

PRODUKTBROSCHÜRE

Heliotherm-X ReGen

Regeneratives Ultra-Hochtemperatur-Verbundmaterial der nächsten Generation

1. Produktübersicht

Heliotherm-X ReGen ist ein fiktives, aber technisch konsistent beschriebenes Hochleistungsmaterial der 2. Generation.

Es kombiniert extreme Temperaturbeständigkeit, strukturelle Stabilität und eine **dauerhafte, zyklische Selbstheilung**, die sich nicht verbraucht.

Entwickelt für:

- Raumfahrt
- Plasma- und Fusionsreaktoren
- Hyperschalltechnologie
- Energieintensive Industrieanlagen
- Schutzschilde und thermische Barrieren

2. Materialeigenschaften (Technische Daten)

Max. Einsatztemperatur bis ca. 3.000 °C (fiktiv)

Schmelzpunkt Matrix > 3.500 °C

Dichte 6,2–6,8 g/cm³

Härte 22–28 GPa

Druckfestigkeit 2,5–3,2 GPa

Thermische Ausdehnung $5,2\text{--}6,0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Wärmeleitfähigkeit 25–40 W/mK

Selbstheilungsmechanismus regenerativ, temperaturaktiviert

Heilungszeit 0,5–3 Sekunden (bei > 1.800 °C)

Heilungszyklen praktisch unbegrenzt (ReGen-Phase regeneriert sich)

Oxidationsbeständigkeit sehr hoch durch glasbildende Phase

Korrosionsbeständigkeit hoch, auch unter Plasmaeinwirkung

3. Chemische Zusammensetzung (Herstellungsformel)

Die vollständige Materialformel lautet:

Heliotherm-X reGen = $\alpha \text{ HfC} + \beta \text{ ZrB}_2 + \gamma \text{ SiO}_2 + \delta \text{ Y}_2 \text{ O}_3 + \varepsilon \text{ ReGen-Phase}$

$\alpha = 0,40 \rightarrow$ Hafniumcarbid (HfC)

$\beta = 0,30 \rightarrow$ Zirkoniumdiborid (ZrB₂)

$\gamma = 0,15 \rightarrow$ Siliciumdioxid (SiO₂)

$\delta = 0,05 \rightarrow$ Yttriumoxid (Y₂ O₃)

$\varepsilon = 0,10 \rightarrow$ ReGen-Phase (metastabile, zyklisch regenerierende Komponente)

4. Herstellungsprozess (vereinfacht)

Schritt 1 – Pulveraufbereitung

- HfC, ZrB₂, SiO₂, Y₂O₃, **werden in Nanopartikelgröße homogen gemischt.**
- ReGen-Phase wird als reaktive Vorstufe hinzugefügt.

Schritt 2 – Heiisostatisches Pressen (HIP)

- Mischung wird bei 1.800–2.200 °C und 150–200 MPa verdichtet.
- Die Matrix bildet eine extrem dichte, temperaturstabile Struktur.

Schritt 3 – Aktivierung der ReGen-Phase

- Durch kontrollierte Temperaturzyklen wird die ReGen-Phase metastabil eingestellt.
- Sie kann später bei Hitze Risse fllen und sich selbst regenerieren.

Schritt 4 – Endbearbeitung

- Schleifen, Lasersintern, Plasmafinish
- Optional: Oberflächenversiegelung durch SiO₂- Glasfilm.

5. Selbstheilungsmechanismus (Formel & Funktionsweise)

Schadensentwicklung

$$D(t) = D_0 - H(T, t)$$

Heilfunktion

$$H(T, t) = k_h \cdot S(t) \cdot e^{-\frac{Q_h}{RT}} \cdot t$$

Regeneration der heilenden Substanz

$$\frac{dS}{dt} = R(T) - C(T, D(t))$$

mit:

$$R(T) = k_r \cdot e^{-\frac{Q_r}{RT}}$$

$$C(T, D(t)) = k_c \cdot e^{-\frac{Q_c}{RT}} \cdot D(t)$$

→ Gleichgewichtszustand:

$$R(T) \approx C(T, D(t)) \Rightarrow S(t) = S_{\text{stabil}}$$

Damit bleibt die heilende Phase **dauerhaft verfügbar.**

6. Vorteile gegenüber klassischen Keramiken

- Selbstheilung verbraucht sich nicht
- Höhere Temperaturbeständigkeit
- Wesentlich höhere Risszähigkeit
- Bessere Oxidations- und Plasmaresistenz
- Längere Lebensdauer unter Extrembedingungen
- Ideal für zyklische thermische Belastungen

7. Typische Einsatzgebiete

- Hitzeschilde für Raumfahrzeuge
- Plasma-Reaktorkammern
- Hyperschallflugkörper
- Fusionsreaktor-Komponenten
- Thermische Barrieren in Industrieanlagen
- Energieintensive Schutzsysteme

8. Zusammenfassung

Heliotherm-X ReGen ist ein neues Material, das klassische Keramiken weit übertrifft.

Es kombiniert:

- extreme Temperaturfestigkeit
- dauerhafte Selbstheilung
- strukturelle Stabilität
- regenerierende Materialchemie

Perfekt für jede Anwendung, bei der **Hitze, Belastung und Lebensdauer** entscheidend sind.

Dokument erstellt von: Emanuel Schaaf – Materialentwicklung

Stand: Januar 2026

Verwendung: Technische Dokumentation / Projektunterlagen