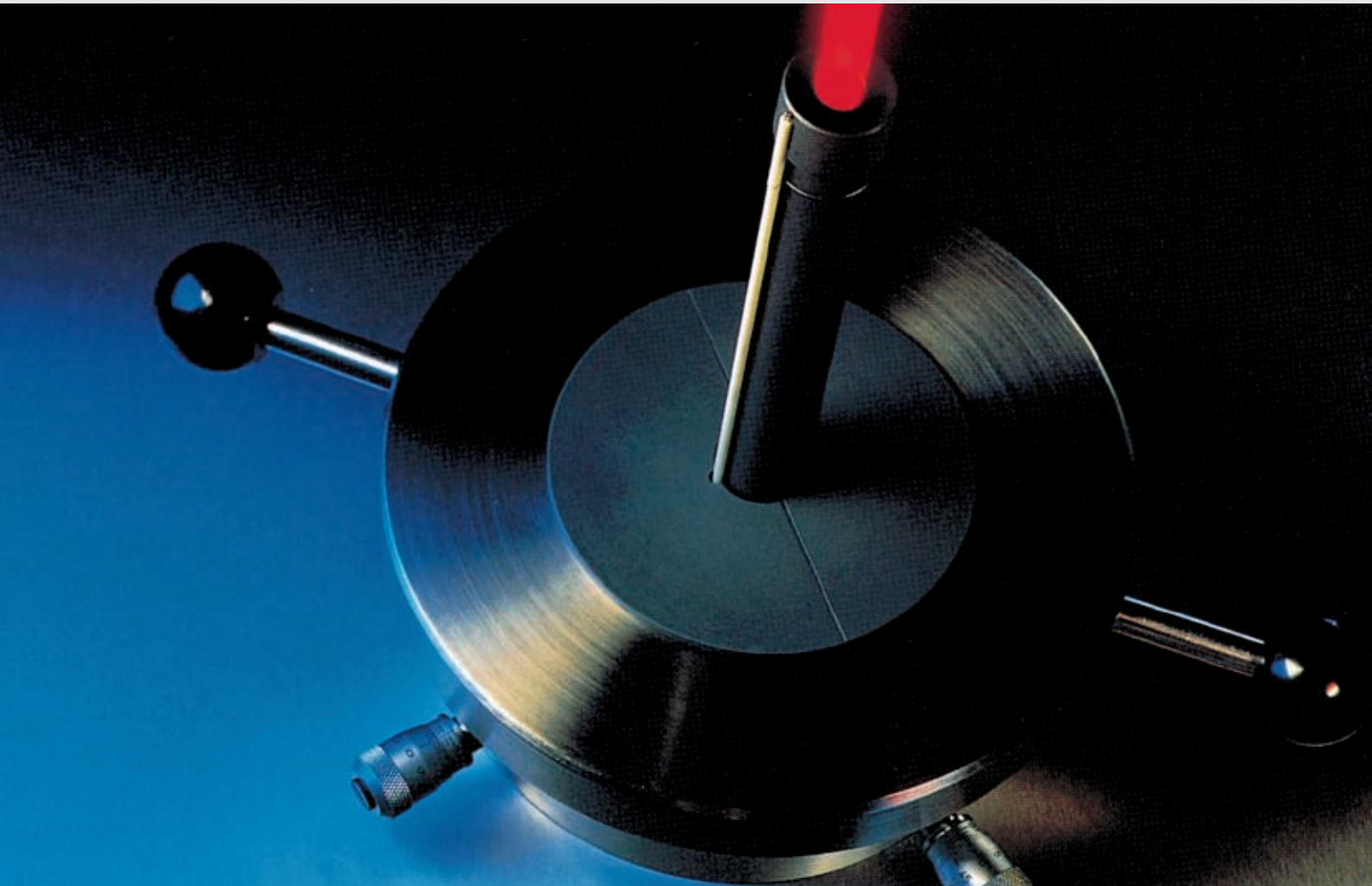


NETZSCH

Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit



Leading Thermal Analysis. ■

LFA 427
-70 °C bis 2000 °C

Laser Flash Apparatur LFA 427 zur Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit

Mehr und mehr Materialien sind in ihrer Herstellung oder in der späteren Anwendung hohen Temperaturen ausgesetzt. Häufig ist die Kenntnis ihrer thermophysikalischen Eigenschaften, besonders der Wärmeleitfähigkeit (WLF) von größter Bedeutung.

Eine weit verbreitete Methode zur Bestimmung der WLF ist die Messung von Temperaturleitfähigkeit a , spezifischer Wärme c_p , sowie Dichte ρ als Funktion der Temperatur und anschließender Berechnung der WLF aus diesen Daten:

$$\lambda(T) = a(T) \cdot \rho(T) \cdot c_p(T)$$

Die Temperaturleitfähigkeit wird häufig mittels der Impulsmethode mit einer „Laser-Flash“-Apparatur gemessen. Weltweit gesehen werden etwa 80 % aller Temperaturleitfähigkeitsmessungen mit solchen Geräten durchgeführt. Vorteile gegenüber der direkten Messung der WLF sind einfache Probenkörper-

form, kleine Probenkörperabmessungen, großer Messbereich, gute Genauigkeit und Reproduzierbarkeit. Durch die kurzen Messzeiten ist es möglich, in wenigen Stunden einen großen Temperaturbereich abzudecken.

NETZSCH-Gerätebau GmbH bietet seit Anfang der 90er Jahre ein neuartiges Gerätekonzept – die LFA 427 – an. Das Gerät wurde in den letzten Jahren vollständig überarbeitet und auf den neuesten Stand im Hinblick auf Elektronik und SW gebracht.

Bei der aktuellen Version des Laser-Flash-Geräts handelt es sich um ein neu entwickeltes Konzept. Das völlig geschlossene System mit seinem kompakten, platzsparenden Aufbau entspricht der höchsten Sicherheitsklasse für laserbestückte Geräte und kann ohne zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen betrieben werden.

Die vertikale Anordnung von Probe, Laserauskopplung und Infrarotsensor ermöglicht einen einfachen, horizontalen Einbau des Probenkörpers; kurze Wegstrecken minimieren Verlust von Laserenergie und Temperatursignal. Messungen können sowohl in Luft oder Vakuum bzw. bei statischer oder dynamischer Gasspülung betrieben werden.

Die bedienerfreundliche 32-bit-Windows®-Software (Pull-Down-Menu-Technik, On-Line-Hilfe, etc.) erlaubt sowohl manuelle als auch vollautomatische Steuerung des Versuchsablaufs und die Auswertung der Messergebnisse.

