

Das Modell *Penetration* in der NETZSCH LFA-Software – Sachgemäße Behandlung poröser Materialien!

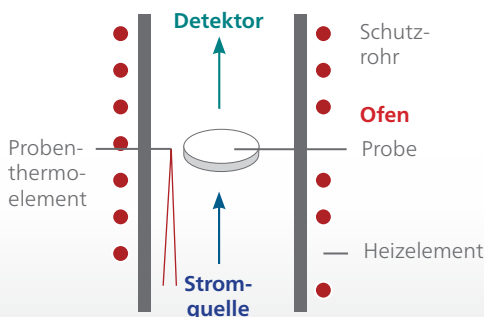
Gefülltes Polymer mit/ohne Bohrungen

Dr. André Lindemann

Einleitung

Softwaremodelle, die den Einfluss von Probenform und -oberfläche berücksichtigen, gewinnen immer mehr an Bedeutung für die genaue Bestimmung der thermophysikalischen Eigenschaften (TPP), wie Temperaturleitfähigkeit (a), Wärmeleitfähigkeit (λ) und spezifische Wärmekapazität (c_p). Aus diesem Grund hat NETZSCH in den letzten Jahren existierende LFA- (Laser Flash Analyse) Modelle und neue Berechnungsmodelle, Korrekturen und mathematische Verfahren, die den Wärmeverlust in Kombination mit der Korrektur der Basislinie und Pulsform in Ein- und Mehrschichtsystemen berücksichtigen, kontinuierlich verbessert.

In diesem Anwendungsbeispiel wird das Modell *Penetration* gemäß McMasters [1] vorgestellt, das sich für LFA-Messungen an Materialien mit rauer Oberfläche und solchen mit extrem poröser Struktur eignet.



1 Schema der LFA-Methode

Poröse Materialien stellen eine Herausforderung dar – jedoch nicht für das Modell *Penetration*

Bei Standard-Flash-Messungen wird die gesamte Energie von der Probenoberfläche absorbiert. Eine thermische Welle durchläuft die Probe in Richtung ihrer Dicke, bevor sie auf der Rückseite (Abbildung 1) ankommt. Da poröse Proben ein anderes Verhalten zeigen als Proben mit glatter Oberfläche, hat NETZSCH speziell für solche Proben das Modell *Penetration* (Abbildung 2) eingeführt. Es berücksichtigt folgende Punkte:

- Die Absorption der Impulsenergie ist nicht länger auf die Vorderseite der Probe beschränkt.
- Die Absorption breitet sich über eine dünne Schicht in die Probendicke hinein.
- Die Absorptionsschichten können als die mittlere freie Weglänge im Material behandelt werden.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte erhält man einen exponentiellen Abfall der anfänglichen Temperaturverteilung innerhalb des Probekörpers. Dadurch führt die Anwendung des Modells bei der Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit und der spezifischen Wärmekapazität zu erhöhten Genauigkeitswerten.



2 Modell *Penetration* implementiert in der NETZSCH Proteus®-LFA-Software

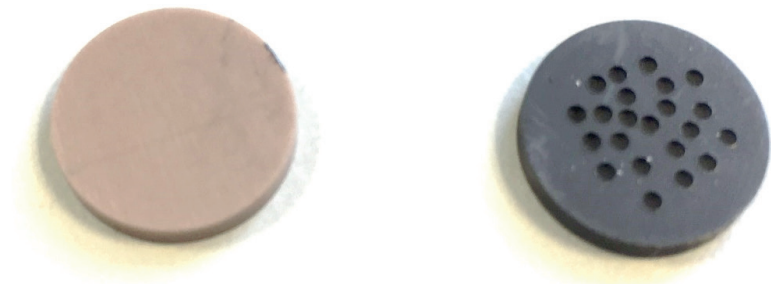
APPLICATIONNOTE Das Modell *Penetration* in der NETZSCH-LFA-Software – Sachgemäße Behandlung poröser Materialien! Gefülltes Polymer mit/ohne Bohrungen

Messbedingungen

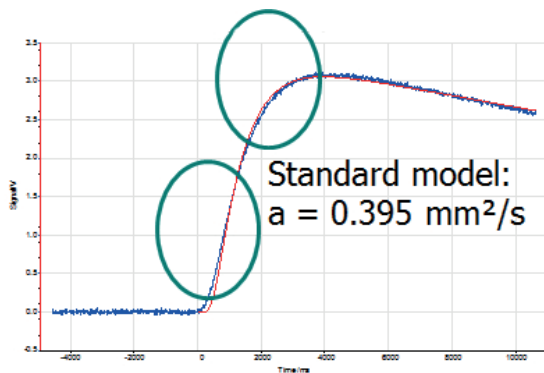
Als Eignungstest des Modells *Penetration* wurden zwei gefüllte Polymere desselben Typs, jedoch mit unterschiedlicher Form untersucht. Eine Messung wurde an einem Probenkörper, dessen Oberfläche Bohrungen mit einem Durchmesser von 0,5 mm durchzogen war, durchgeführt (Abbildung 3). Für Vergleichszwecke wurde eine zweite Messung an der Originalprobe mit glatter Oberfläche herangezogen. Die Temperaturleitfähigkeit wurde an Proben mit einem Durchmesser von 12,7 mm und einer Dicke von 1,96 mm bei Raumtemperatur bestimmt.

