehnung	%		—	D790	1,6
Kerbschlagzähigkeit	J/m (ft•lb/in)	D256-10 A	—	D256-10 A	810 (15,2)
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	—	1,2	—	1,2
Wärmeformbeständigkeitstemperatur	Grad C (Grad F)	D648 B	145 (293)	D648 B	105 (221)
Mittlerer XY CTE, 25-145 °C	µm/(m•°C)	—	30	—	—

### Direktionale mechanische Eigenschaften von Onyx FR

Die mechanischen Eigenschaften von gedruckten 3D-Materialien können je nach Druckausrichtung variieren. Unter Spannung sind die meisten Teile am stärksten, wenn die Druckausrichtung und die Belastungsrichtung parallel verlaufen und am schwächsten, wenn die Druckausrichtung und Belastungsrichtung senkrecht zueinander verlaufen.

Eigenschaft	Druckausrichtung	Durchschn.	St.abw.
Dehnfestigkeit* (MPa)	XY	46,6	0,16
	ZX	15,7	0,9
	XZ	40,6	0,6
Zugfestigkeit (MPa)	XY	46,7	0,3
	ZX	16,2	0,8
	XZ	40,3	1,2
Zug-Modul (GPa)	XY	3,27	0,08
	ZX	1,05	0,08
	XZ	2,94	0,11
Reißdehnung (%)	XY	14,0	0,4
	ZX	3,9	0,4
	XZ	25,5	7,6



## FST-Leistung (Flamme, Rauch, Toxizität)

Onyx FR-A alleine und Onyx FR-A mit Carbonfaser FR-A-Verstärkung haben ein Flammbarkeit-Testverhalten gezeigt, das den Spezifikationen der CFR 25.852 bei einer Dicke von 3,7 mm entspricht, allerdings mit Ausnahme der Wärmeabgabe. Weitere Informationen dazu, wie dies mögliche Anwendungen einschränkt, finden Sie unter PS-ANM-25.853-01-R2. Die Rauchttestleistung entsprach CFR 25.853 bei einer Dicke von 3,7 mm, aber nicht

bei 2 mm. Die Verbrennungstoxizität-Testleistung entsprach den Flammspezifikationen in Boeing BSS 7239 bei einer Dicke von 2 mm. In der Regel haben dünnere Proben mehr Probleme mit dem Bestehen der Tests. Die Leistung der dünnsten Proben, die die Tests bestanden haben (sowie die Wärmeabgabe des dicksten getesteten Elements, das nicht bestand) werden unten aufgeführt. Alle Proben wurden mit fester Füllung gedruckt.

Testkategorie	Testdetails	Spezifikation	Dicke	Endlosfaserbelastung	Test	Kriterien für Bestehen	Testergebnis	Ergebnis
Flammbarkeit	Vertikal (60 Sek.)	FAR 25.853 Appendix F, Part I (a) (1) (i)	2 mm	Keine	Brennzeit Brennlänge Längstes Brennen	≤ 15 Sek. ≤ 6 in ≤ 3 Sek.	9 Sek. 4,1 in Keine	Bestanden
			2 mm	Voll	Brennzeit Brennlänge Längstes Brennen	≤ 15 Sek. ≤ 6 in ≤ 3 Sek.	9 Sek. 4,3 in Keine	Bestanden
	Vertikal (12 Sek.)	FAR 25.853 Appendix F, Part I (a) (1) (ii)	2 mm	Keine	Brennzeit Brennlänge Längstes Brennen	≤ 15 Sek. ≤ 8 in ≤ 5 Sek.	2 Sek. 1,0 in Keine	Bestanden
			2 mm	Voll	Brennzeit Brennlänge Längstes Brennen	≤ 15 Sek. ≤ 8 in ≤ 5 Sek.	0 Sek. 1,3 in Keine	Bestanden
	Horizontal (15 Sek.)	FAR 25.853 Appendix F, Part I (a) (1) (iv)	2 mm	Keine	Durchschn. Brennrate	≤ 2,5 in/min	0 in/min	Bestanden
			2 mm	Voll	Durchschn. Brennrate	≤ 2,5 in/min	0 in/min	Bestanden
	Wärmeabgabe*	FAR 25.853 Appendix F, Part IV	3,7 mm	Keine	Durchschn. Max. Durchschn. 2 Min. gesamt	≤ 65 kW/m <sup>2</sup> ≤ 65 kW-min/m <sup>2</sup>	196 kW/m <sup>2</sup> 158 kW-min/m <sup>2</sup>	Nicht bestanden
			3,7 mm	Voll	Durchschn. Max. Durchschn. 2 Min. gesamt	≤ 65 kW/m <sup>2</sup> ≤ 65 kW-min/m <sup>2</sup>	97 kW/m <sup>2</sup> 114 kW-min/m <sup>2</sup>	Nicht bestanden
Rauch	Rauchdichte – Flamm-Modus	FAR 25.853 Appendix F, Part V	3,7 mm	Keine	Ds	≤ 200	191	Bestanden
			3,7 mm	Teilweise**	Ds	≤ 200	139	Bestanden
			3,7 mm	Voll	Ds	≤ 200	115	Bestanden
Toxizität	Verbrennungstoxizität	BSS 7239	2 mm	Keine	HCN CO NO / NO <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> HF HCL	≤ 150 PPM ≤ 3500 PPM ≤ 100 PPM ≤ 100 PPM ≤ 200 PPM ≤ 500 PPM	— / — 351 / 368 20 / 34 7 / 9 <1 / <1 15 / 25	Bestanden
			2 mm	Voll	HCN CO NO / NO <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> 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	Bestanden