Eingebaute mathematische Modellfunktionen ermöglichen die Berechnung von Temperaturleitfähigkeit und des thermischen Kontaktwiderstandes bei Mehrschichtsystemen.

Fazit:

Die NETZSCH LFA 427 ist ein modernes Analysengerät:

- benutzerfreundlich
- präzise
- sicher (Laserklasse 1)
- c_p -Bestimmung über Vergleichsmethode
- Messbereich a :
0,01 mm²/s bis 1000 mm²/s
- Messbereich λ :
0,1 W/(m·K) bis 2000 W/(m·K)
- Temperaturbereich:
-70 °C bis 2000 °C

Ihre Software beinhaltet die Kenntnisse und Erfahrungen, die durch Spezialisten in den letzten 30 Jahren in diesem Technologiebereich erarbeitet worden sind.

Das NETZSCH-TA-Programm bietet mit der Hochtemperatur-DSC 404 *Pegasus*® ein ideales Gerät zur Bereitstellung von präzisen c_p -Daten bis 1500 °C.

Die temperaturabhängigen Dichte- und Längenänderungen lassen sich mittels Dilatometrie erfassen.



LFA 427 (2000 °C-Version)

Messmethode

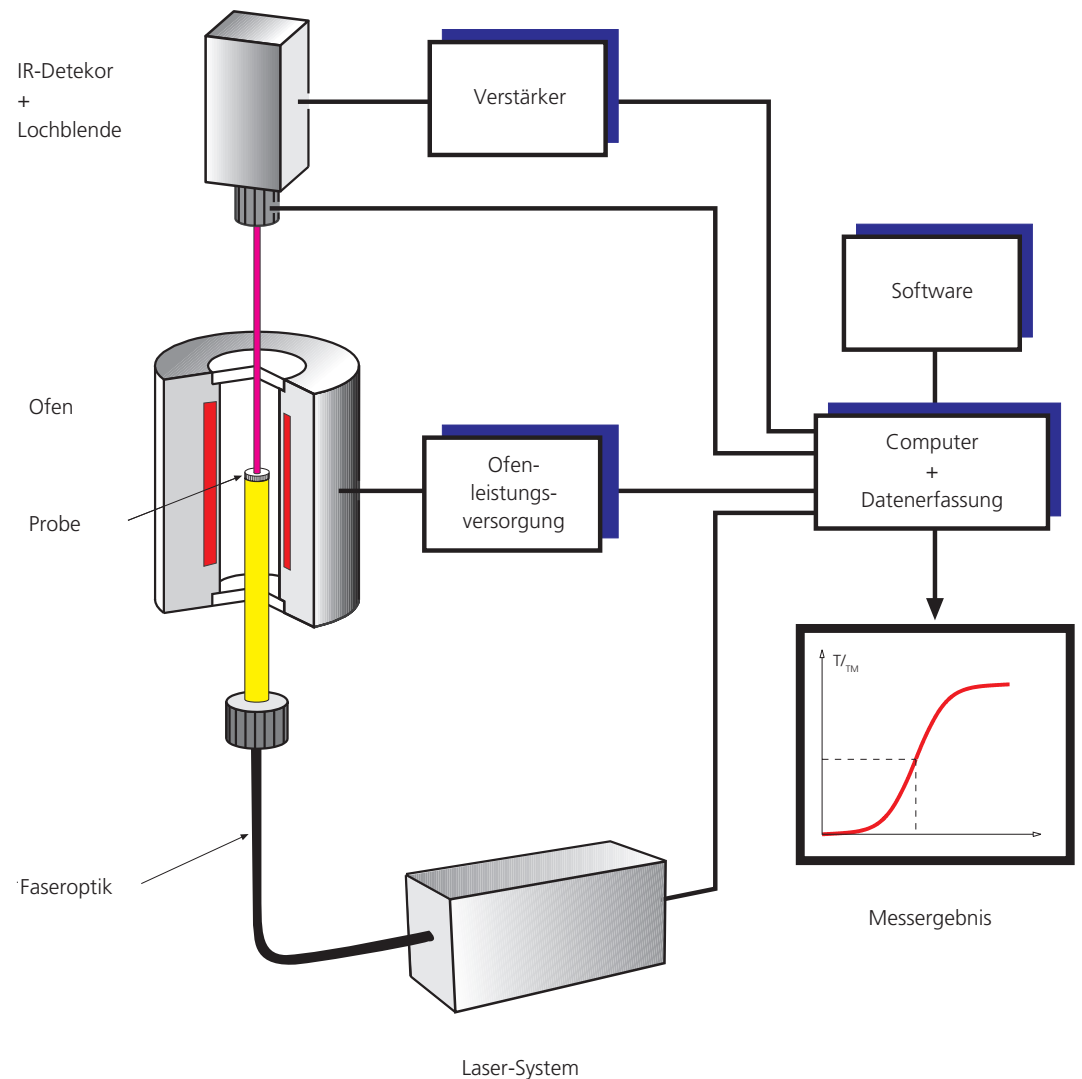
Ein scheibenförmiger Probenkörper ist mittels eines Tragsystems in einem Ofen angeordnet. Nach Erreichen der vorgewählten Prüftemperatur wird auf der Vorderseite der Probe ein kurzer Energieimpuls des Lasers absorbiert. Danach findet in der Probe ein Temperaturengleich statt. Dabei wird die relative Temperaturänderung auf der Rückseite der Probe mit einem Infrarotdetektor erfasst. Die mathematische Analyse dieses zeitlichen

Temperaturverlaufs ermöglicht die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit a . Unter adiabatischen Bedingungen erhält man für a :

$$a = 0.1388 \frac{l^2}{t_{0.5}}$$

mit
 l = Probenkörperdicke (mm)
 $t_{0.5}$ = Zeit (s) bei Erreichen von 50 % des maximalen Temperaturanstiegs

Die Eleganz der Methode liegt darin, daß die normalerweise nicht einfache Messung von thermischen Parametern wie ΔT_{abs} und Wärmemengen durch eine viel genauere Zeitmessung von relativen Temperaturerhöhungen ersetzt wird.