Messergebnisse

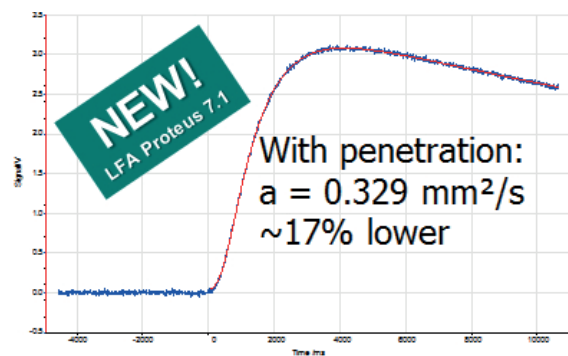
Abbildungen 4 und 5 zeigen die Messung an der Probe mit Bohrungen. In Abbildung 4 wurde der Modellfit des Detektorsignalanstiegs mit dem Standardmodell nach Cowan [2] berechnet. Der grüne Kreis deutet auf die Abweichungen zwischen Fit und Messkurve (blau) hin. Mit diesem – offensichtlich ungenügenden – Modellfit errechnet sich die Temperaturleitfähigkeit zu $0,395 \text{ mm}^2/\text{s}$. Die auf dem Modell *Penetration* basierende Berechnung führt zu einer Temperaturleitfähigkeit von $0,329 \text{ mm}^2/\text{s}$. Dieser Wert liegt nahezu um 17% niedriger als der herkömmlich bestimmte Wert über das Cowan-Modell (Abbildung 5).



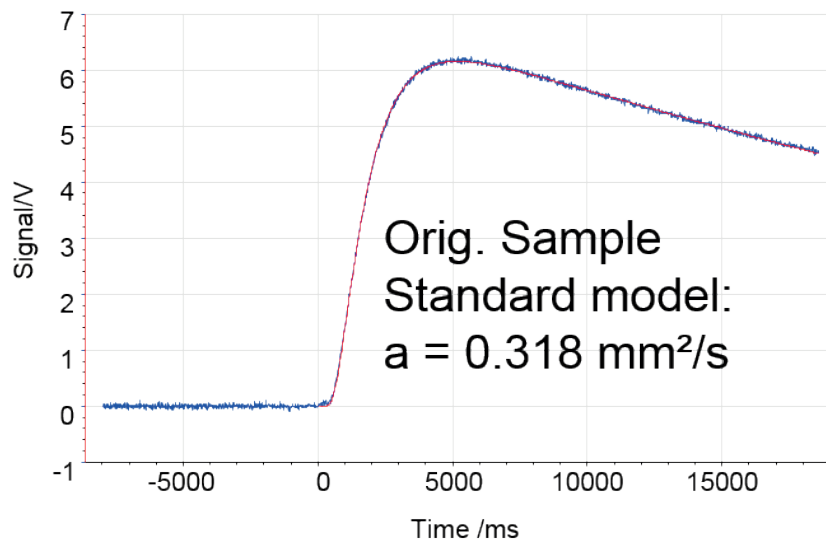
3 Links: Gefüllte Polymerscheibe, rechts: Polymerscheibe mit Bohrungen



4 Probekörper mit Bohrungen; Bestimmung des Fits der Signalanstiegskurve mit dem Standardmodell



5 Probekörper mit Bohrungen; Bestimmung des Fits der Signalanstiegskurve mit dem Modell *Penetration*



6 Messungen an dem Originalprobekörper ohne Bohrungen; Fit der Detektoranstiegskurve, erhalten mittels Cowan-Standardmodell

Abbildung 6 zeigt den Anstieg des Detektorsignals der Messung an dem originalen Polymer mit glatter Oberfläche. Die Verwendung des Standardmodells von Cowan zur Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit ergibt nahezu die gleichen Messergebnisse, wie die an den mit dem Modell *Penetration* erhaltenen Proben mit Bohrungen (Abbildung 5). Die Abweichung beträgt ca. 3 %. Dies belegt, dass sich mittels Berechnung der Temperaturleitfähigkeit basierend auf dem Modell *Penetration* korrekte Ergebnisse erzielen lassen.

Zusammenfassung

Neben verschiedenen klassischen Modellen (z.B. Cowan 5 / 10, Parker, verbesserte Cape-Lehman usw.) enthält die NETZSCH-*Proteus*®-LFA-Software viele unterschiedliche Berechnungsmodelle und mathematische Verfahren. Das Modell *Penetration* eignet sich speziell für poröse Materialien und Materialien mit rauer Oberfläche. Diese Besonderheit der *Proteus*®-LFA-Software berücksichtigt das Eindringen des Licht/Laserblitzes in

die Probe neben der tatsächlich beheizten Oberfläche. Es bezieht die Probenporosität mit ein, die dazu beiträgt, dass sich die Laserflash-Energie im Probenkörper anreichert. Das bedeutet, dass das Modell *Penetration* die Absorption der Pulsenergie in einer dünnen Schicht in der Probendicke in Betracht zieht.

Messungen an Proben desselben Probenkörpers, jedoch mit unterschiedlicher Oberflächenstruktur (glatt und porös) bestätigen die Richtigkeit des Modells *Penetration*.

Literatur

- [1] McMasters, Beck, Dinwiddie, Wang (1999): "Accounting for Penetration of Laser Heating in Flash Thermal Diffusivity Experiments", *Journal of Heat Transfer*, 121, 15-21
- [2] Cowan, Robert D.; *Journal of Applied Physics*, Vol. 34, Number 4 (Part 1), April 1963