

APPLICATION NOTE

Verbundwerkstoffe – Laser Flash Analyse

Struktur bestimmt Funktion: Wärmeleitung in anisotropen, keramischen Faserverbundwerkstoffen

Dorothea Stobitzer, Applications Laboratory

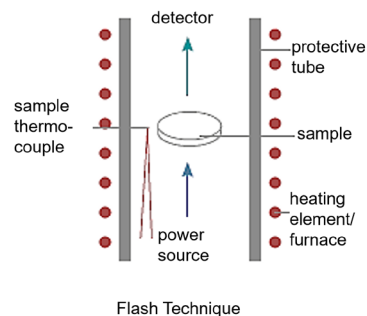
Einleitung

In der Hochtemperaturtechnik steigt die Nachfrage nach Materialien, die auch unter extremen thermischen Bedingungen zuverlässig funktionieren. Besonders wichtig sind dabei Werkstoffe, die hohen Temperaturen und starken Temperaturgradienten dauerhaft standhalten können. Keramische Faserverbundwerkstoffe haben sich in diesem Zusammenhang als leistungsfähige Lösung etabliert. Sie werden vor allem zur thermischen Absicherung sensibler und stark belasteter Bauteile eingesetzt. Typische Anwendungen finden sich beispielsweise in Brennkammerauskleidungen oder als Strukturkomponenten in der Prozessindustrie.

Der schichtartige Aufbau der Fasern führt dazu, dass diese Werkstoffe ausgeprägte richtungsabhängige Eigenschaften besitzen. Dadurch unterscheiden sich ihre thermischen Eigenschaften je nach Orientierung der Fasern deutlich. Für die exakte Auslegung von Hochtemperaturkomponenten ist es daher entscheidend, den Wärmetransport in Abhängigkeit von der Faserausrichtung genau zu kennen.

Methode und Messbedingungen

Die Laser-Flash-Analyse (LFA, Messprinzip in Abbildung 1) wird zur Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit a eines Materials eingesetzt. In Kombination mit der Dichte ρ und bekannter spezifischer Wärmekapazität c_p lässt sich daraus die Wärmeleitfähigkeit λ berechnen ($\lambda = a \cdot c_p \cdot \rho$).

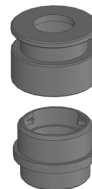


1 LFA-Messprinzip

Bei der Messung wird die Probenunterseite durch einen kurzen Laserimpuls erhitzt, während der Temperaturanstieg auf der gegenüberliegenden Seite mittels Infrarotdetektor erfasst wird. Aus dem zeitlichen Temperaturverlauf kann mithilfe geeigneter mathematischer Modelle die Temperaturleitfähigkeit bestimmt werden.

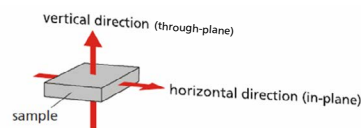
An einem Keramikfaserverbundwerkstoff wurden Messungen mit der LFA 707 *StratoFlash® Classic* im Temperaturbereich von Raumtemperatur bis 1100 °C durchgeführt und bilden damit die realen Einsatzbedingungen der Materialien ab.

Für die Untersuchungen kamen zwei unterschiedliche Probenhalter zum Einsatz: ein Standard-Probenhalter (Abbildung 2) zur Bestimmung der thermischen Eigenschaften in through-plane-Richtung sowie ein Laminat-Probenhalter zur Analyse in in-plane-Richtung.

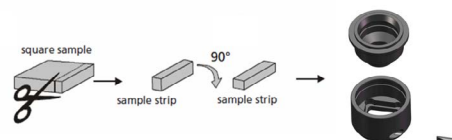


2 Standard-Probenhalter

In Abbildung 3 ist das Schema zur Probenpräparation für den Einsatz im Laminat-Probenhalter dargestellt.



operating principle:



3 Probenpräparation einer Probe für den Einsatz im Laminat-Probenhalter

APPLICATIONNOTE Struktur bestimmt Funktion: Wärmeleitung in anisotropen, keramischen Faserverbundwerkstoffen

Die Probe für die through-plane-Messung wies einen Durchmesser von 12,64 mm und eine Dicke von etwa 2,03 mm auf, während die in-plane-Probe in Streifen geschnitten im Laminatprobenhalter mit einer Kantenlänge von 10 mm und einer Dicke von etwa 2,30 mm ausgeführt waren. Die Messparameter sind in Tabelle 1 aufgeführt.