Messaufbau

Die LFA 427 setzt sich aus vier Einheiten zusammen:

- Meßteil mit Ofen, Laserauskopplungssystem und IR-Detektor
- Steuer- und Versorgungsschrank für das Messteil
- Lasersystem mit Faseroptik
- Datenerfassungs- und Rechnersystem

Das Messteil wurde in vertikaler Anordnung konzipiert, wobei die Auskoppeleinrichtung der Glasfaser im unteren, geschlossenen Gehäuseteil untergebracht ist. Der Laserstrahl tritt dabei vertikal nach oben aus. Oberhalb der Auskoppeleinrichtung

ist ein Rezipientenblock angeordnet, welcher an seiner Oberseite die rohrförmige Probenkörperhalterung und deren Justiereinrichtung trägt. Mit einem Knebelschnellverschluss wird der Rezipientenblock gas- und vakuumdicht an das Ofensystem angekoppelt. Dieses läßt sich mittels einer motorischen Hubvorrichtung öffnen.

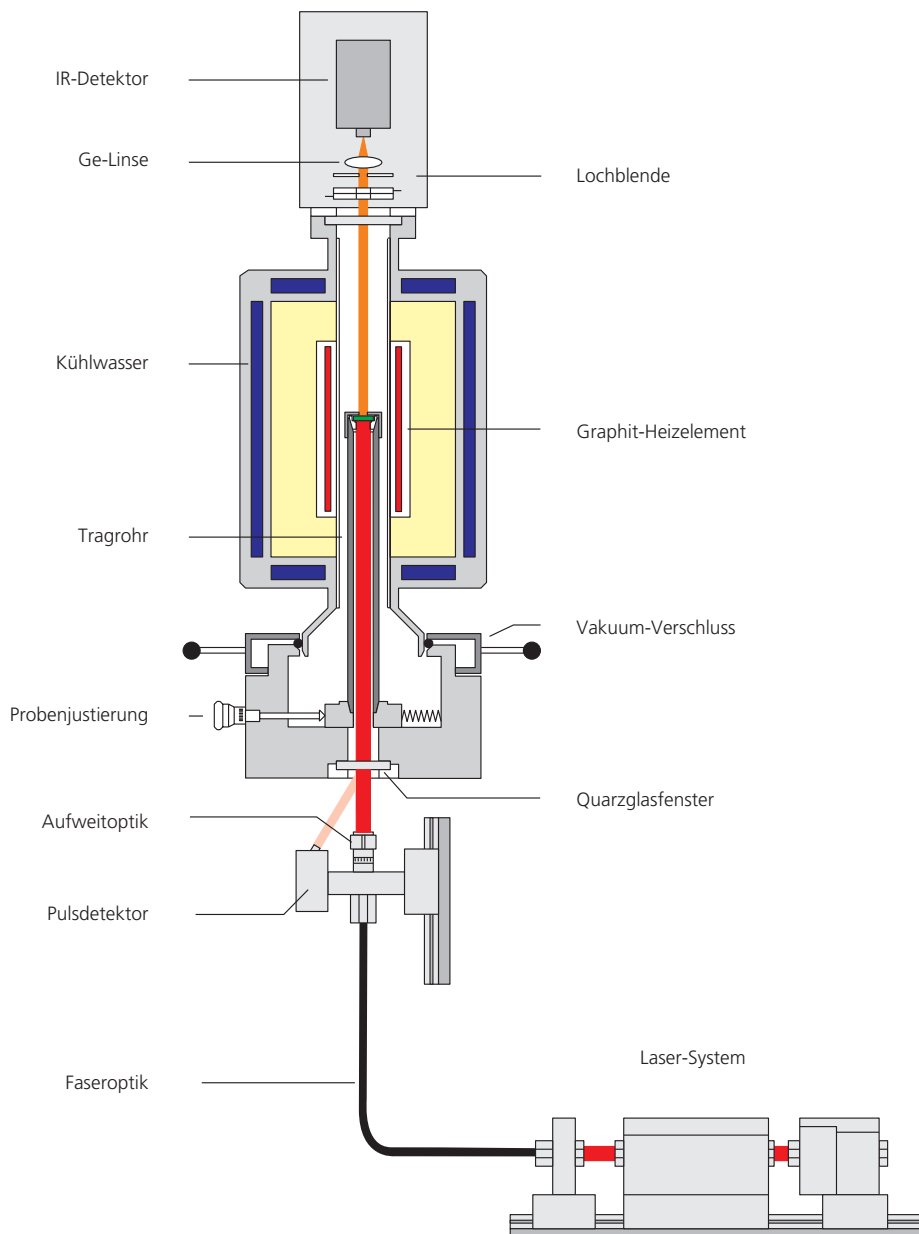
Zur Erzeugung des Laserimpulses wird ein Festkörperlaser mit der für die Laser-Flash-Methode erforderlichen hohen Pulsenergie verwendet. Die

Emissionswellenlänge liegt im Infrarotbereich und beträgt 1064 nm. Die Pulsbreite des Lasers ist variabel.

Die Absoluttemperatur des Probenkörpers wird mit einem Thermoelement gemessen, welches seitlich am Probenkörperhalter angeordnet ist. Je nach Temperaturbereich lassen sich unterschiedliche Thermoelemente einsetzen.

Zur Messung des Temperaturanstiegs auf der Rückseite des Probenkörpers wird ein Infrarotdetektor verwendet. Sensor material ist Indiumantimonid oder Quecksilber-Cadmium-Tellurid, welche mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden. Weitere Besonderheiten sind eine Germaniumlinse, welche gleichzeitig als Filter für das Laserlicht wirkt, und ein motorisch betriebenes Blendensystem.

Von der sicherheitstechnischen Einordnung kann das Gerätesystem in die „Laserklasse 1“ eingestuft werden. Dies bedeutet, dass für den Betrieb der Apparatur weder ein besonderer Laserschutzraum erforderlich ist, noch das Tragen von Lasersicherheitsbrillen vom Bedienungspersonal gefordert werden muss. Dies ist durch die völlig geschlossene Bauweise des Messteils sowie ein elektronisch mit Hubvorrichtung und Fronttür verknüpftes Sicherheitssystem realisiert, welches beim Öffnen einer dieser Komponenten den Shutter des Lasersystems sofort schließt und so ein Auslösen des Laserimpulses unmöglich macht.