\*Gemäß PS-ANM-25.853-01-R2 ist der Wärmeabgabetest für die meisten nach innen orientierten Teile, die auf dem X7 gedruckt werden, nicht erforderlich, da ihre nach außen liegende Fläche unterhalb dem Spezifikationslimit für Kabinenkomponenten liegt.

\*\*\*Teilweise Probe als 2-Schichten-Sandwichplatte produziert

## Drucker- und Materialkompatibilität

### Onyx FR-A

Verfügbar für alle Markforged-3D-Drucker der Serie Industrial (X7, X5, X3).

Kann mit verfügbaren Endlosfasern verstärkt werden.

### Carbonfaser FR-A

Kann im X7 verwendet werden.

Nur als Verstärkung für Onyx FR-A kompatibel.

Drucker	Verbundbasis	Endlosfasern
X7	Onyx FR-A	Carbonfaser FR-A Carbonfaser HSHT-Glasfaser Kevlar Glasfaser Keine Verstärkung
X5	Onyx FR-A	Glasfaser Keine Verstärkung
X3	Onyx FR-A	Keine Verstärkung

## Zukünftige Daten

Onyx FR-A und Carbonfaser FR-A durchlaufen derzeit die NCAMP-Qualifizierung, nach deren Abschluss weitere Ergebnisse vorliegen werden, darunter:

Erweiterte direktionale mechanische Daten

Umweltbezogene mechanische Daten

Glasübergangstemperatur

Wärmeausdehnungskoeffizient (CTE)

UV-Exposition

Flüssigkeitsempfindlichkeit gegenüber üblichen Flüssigkeiten in der Luft- und Raumfahrt, darunter Kraftstoffe, Schmierstoffe und Reinigungsmittel

Für weitere Informationen zu den spezifischen Testbedingungen oder für die Beantragung von Testteilen für interne Tests wenden Sie sich an einen Vertreter von Markforged. Alle Kundenteile müssen entsprechend den Spezifikationen des Kunden getestet werden.

Diese repräsentativen Daten wurden nach Standardmethoden getestet, gemessen oder berechnet und können ohne Vorankündigung geändert werden. Markforged leistet keine ausdrücklichen oder stillschweigenden Gewährleistungen, unter anderem für die Marktgängigkeit, die Eignung für einen bestimmten Zweck oder die Nichtverletzung von Patenten, und haftet im Zusammenhang mit der Verwendung dieser Informationen nicht. Die hier aufgelisteten Daten dürfen nicht verwendet werden, um Design-, Qualitätskontroll- oder Spezifikationsgrenzen festzulegen, und sie sind nicht dafür bestimmt, Ihre eigenen Tests zu ersetzen, um die Eignung für Ihre spezifische Anwendung zu bestimmen. Nichts in diesem Datenblatt darf als Lizenz für eine Tätigkeit im Rahmen eines Rechts an geistigem Eigentum oder als Empfehlung einer entsprechenden Rechtsverletzung ausgelegt werden.



Onyx FR-A

Carbonfaser FR-A