

## Eignung des kalthärtenden Epoxidharzes EPILOX EGK 19 für spannungsoptische Erstarrungsversuche

Klaus Ullmann

### 1. Einleitung

Die Mehrzahl spannungsoptischer Modelle für Erstarrungsversuche wird aus heißhärtenden Epoxidharzen gegossen. Kalthärtende Harze werden dann eingesetzt, wenn eine Temperaturdehnung der Form ausgeschlossen werden muß. Im Fall kompakter Modelle kommen nur spezielle Dreikomponentensysteme in Frage, siehe [ 1 ], [ 2 ]. Wenn jedoch kleine oder dünnwandige Teile herzustellen sind, dann ist es auch möglich, Zweikomponentensysteme zu verwenden.

Wegen guter Erfahrungen mit dem Leuna-Epoxidharz EGK 19 bei Versuchen unter Raumtemperatur, d. h. bei spannungsoptischen Untersuchungen zweidimensionaler Festigkeitsprobleme, wurden die mechanischen und polarisationsoptischen Eigenschaften dieses Harzes unter Erstarrungstemperatur eingehend untersucht. Die Arbeiten standen im Zusammenhang mit der spannungsoptischen Analyse der Turbinenschaufel eines Abgasturboladers [3]. Die betreffenden vom Original abgeformten Modelle haben eine Masse von nur 5 g.

### 2. Probekörper und Versuchsdurchführung

Wegen der im Vergleich zu Probestäben benötigten geringeren Masse, aber auch der genauen theoretischen Beschreibbarkeit [4] werden als Probekörper diametral gedrückte Kreisscheiben gewählt. Während bei den erwähnten Modellversuchen Probe und Modell jeweils gemeinsam gegossen und gehärtet worden sind, werden für die im folgenden beschriebene Untersuchung der Materialkonstanten Kreisscheiben verwendet, die aus ein und derselben Platte herausgearbeitet sind. Damit wird ein Streuen der Materialkonstanten der einzelnen Proben vermieden.

Die spannungsoptische Konstante  $S$  läßt sich nach der bekannten Beziehung

$$S = \frac{4 F d}{R n} \quad (1)$$

auswerten, wobei  $F$  die wirkende Kraft,  $d$  die Scheibendicke,  $R$  der Radius,  $n$  die Isochromatenordnung in Scheibenmitte darstellen. Um den Elastizitätsmodul  $E$  und die Poissonsche Konstante  $\nu$  zu bestimmen, wird von den Verschiebungen auf einem kartesischen Koordinatenkreuz, das seinen Ursprung im Mittelpunkt der Scheibe hat, ausgegangen. Wenn die  $x$ -Achse mit der Kraftrichtung identisch ist und die Lameschen Konstanten durch  $E$  und  $\nu$  substituiert werden, so folgt aus der Lösung [5]

$$u(y=0) = \frac{F}{\pi E} \left[ 2 \ln \frac{1+x/R}{1-x/R} - (1-\nu) x/R \right] \quad (2.1)$$

$$v(x=0) = \frac{F}{\pi E} \left[ (1-\nu)(2 \arctan y/R - y/R) - 2(1+\nu) \frac{y/R}{1+(y/R)^2} \right] \quad (2.2)$$

Bei einem bekannten Wertepaar  $u$  bzw.  $v$  kann (2) als Gleichungssystem zur Berechnung von  $E$  und  $\nu$  benutzt werden. Es ergibt sich

$$\nu = 1 - \frac{4 \frac{y/R}{1+(y/R)^2} + 2 \ln \frac{1+x/R}{1-x/R} v/u}{2 \arctan y/R - y/R + x/R \cdot v/u + 2 \frac{y/R}{1+(y/R)^2}} \quad (3.1)$$

$$E = \frac{F}{\pi u} \left[ 2 \ln \frac{1+x/R}{1-x/R} - (1-\nu) x/R \right] \quad (3.2)$$