**Hardware Schema
(2000 °C - Ofen)**

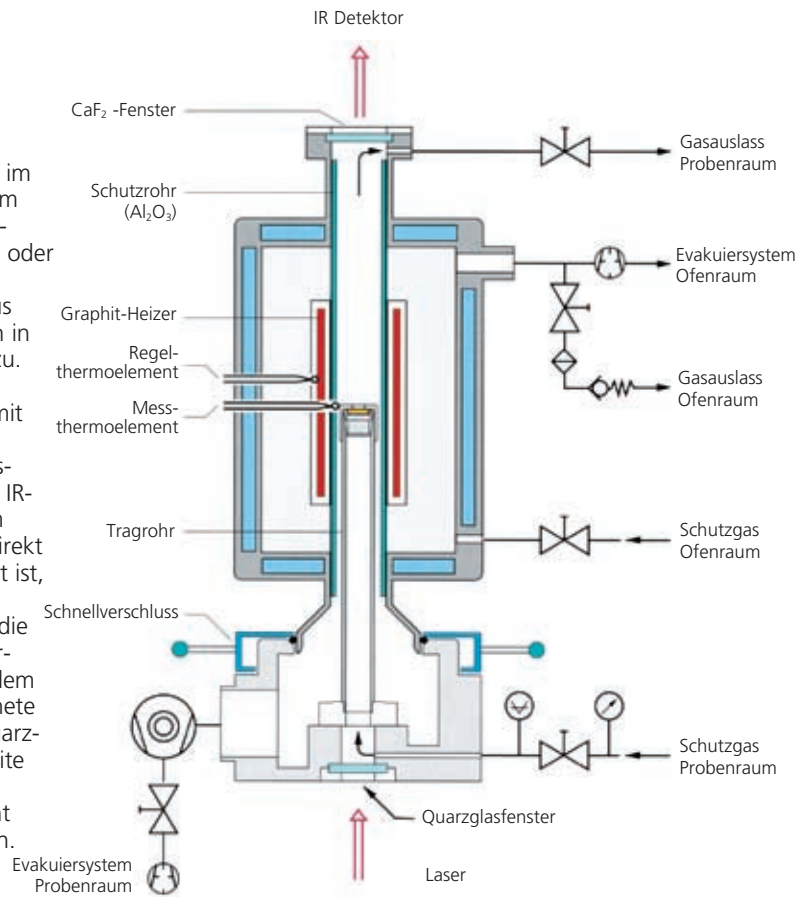
Öfen

Die LFA 427 kann mit verschiedenen, vom Bediener wechselbaren, Öfen ausgestattet werden. Die Tieftemperaturvariante arbeitet mit einem Flüssigstickstoff gekühlten Ofen und erlaubt Messungen zwischen -70 °C und 400 °C . Ein robuster, langlebiger SiC-Ofen ermöglicht Messungen von Raumtemperatur bis 1550 °C . 2000 °C können mit einem Graphitofen erzielt werden.

Der 2000 °C -Ofen besteht aus einem Graphitheizelement und einer thermischen Isolierung aus Graphitfasermaterial, eingebaut in ein wassergekühltes Gehäuse. Ofen- und Probenraum sind entweder durch ein Al_2O_3 -Schutzrohr (max. Temperatur 1700 °C) oder durch ein Glaskohlenstoffrohr (max. Temperatur 2000 °C) gasdicht

voneinander getrennt. Auf diese Weise ist es möglich, im Probenraum in Hochvakuum oder verschiedenen Schutzatmosphären in statischem oder dynamischem Betrieb zu messen. Das Schutzrohr aus Al_2O_3 läßt auch Messungen in oxidierender Atmosphäre zu.

Der Probenraum ist oben mit einem Kalziumfluorid- und unten mit einem Quarzglasfenster abgeschlossen. Der IR-Detektor, welcher in einem eigenständigen Gehäuse direkt über dem Ofen angeordnet ist, hat „Sichtverbindung“ zur Probenkörperrückseite für die Messung der Temperaturerhöhung. Der direkt unter dem Rezipientenblock angeordnete Laser schießt durch das Quarzglasfenster auf die Unterseite der Probe. Beide Fenster können zum Reinigen leicht aus- und eingebaut werden.



Gasführung (2000 °C-Ofen)

Probenkörpereinbau

Der vertikale Einbau von Laser- auskoppelsystem- und Sensor ermöglicht eine horizontale, stabile Anordnung des Probenkörpers. Er ist bei ausgeschwenktem Ofen direkt zugänglich und leicht ein- und auszubauen.

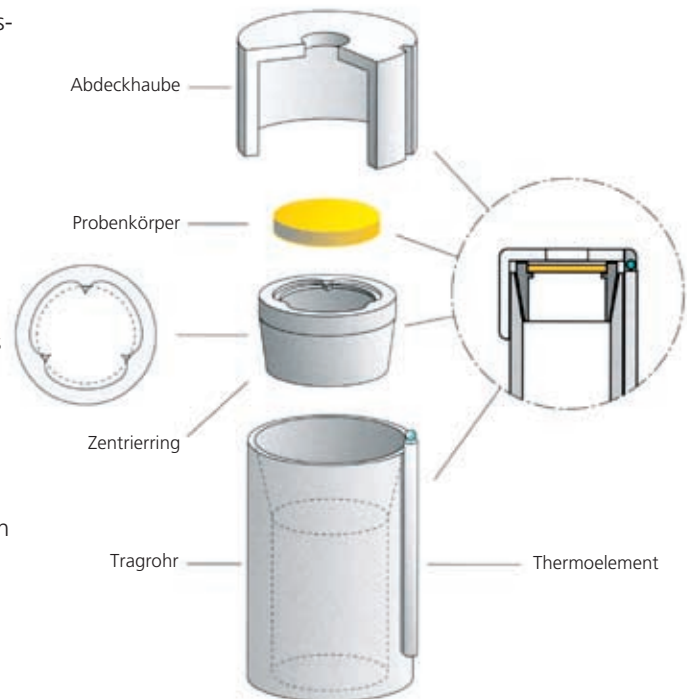
Als Halter wird ein Tragrohr aus Graphit oder Al_2O_3 mit metallischem Justiersockel verwendet. In dessen obere, kegelförmige Öffnung wird ein konischer Zentrierring als eigentlicher Probenkörperhalter eingesetzt. Die Aufnahme und Zentrierung des Probenkörpers erfolgt über drei Schneiden. Sie berühren ihn nur punktuell, um somit Wärmeverluste zu unterbinden.

Der lichte Durchmesser des Zentrierrings ist unterhalb des

Probenkörpers als Begrenzungsblende ausgebildet. Der hier auftreffende, im Durchmesser größere Laserstrahl wird exakt auf den Durchmesser des Probenkörpers ausgeblendet.

Eine Abdeckkappe, welche von oben als Haube über Probenkörper und Halterung gestülpt wird, verhindert das Austreten von Laserstreulicht. Störungen des Messsignals des IR-Detektors werden dadurch vermieden.

Probenhalter für andere Geometrien, flüssige Materialien oder Fasern sind ebenfalls verfügbar und einfach auf das Probentragrohr aufzusetzen.



