Onyx FR-A et fibre de carbone FR-A :

Matériaux adaptés à l'aérospatial

Aperçu

Onyx FR est un nylon ignifugé, chargé de fibres de carbone courtes, conçu pour être utilisé dans le cadre d'applications où les pièces doivent résister à la combustion. Le matériau a obtenu une certification UL Blue Card et est classé V0 (auto-extinguible) pour des épaisseurs supérieures ou égales à 3 mm. Il peut être renforcé avec n'importe quelle fibre continue et est compatible avec les imprimantes 3D composites industrielles.

La fibre de carbone FR est une variante ignifugée unique de la fibre continue de carbone ultra-haute résistance de Markforged. Lorsqu'elle est utilisée pour renforcer un matériau composite comme l'Onyx FR, elle peut permettre d'obtenir des pièces aussi solides que l'aluminium 6061-T6. Elle est extrêmement rigide et résistante, et peut être appliquée avec précision dans une grande variété de géométries. Tracez à l'aide d'un programme des éléments incurvés, renforcez les orifices et reproduisez les couches de fibres unidirectionnelles en quelques clics.

L'Onyx FR-A et la fibre de carbone FR-A sont spécialement conçus pour répondre aux exigences des industries de l'aérospatial, des transports et de l'automobile. Les matériaux FR-A permettent une traçabilité des matériaux au niveau du lot et sont soumis à une série de tests requis pour la qualification à la norme 14 CFR 25.853, pour la plupart des pièces imprimables en 3D. Les matériaux Onyx FR-A et la fibre de carbone FR-A utilisés sur le Markforged X7 sont en cours de qualification dans le cadre de la procédure NCAMP.

Pour toute demande spécifique, veuillez contacter aerospace@markforged.com

REV 1.0 07/26/21 - en-US

Performance des matériaux

Les variantes FR-A de l'Onyx et de la fibre de carbone sont utilisées de manière identique à leurs variantes standard. La fibre de carbone FR-A peut renforcer les propriétés mécaniques des pièces en Onyx FR-A. Les propriétés des mélanges peuvent être utilisées pour estimer les caractéristiques mécaniques globales des composites imprimés. Vos résultats peuvent varier en fonction d'un certain nombre de facteurs, dont les conditions ambiantes, la géométrie des éléments, l'orientation de l'impression et les conditions de chargement.

