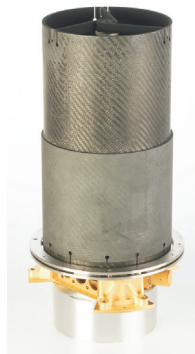




Ausdehnungsneutrale Strukturbauteile aus C/C-SiC Werkstoffen



C/C-SiC Teleskoprohr für Terrasar-X Mission (Ø 150 mm); Zeiss Optronik/DLR



C/C-SiC Teleskoprohr LCT (Ø 75 mm) und Spiegelhalterung; Zeiss/DLR

Filigrane Leichtbaustrukturen mit maßgeschneiderten Eigenschaften

C/C-SiC Faserverbundkeramiken stellen eine relativ neue Werkstoffklasse dar, und wurden vom DLR ursprünglich für Thermalschutzsysteme von wiederverwendbaren Raumfahrzeugen entwickelt. Neben diesen Anwendungen als heiße Strukturen eignen sich C/C-SiC Werkstoffe auch für alle Bereiche, bei denen geringe Wärmeausdehnungen und Bauteilmassen im Vordergrund stehen.

Typische Anwendungsgebiete sind Kalibrierkörper für 3D-Koordinatenmessmaschinen, Strahlführungssysteme in Laserschneidanlagen, optische Bänke und Spiegelstrukturen sowie ausdehnungsarme, hochsteife Teleskopstrukturen für die Satellitenkommunikation. Dabei können sowohl komplexe und großformatige als auch filigrane und leichte Strukturen endkonturnah hergestellt werden.

Vorteile von C/C-SiC Werkstoffen:

- Sehr geringer, einstellbarer Wärmeausdehnungskoeffizient (CTE) ($\alpha = 0 \pm 0,1 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$; -50 bis +70 °C)
- Deutlich geringere Dichte im Vergleich zu Invar® - oder Zerodur®
- Hohe massenspezifische Steifigkeit
- Kein Quellen / Ausgasen wie bei CFK

- Schadenstolerant und weniger spröde im Vergleich zu Zerodur®
- Endkonturnahe Fertigung komplexer Strukturbauteile

Prozesstechnik (LSI-Verfahren)

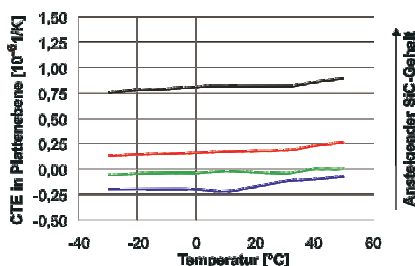
Die Herstellung von C/C-SiC Strukturen erfolgt nach dem vom DLR entwickelten LSI-Prozess (Liquid Silicon Infiltration) in drei wesentlichen Fertigungsschritten:

1. Herstellung eines CFK-Vorkörpers
2. Pyrolyse des CFK-Vorkörpers zum C/C-Vorkörper ($T > 900 \text{ °C}$, Schutzgas)
3. Silicierung ($T > 1420 \text{ °C}$, Vakuum)

Gegenüber CMC-Herstellverfahren auf der Basis der Gasphasenabscheidung (CVI) oder der Mehrfachinfiltration und -pyrolyse von Si-Polymeren (PIP) bietet das LSI-Verfahren sowohl fertigungstechnische als auch wirtschaftliche Vorteile:

- Kostengünstige Ausgangswerkstoffe
- Keine Faserbeschichtung nötig
- Hohe Gestaltungsfreiheit
- Kurze Prozesszeiten

Für die Entwicklung von C/C-SiC Bauteilen mit Abmessungen von bis zu 1000 mm stehen modernere Anlagen zur Vorkörperfertigung und für die Hochtemperaturprozesse ($T_{\text{max}} = 2700 \text{ °C}$) zur Verfügung.



Thermisches Ausdehnungsverhalten von C/C-SiC Werkstoffvarianten in Abhängigkeit von Temperatur und SiC-Gehalt

Typische RT-Werte			Zerodur®	Invar®	C/C-SiC (XB)
Struktur	-	-	isotrop	isotrop	anisotrop
Dichte	ρ	[g/cm³]	2,53	8,0	1,9
E-Modul	E	[GPa]	90	140-150	60
Zugfestigkeit	σ	[MPa]	< 10	450-590	80
CTE	α	[10 ⁻⁶ 1/K]	0 ± 0,02 (0 bis 50 °C)	1,7-2,0 (20 bis 90 °C)	-0,0 ± 0,1 (-30 bis 50 °C; in Faserrichtung)
Max. Anwendungstemperatur	T_{max}	[°C]	600	600	1400