Probenkörperhalterung

Software

Die LFA 427 arbeitet mit einer 32-bit-Windows®-Software, die speziell auf die Bedürfnisse des Anwenders zugeschnitten ist. Sie vereint einfache Versuchsführung mit komplexen Auswerterroutinen, sodass eine größtmögliche Zahl an Fragestellungen optimal gelöst werden kann.

Die mehr als 15 verschiedenen Auswertemodelle, die dem Benutzer zur Verfügung stehen, wurden mit führenden Fachleuten aus Wissenschaft und Industrie entwickelt und entsprechen den aktuellen Bedürfnissen und dem neuesten Stand der Technik.

Software Features:

- 32-bit-Windows®-Software: volle Kompatibilität mit anderen Windows® Programmen
- Multitasking: ein Wechsel zwischen Messung und Auswertung ist jederzeit möglich
- Volle Netzwerk-Kompatibilität
- Einfacher Ausdruck und Export von Messkurven und Messdaten (ASCII)
- Freie Bildschirm-Gestaltung über Docking-Windows
- Multimoduling: Steuerung von mehreren verschiedenen

Messgeräten am selben PC.
• Integrierte Datenbank

Mess-Task:

- Einfache, bedienerfreundliche Eingabe der Messparameter
- Freie Wahl des Temperaturprogramms mit Aufheiz-, Isotherm- und Abkühlphasen
- Temperaturkalibrierung: Ein einzigartiges Tool erlaubt eine vom Anwender jederzeit durchführbare Kalibrierung des Probenthermoelements
- Wahlweise manuelle oder automatische Optimierung von Systemparametern (Messzeit, Verstärkung, etc.)
- Automatische Registrierung und Speicherung des Laserpulses zu jedem Schuss für eine optimale Pulslängenkorrektur
- Automatische Auswertung der Messung nach jedem Schuss mit einem oder mehreren Auswertemodellen

Auswerte-Task:

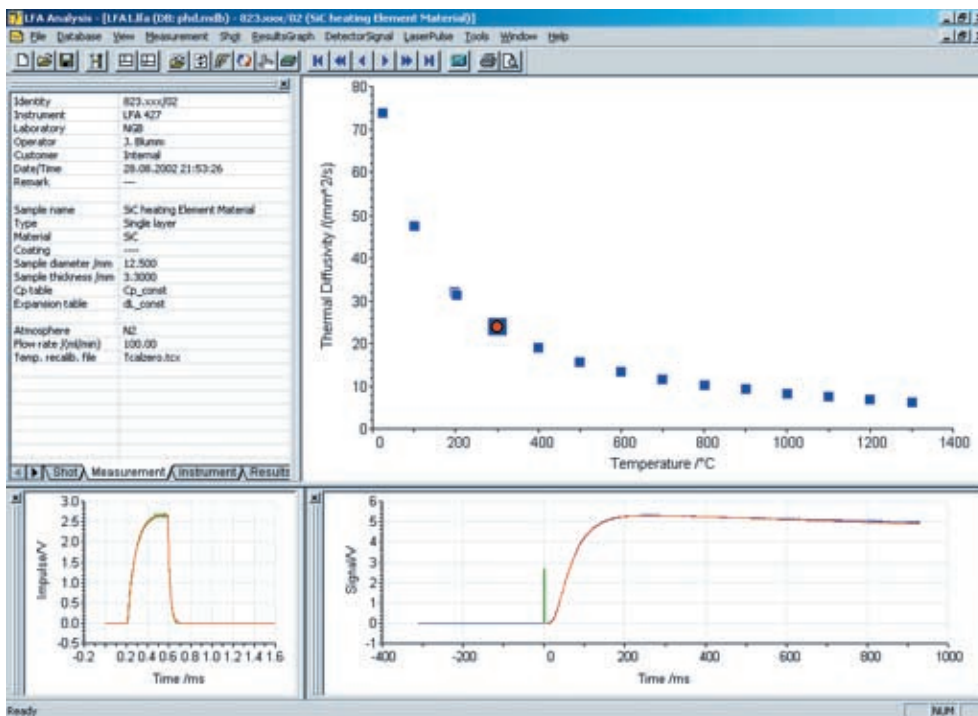
- Präsentation einer einzelnen Responsekurve, des Gesamtergebnisses sowie der Messparameter und -werte in einer Bildschirmdarstellung
- Freie Eingabe oder Import von

Dichte und spezifischer Wärme für die Wärmeleitfähigkeitsbestimmung

- Gleichzeitige Darstellung von Temperatur- und Wärmeleitfähigkeitsdaten in einem Plot
- Speicherung des Auswertezustandes zu jedem beliebigen Zeitpunkt
- Problemlose Darstellung bzw. Neuauswertung älterer Messdaten

Auswertemodelle:

- Exakte Pulslängenkorrektur auf der Basis des zu jeder Messung gehörenden Laserpulses
- Standard-Wärmeverlustkorrekturen: Die aus der Literatur bekannten Korrekturverfahren nach Cowan, Clark und Taylor sowie Degiovanni sind integriert
- Cowan-Fit: Nichtlineare Regression auf der Basis der Original-Publikation von Cowan (wahlweise mit oder ohne Pulslängenkorrektur)
- Das Cape-Lehmann-Verfahren wurde verbessert. Nichtlineare Regression unter Berücksichtigung radialer und facialer Wärmeverluste (wahlweise mit oder ohne Pulslängenkorrektur)
- Strahlungskorrektur: Für die Untersuchung von Oxid-Keramiken oder Gläsern wurde ein Modell integriert, welches den Strahlungstransfer berücksichtigt und gegebenenfalls korrigiert (gleichzeitig zur Wärmeverlust- und Pulslängenkorrektur)
- 2- oder 3-Schichtsysteme: Analyse von Mehrschichtsystemen unter Berücksichtigung von Wärmeverlusten auf der Basis einer nichtlinearen Regression (wahlweise mit oder ohne Pulslängenkorrektur)
- Kontaktwiderstand: Bestimmung des Kontaktwiderstandes in einem Schichtsystem
- Modellexperte: Gleichzeitige Auswertung einer Responsekurve mit mehreren Modellen; Ermittlung des optimalen Modells nach statistischen Kriterien
- Bestimmung der spezifischen Wärme über ein Vergleichsverfahren