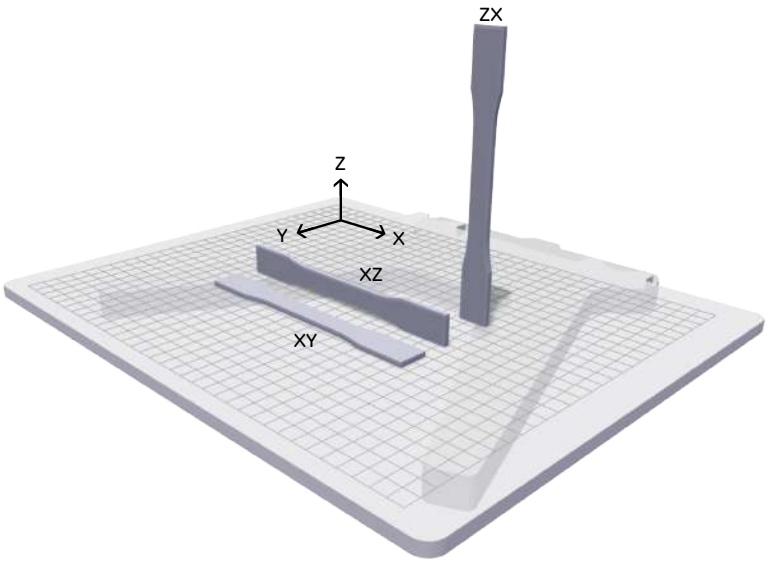
Propriétés mécaniques

Propriété	Unité	Test (ASTM)	Onyx FR-A	Test (ASTM)	CF FR-A
Résistance à la traction	MPa (ksi)	D638	40 (5.8)	D3039	760 (110)
Élasticité en traction	GPa (ksi)	D638	3 (440)	D3039	57 (8280)
Déformation de traction à la rupture	%	D638	18	D3039	1,6
Résistance à la flexion	MPa (ksi)	D790	71 (10,3)	D790	540 (78,32)
Élasticité en flexion	GPa (ksi)	D790	3,6 (520)	D790	50 (7250)
Déformation de flexion à la rupture	%		—	D790	1,6
Impact Izod - encoché	J/m (ft•lb/in)	D256-10 A	—	D256-10 A	810 (15,2)
Densité	g/cm^3	—	1,2	—	1,2
Température de déflexion de la chaleur	deg C (deg F)	D648 B	145 (293)	D648 B	105 (221)
CTE XY moyen, 25-145 °C	µm/(m•°C)	—	30	—	—

Propriétés mécaniques directionnelles d'Onyx FR

Les propriétés mécaniques des matériaux imprimés en 3D peuvent varier en fonction de l'orientation de l'impression. En tension, la plupart des pièces sont plus résistantes lorsque l'orientation de l'impression et la direction de chargement sont parallèles, et moins résistantes lorsque l'orientation de l'impression et la direction de chargement sont perpendiculaires.

Propriété	Orientation de l'impression	Moyenne	St. Dev.
Limite d'élasticité* (MPa)	XY	46,6	0,16
	ZX	15,7	0,9
	XZ	40,6	0,6
Résistance à la traction (MPa)	XY	46,7	0,3
	ZX	16,2	0,8
	XZ	40,3	1,2
Élasticité en traction (GPa)	XY	3,27	0,08
	ZX	1,05	0,08
	XZ	2,94	0,11
Allongement à la rupture (%)	XY	14,0	0,4
	ZX	3,9	0,4
	XZ	25,5	7,6



Performances en matière de feu, de fumée et de toxicité (FST)

L'Onyx FR-A seul et l'Onyx FR-A renforcé avec la fibre de carbone FR-A ont démontré des résultats de test d'inflammabilité conformes aux spécifications CFR 25.853 à une épaisseur de 3,7 mm, à l'exception du dégagement de chaleur. Pour plus d'informations sur la façon dont cela peut limiter les applications potentielles, voir PS-ANM-25.853-01-R2. Les résultats du test de fumée sont conformes aux spécifications CFR 25.853 pour une épaisseur de 3,7 mm, mais non pour une épaisseur de 2 mm. Les résultats du test de toxicité de la combustion sont conformes aux spécifications de la norme Boeing BSS 7239 Flaming à 2 mm d'épaisseur. En général, il est plus difficile pour les échantillons plus fins de satisfaire aux tests. Les résultats des échantillons les plus fins qui sont conformes aux tests (et le dégagement de chaleur de l'échantillon le plus épais, non conforme) sont présentés ci-dessous. Tous les échantillons ont été imprimés avec un remplissage plein.