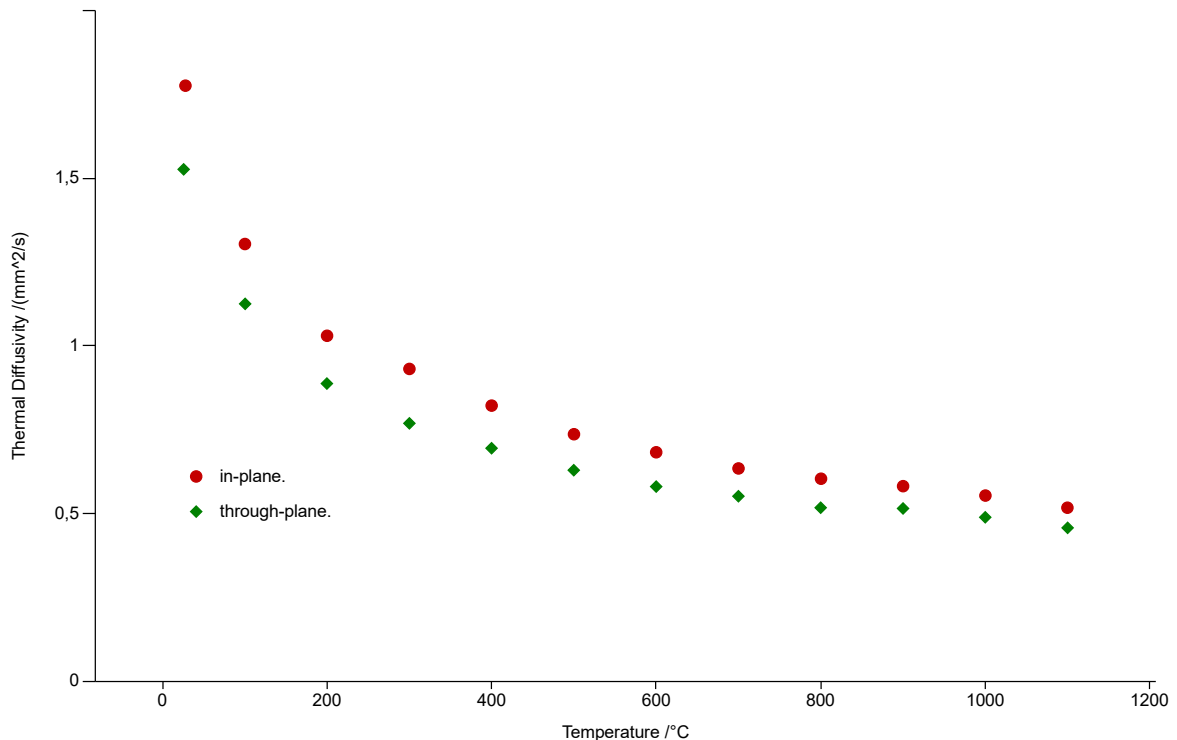
Tabelle 1 LFA-Messbedingungen

Temperaturbereich	RT - 1100 °C
Probenhalter	- Standard (through-plane-Richtung) - Laminat (in-plane-Richtung)
Probengröße	- through plane: Ø 12,64 mm; Dicke 2,03 mm; - in-plane: mehrere Streifen mit 10 mm x 2,30 mm
Beschichtung	Grafit
Atmosphäre	Argon
Heizrata	variabel 10 bis 20 K/min
Energie	650 V; 600 µs

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse in Abbildung 4 zeigen die klar ausgeprägten anisotropen Eigenschaften des Faserverbundwerkstoffs. Bereits bei Raumtemperatur wird deutlich, dass die Temperaturleitfähigkeit in Faserrichtung signifikant höher ist als senkrecht zur Faser. Der Unterschied beträgt hier etwa 16 %, was auf die bevorzugte Richtung der Wärmeleitung entlang der Faserstruktur zurückzuführen ist. In dieser Richtung ermöglichen die kontinuierlichen Faserpfade einen effizienteren Energietransport, während quer zur Faser Grenzflächen und strukturelle Inhomogenitäten den Wärmetransport stärker behindern.

Mit steigender Temperatur verringert sich dieser anisotrope Effekt leicht: Die Differenz zwischen den beiden Richtungen nimmt auf etwa 13 % ab. Dies deutet darauf hin, dass mit zunehmender Temperatur zusätzliche Mechanismen – beispielsweise durch verstärkte Phonon-Phonon-Wechselwirkungen – den Einfluss der Faserorientierung relativ abschwächen.



4 Temperaturleitfähigkeit des Keramikfaserverbundwerkstoffes in through-plane- (grüne Rauten) und in-plane Richtung (rote Punkte).

APPLICATIONNOTE Struktur bestimmt Funktion: Wärmeleitung in anisotropen, keramischen Faserverbundwerkstoffen

Insgesamt belegen die Messergebnisse, dass die Faserausrichtung einen wesentlichen Einfluss auf das thermische Transportverhalten hat, dieser Einfluss jedoch bei höheren Temperaturen etwas an Bedeutung verliert. Die gewonnenen Daten zur Temperaturleitfähigkeit stellen somit eine essenzielle Grundlage für thermomechanische Simulationen dar. Sie ermöglichen eine realitätsnahe Abbildung des anisotropen Materialverhaltens und tragen entscheidend zur sicheren und effizienten Auslegung sowie Implementierung dieser Hochleistungswerkstoffe in industriellen Anwendungen bei.

Zusammenfassung

Die Laser-Flash-Analyse (LFA) ermöglicht die präzise Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit von Materialien über einen breiten Temperaturbereich bis hin zu hohen Einsatztemperaturen. Durch den Einsatz spezieller Probenhalter kann die Anisotropie von Materialien untersucht werden.

Insbesondere der Laminatprobenhalter erlaubt die Untersuchung der Temperaturleitfähigkeit in in-plane-Richtung und ergänzt damit die klassische through-plane-Messung. Auf diese Weise wird die experimentelle Erfassung anisotroper thermischer Eigenschaften auch bei erhöhten Temperaturen möglich. Dies stellt eine wesentliche Grundlage für das Verständnis richtungsabhängiger Wärmeleitmechanismen und die realitätsnahe Auslegung von Hochleistungswerkstoffen dar.