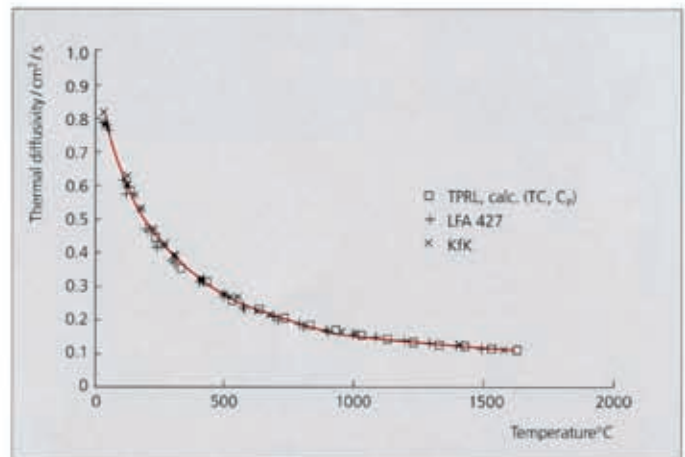


Perfekte Anpassung der Messung (blaue Kurve) durch das Cape-Lehmann-Modell (rote Kurve)

Vergleichsmessungen

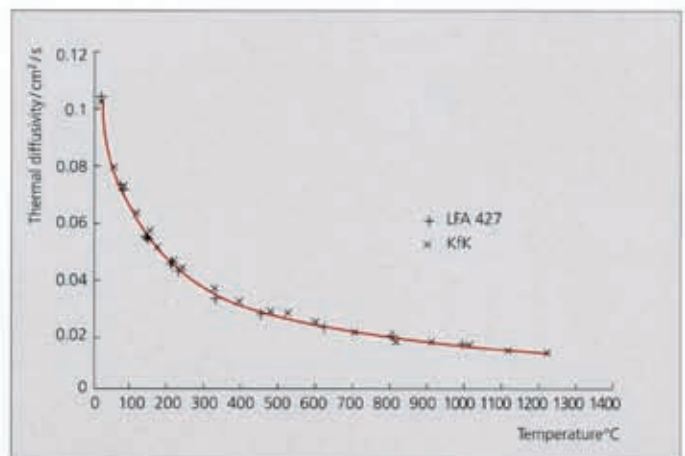
POCO-Graphit

Messergebnisse (LFA 427, KfK*) an einem Probenkörper aus POCO-Graphit im Vergleich mit aus WLF und c_p errechneten Temperaturleitfähigkeitswerten (TPRL**).



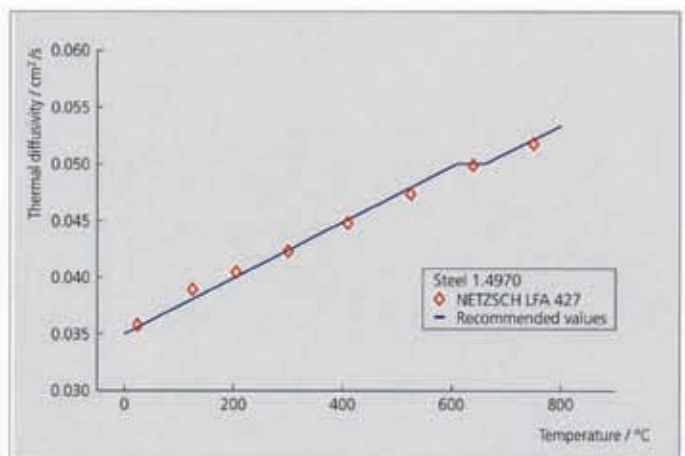
Bio-Al₂O₃

Messergebnisse (LFA 427, KfK*) an einem Probenkörper aus polykristallinem Bio-Al₂O₃; beidseitige Beschichtung mit einer Graphitemulsion.



1.4970 Stahl

Messergebnisse (LFA 427) an einem Probenkörper aus 1.4970 Stahl im Vergleich mit den vom Arbeitskreis „Thermophysik“ im VDI empfohlenen Temperaturleitfähigkeitswerten. Die größte Abweichung zwischen den zwei Datensätzen ist bei 125 °C und beträgt nur ca. 2.2 %.



* Kernforschungszentrum Karlsruhe, IMF 1

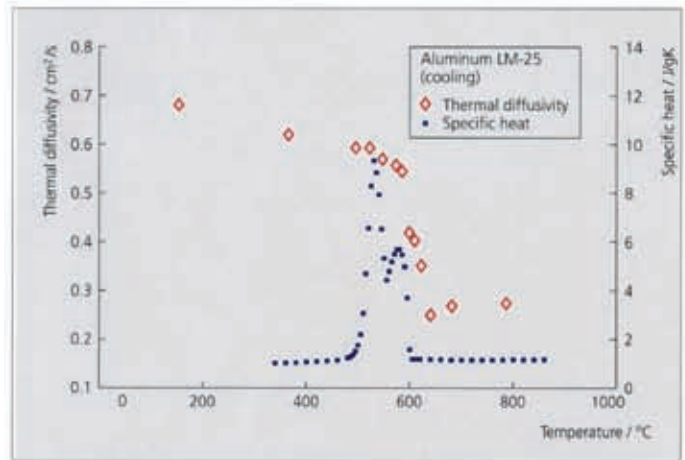
** Thermophysical Properties Research Laboratory, Purdue University, USA

Applikationen*)

Aluminiumlegierung

Für die Simulation von Gießprozessen mittels mathematischer Modellrechnungen ist die Kenntnis der thermophysikalischen Eigenschaften von Metallen und Metalllegierungen in der festen und flüssigen Phase sowie in der Übergangsphase eine notwendige Voraussetzung. In diesem Beispiel sind der Verlauf von Temperaturleitfähigkeit und spezifischer Wärme der Legierung LM-25 während des Abkühlvorgangs aus der flüssigen Phase dargestellt. Die Erstarrung findet im Bereich zwischen ca. 600 °C und 510 °C statt. Die große Änderung

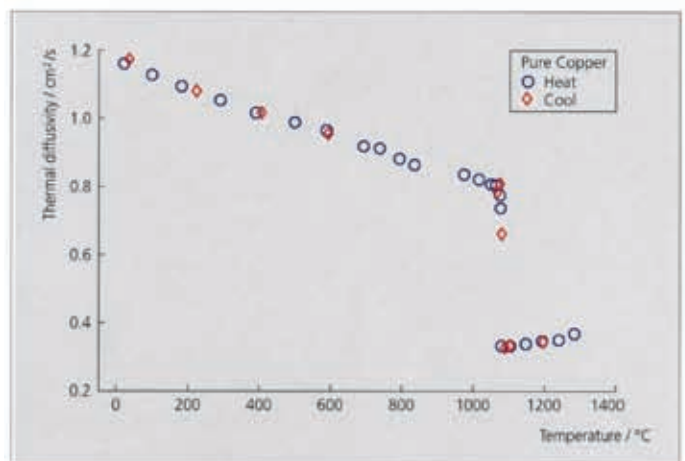
der Temperaturleitfähigkeit in der Übergangsphase ist teilweise auf die Änderung des elektronischen Anteils an der Wärmeleitfähigkeit zurückzuführen. Die Abweichung der gezeigten Werte für die spezifische Wärme von bekannten Werten ist <3 % in der festen und <2 % in der flüssigen Phase. Als Schmelzwärme wurden 417 J/g ermittelt, was einer Abweichung von <2 % von bekannten Werten entspricht. Vergleichswerte für die Temperaturleitfähigkeit in der festen und flüssigen Phase lagen nicht vor.