Catégorie de test	Détails du test	Spécifications	Épaisseur	Chargement en fibres continues	Test	Critères de conformité	Résultat de test	Résultat
Inflammabilité	Vertical (60 sec)	FAR 25.853 Annexe F, Partie I (a) (1) (i)	2 mm	Aucune	Temps de combustion Longueur de combustion Combustion la plus longue	≤ 15 sec ≤ 6 in ≤ 3 sec	9 sec 4.1 in Aucun	Conforme
			2 mm	Complet	Temps de combustion Longueur de combustion Combustion la plus longue	≤ 15 sec ≤ 6 in ≤ 3 sec	9 sec 4.3 in Aucun	Conforme
	Vertical (12 sec)	FAR 25.853 Annexe F, Partie I (a) (1) (ii)	2 mm	Aucune	Temps de combustion Longueur de combustion Combustion la plus longue	≤ 15 sec ≤ 8 in ≤ 5 sec	2 sec 1.0 in Aucun	Conforme
			2 mm	Complet	Temps de combustion Longueur de combustion Combustion la plus longue	≤ 15 sec ≤ 8 in ≤ 5 sec	0 sec 1.3 in Aucun	Conforme
	Horizontal (15 sec)	FAR 25.853 Annexe F, Partie I (a) (1) (iv)	2 mm	Aucune	Moy. Taux de combustion	≤ 2.5 in/min	0 in/min	Conforme
			2 mm	Complet	Moy. Taux de combustion	≤ 2.5 in/min	0 in/min	Conforme
	Dégagement de chaleur	FAR 25.853 Annexe F, Partie IV	3,7 mm	Aucune	Moy. Max. Moy. Total 2 min	≤ 65 kW/m2 ≤ 65 kW-min/m2	196 kW/m2 158 kW-min/m2	Non conforme
			3,7 mm	Complet	Moy. Max. Moy. Total 2 min	≤ 65 kW/m2 ≤ 65 kW-min/m2	97 kW/m2 114 kW-min/m2	Non conforme
Fumée	Densité de fumée - mode de combustion	FAR 25.853 Annexe F, Partie V	3,7 mm	Aucune	Ds	≤ 200	191	Conforme
			3,7 mm	Partiel**	Ds	≤ 200	139	Conforme
			3,7 mm	Complet	Ds	≤ 200	115	Conforme
Toxicité	Toxicité de la combustion	BSS 7239	2 mm	Aucune	HCN CO NO / NO2 SO2 HF HCL	≤ 150 PPM ≤ 3500 PPM ≤ 100 PPM ≤ 100 PPM ≤ 200 PPM ≤ 500 PPM	— / — 351 / 368 20 / 34 7 / 9 <1 / <1 15 / 25	Conforme
			2 mm	Complet	HCN CO NO / NO2 SO2 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	Conforme

*Selon la norme PS-ANM-25.853-01-R2, le test de dégagement de chaleur n'est pas requis pour la plupart des pièces tournées vers l'intérieur et imprimables sur la X7, car leur surface exposée est inférieure au seuil spécifié pour les composants de cabines.

**Échantillon partiel produit sous forme de panneau sandwich à 2 couches

Compatibilité imprimante et matériaux

Onyx FR-A

Peut être utilisé sur toute la gamme d'imprimantes industrielles 3D Markforged (X7, X5, X3).

Peut être renforcé avec les fibres continues disponibles.

Fibre de carbone FR-A

Peut être utilisée sur la X7.

Compatible uniquement comme renforcement de l'Onyx FR-A.

Imprimantes	Base composite	Fibre continue
X7	Onyx FR-A	Fibre de carbone FR-A Fibre de carbone Fibre de verre HSHT Kevlar Fibre de verre Sans renforcement
X5	Onyx FR-A	Fibre de verre Sans renforcement
X3	Onyx FR-A	Sans renforcement

Données à venir

L'Onyx FR-A et la fibre de carbone FR-A sont actuellement en cours de qualification NCAMP, ce qui permettra d'obtenir des données supplémentaires une fois le processus terminé et notamment :

Des données mécaniques directionnelles plus étendues

Des données mécaniques sur l'environnement

La température de transition vitreuse

Le coefficient de dilatation thermique (CTE)

L'exposition aux UV

La sensibilité aux fluides aérospatiaux courants, y compris les carburants, les lubrifiants et les agents de nettoyage.

Pour en savoir plus sur les conditions d'essai spécifiques ou pour demander des pièces d'essai pour des tests internes, veuillez contacter un conseiller Markforged. Toutes les pièces client doivent être testées conformément aux spécifications client.

Ces données représentatives ont été testées, mesurées ou calculées à l'aide de méthodes standard et sont susceptibles d'être modifiées sans préavis. Markforged ne donne aucune garantie de quelque nature que ce soit, expresse ou implicite, y compris, mais sans s'y limiter, les garanties de qualité marchande, de conformité à un usage particulier, ou la garantie contre la violation de brevet, et n'assume aucune responsabilité en lien avec l'utilisation de ces informations. Les données indiquées ici ne doivent pas être utilisées pour établir des seuils de conception, de contrôle de qualité ou de spécification, et ne sont pas destinées à remplacer vos propres essais pour déterminer l'adéquation à votre utilisation spécifique. Rien dans cette fiche ne doit être interprété comme un permis d'exploitation ou une recommandation de violation d'un quelconque droit de propriété intellectuelle.