Reines Kupfer

Die Temperaturleitfähigkeit von reinem Kupfer wurde sowohl im Aufheiz- als auch im Abkühlzyklus gemessen. Die große Änderung der Werte bei ca. 1080 °C ist in erster Linie auf die Änderung des elektronischen Anteils der Wärmeleitfähigkeit beim Schmelzen oder Erstarren zurückzuführen. Die Tatsache, dass zwischen den Temperaturleitfähigkeitswerten beim Aufheizen und Abkühlen fast kein Unterschied besteht,

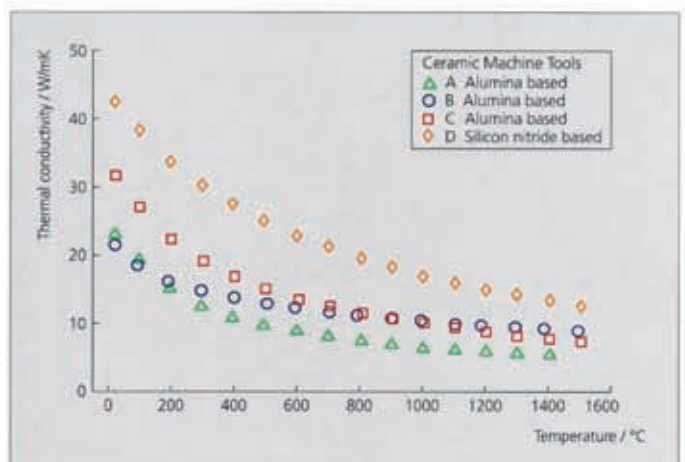
zeigt, daß sich die Mikrostruktur hierbei kaum ändert. Die gemessenen Temperaturleitfähigkeitswerte sowohl für die feste als auch für die flüssige Phase weichen von Literaturwerten weniger als 2,5 % ab. Es sei erwähnt, daß sich dieser Sprung in der Temperaturleitfähigkeit gut als Temperaturkalibrierung für die LFA eignet (Schmelzpunkt von reinem Kupfer = 1083 °C).



Keramische Wendschneidplatten

Wegen möglicher höherer Bearbeitungsgeschwindigkeiten, besserer Standfestigkeit und chemischer Beständigkeit haben keramische Materialien in vielen Fällen die Hartmetalle ersetzt. Keramische Materialien haben jedoch generell eine niedrige Temperaturwechselbeständigkeit und somit sind die Temperaturgradienten, die während des Werkzeugeinsatzes entstehen, von wichtiger Bedeutung. Daher muss die Temperaturleitfähigkeit (=> Wärmeleitfähigkeit) dieser Materialien schon in der

Entwicklungsphase mit berücksichtigt werden. Die Abbildung zeigt die Wärmeleitfähigkeit von vier keramischen Wendschneidplatten. Die Materialien A, B und C sind auf Al₂O₃-Basis mit unterschiedlichen Zusätzen, während D auf Si₃N₄ basiert. Die höhere Wärmeleitfähigkeit von Si₃N₄ erlaubt einen Einsatz mit Flüssigkeitskühlung, während die Materialien A und B nicht gekühlt werden dürfen. Material C kann bei niedrigen Spitzentemperaturen gekühlt werden.

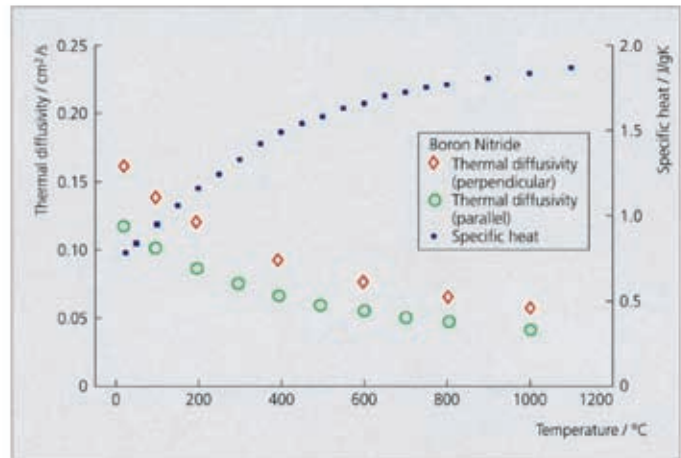


*) Bei allen Applikationsbeispielen wurden die Temperaturleitfähigkeit und die spezifische Wärme mittels LFA 427 bzw. DSC 404 gemessen. Die Wärmeleitfähigkeit wurde aus den Messdaten von Temperaturleitfähigkeit, spezifischer Wärme und Rohdichte berechnet.

Bornitrid

Reines hexagonales Bornitrid ist ein weicher Werkstoff (graphitähnlich) und behält bis zu Temperaturen von über 2000 °C seine ausgezeichneten Isoliereigenschaften und wird deshalb auch als Hochtemperaturisolatorwerkstoff eingesetzt. Es ist jedoch in Luft oder sauerstoffhaltiger Atmosphäre nicht oxidationsbeständig. Eine weitere besondere Eigenschaft des Bornitrids: Es wird von Glas- und Materialschmelzen sowie flüssigen Schlacken nicht benetzt und zeigt in diesen Medien eine exzellente Korrosionsbeständigkeit. Auch die Thermo-

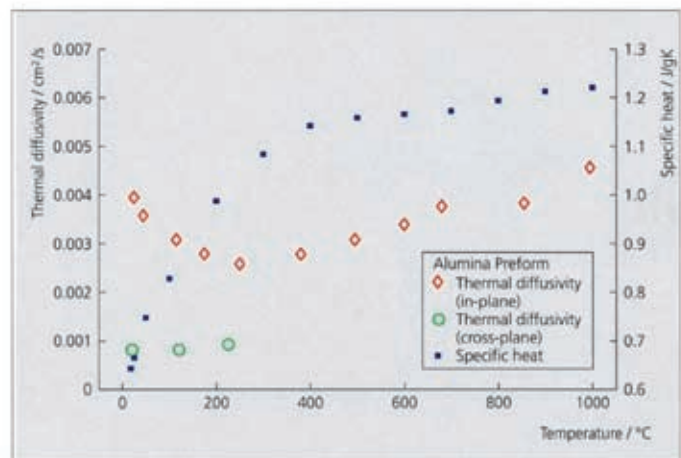
schockbeständigkeit des Bornitrids ist hervorragend. In der Anwendung als Kokillenring im horizontalen, kontinuierlichen Strangguss werden diese Eigenschaften ausgenutzt. Die nebenstehende Abbildung zeigt den Verlauf von spezifischer Wärme und Temperaturleitfähigkeit von handelsüblichem, heißgepresstem Bornitrid (Rohdichte: 2,1 g/cm³). Aufgrund der Schichtstruktur ist in Pressrichtung eine niedrigere Temperaturleitfähigkeit zu erwarten als senkrecht zur Pressrichtung. Dies wird bestätigt durch die Messungen an entsprechend entnommenen Proben.



Druckgießen

Viele Verbundwerkstoffe mit Metallmatrix werden durch Druckgussverfahren hergestellt. Oft wird eine hochporöse Vorform aus z.B. Al₂O₃-Fasern als Verstärkungsmaterial benutzt. In solch einem Fall wird das geschmolzene Metall unter Druck in die Vorform gepresst und erstarrt dann. Komplizierte mathematische Modelle werden zur Simulation und Optimierung solcher Prozesse benutzt. Voraussetzung hierfür ist die genaue Kenntnis thermophysikalischer Eigenschaftswerte. In der Abbildung ist der Ver-

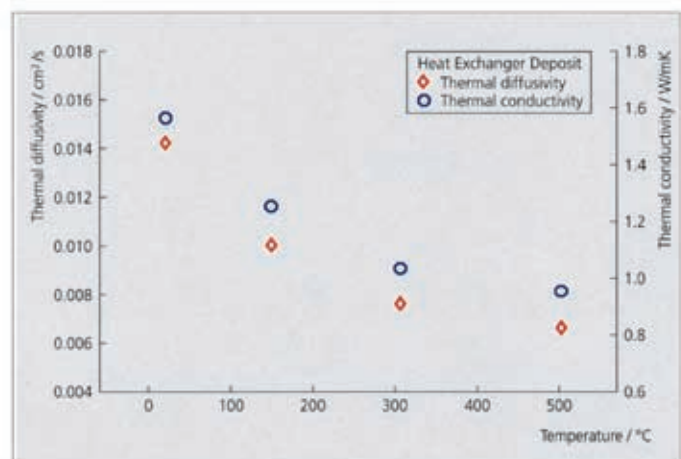
lauf von Temperaturleitfähigkeit und spezifischer Wärme einer Vorform aus Al₂O₃-Fasern dargestellt. Die Temperaturleitfähigkeitswerte zeigen deutlich die Anisotropie des Materials. Die Werte senkrecht zur Faserrichtung ("cross plane") sind deutlich niedriger als die in Faserrichtung ("in plane") und zeigen auch einen anderen Verlauf. Literaturwerte zur Temperaturleitfähigkeit sowie spezifischer Wärme lagen nicht vor. Die Temperaturleitfähigkeitsmessungen wurden unter Hochvakuum durchgeführt.



Ablagerungen in einem Wärmetauscher

Mit der Zeit können die Wärmeübertragungsflächen in Wärmetauschern mit verschiedenen Arten von Ablagerungen überzogen werden. Diese Ablagerungen verhalten sich wie ein zusätzlicher Widerstand für den Wärmefluss und erniedrigen daher den Wirkungsgrad. Um den Einfluss einer solchen Verschmutzung auf

den Wirkungsgrad eines Wärmetauschers quantitativ erfassen zu können, muss man die Temperaturleitfähigkeit (=> Wärmeleitfähigkeit) der Ablagerung bestimmen. In der Abbildung ist der Verlauf der gemessenen Temperaturleitfähigkeit und der daraus berechneten Wärmeleitfähigkeit einer solchen Ablagerung dargestellt.



Technische Daten

Temperaturbereich:

-70 °C bis 400 °C
25 °C bis 1550 °C
25 °C bis 2000 °C

Messbereich a:

0,01 mm²/s bis 1000 mm²/s

Messbereich λ:

0,1 W/(m·K) bis 2000 W/(m·K)

Probenkörperabmessungen:

Dicke: 0,1 mm bis 6 mm
Ø 6,0 mm bis 12,7 mm (20 mm)
quadratisch: 10,0 mm x 10,0 mm

Probenkörperhalterung:*

Al₂O₃ (max. 1700 °C)
Graphit (max. 2000 °C)

Öfen:

2000 °C: Heizelement aus
Graphit, wasserge-
kühlter Ofenmantel
1500 °C: Heizelement aus
Siliziumkarbid
400 °C: Widerstands-
Heizelement und
LN₂-Kühlung

Prüfatmosphäre:

Vakuum: 10⁻⁵ mbar
(Turbomolekularpumpe)
statisch/dynamisch:
Schutzgase (Ar, He, etc.),
oxidierende Atmosphäre

Laser:

Nd: YAG
Leistung max: 20 Joule/Puls
Pulsdauer: 0,3 ms bis 1,2 ms
Wellenlänge: 1064 nm

IR-Sensoren:

InSb (Indium-Antimonid)
mit Flüssigstickstoffkühlung
MCT (Quecksilber-Cadmium-
Tellurid) mit Flüssigstickstoff-
kühlung

Steuerung und

Datenerfassung:

PC, Windows®-kompatibel

Abmessungen (B x H x T):

Messteil:
60 cm x 170 cm x 70 cm
Steuer- und Versorgungs-
schränke (2 Stück):
60 cm x 120 cm x 70 cm

Stromversorgung:

230 V, 50 Hz, max. 5 KVA

* Probenhalter sind auch erhältlich für
Messungen an flüssigen Metallen,
sowie Pulvern, usw.

Technische Änderungen vorbehalten.

Leading Thermal Analysis .

NETZSCH

NETZSCH-Gerätebau GmbH

Wittelsbacherstraße 42 · 95100 Selb/Deutschland
Telefon: +49 9287 881-0 · Fax: +49 9287 881-505
E-mail: at@netzsch.com

www.netzsch.com