Die Koordinaten  $x$  für  $u$  bzw.  $y$  für  $v$  sollten einerseits möglichst groß gewählt werden, damit der Betrag der Verschiebung groß und damit relativ genau meßbar ist. Andererseits muß die Verfälschung des theoretischen Spannungsfeldes infolge Überlagerung eines Kontaktspannungszustandes beachtet werden, da die Kraft nicht über Schneiden, sondern durch Drücken zwischen starren Platten eingeleitet wird. Die Koordinate in Kraftrichtung wird deshalb nur zu  $x/R = 2/3$  festgelegt, während  $y/R = 9/10$  beträgt.

Zur Messung der Verschiebungen werden Marken auf die Proben geritzt und deren Koordinaten vor und nach den Versuchen (Erstarrungsversuch bzw. Rücktempern) vermessen. Dazu dient ein modifiziertes Meßmikroskop vom Typ BK 70 x 50, das gleichzeitig ermöglicht, die Isochromatenordnung in Scheibenmitte nach dem Kompensationsverfahren von Tardy zu bestimmen. Selbstverständlich wäre für die Verschiebungsmessung auch das Isothermenverfahren der Moirétechnik einsetzbar. Da jeweils nur ein Wertepaar  $u, v$  erforderlich ist, genügt aber die obige, geringsten Aufwand erfordernde Versuchstechnik.

Die Probekörper unterliegen folgenden Härtebedingungen: Während die Platte, aus der die Proben herausgearbeitet sind, mit Härter 3 verarbeitet und lediglich bei Raumtemperatur gehärtet worden ist, haben die einzelnen Prüfkörper eine unterschiedlich lange thermische Nachbehandlung erfahren. Das Nachhärten erfolgt bei der Temperatur  $T = 104^\circ \text{C}$ . Diese Temperatur liegt einerseits merklich über dem Erweichungspunkt von

EGK 19, welcher sich bei 80 °C befindet. Andererseits ist gewährt, daß eventuell aufgenommene Luftfeuchtigkeit, die zu Randeffect führen kann, ausgetrieben wird, was zwar an den Proben unkritisch, aber bei der Behandlung von Modellen zu beachten ist.

### 3. Versuchsergebnisse

In Tabelle 1 sind die für Erstarrungstemperatur ermittelten Konstanten E und S zusammengestellt. Es zeigt sich eine starke Abhängigkeit der Materialkonstanten von der Nachhärtedauer. Eine Konstanz der Werte stellt sich erst nach etwa 20 h ein. Dabei ergeben die rückgetemperten Proben etwas kürzere Zeiten, bedingt durch zusätzliche (nicht einbezogene) Abkühl- und Aufheizprozesse.

**Tabelle 1**  
Werkstoffkonstanten von EPILOX EGK 19 bei Erstarrungstemperatur, ermittelt an diametral gedrückten Kreisscheiben; d = 8 mm, 2 R = 40 mm, F = 58,9 N, T = 104 °C, λ = 589 nm

Dauer der Nachhärtung	Erstarrungsversuch		Rücktempern	
	E	S	E	S
0	0,298	8,10	0,398	25,4
2	0,379	23,2	0,434	29,9
4	0,394	27,4	0,420	30,5
10	0,428	32,9	0,440	34,4
25	0,440	36,4	0,445	35,1
in h	N mm <sup>-2</sup>	N mm <sup>-1</sup>	N mm <sup>-2</sup>	N mm <sup>-1</sup>

Da das Material EPILOX EGK 19 nach [6] äußere Weichmacher wie Dibutylphthalat und Isobutylglycidäther enthält, wurde zunächst angenommen, daß das Austreten dieser Komponenten zu den Eigenschaftsänderungen führt. Denn ein ähnlicher Effekt ist früher an heißhärtendem EPILOX EG 1, das mit Dibutylphthalat modifiziert

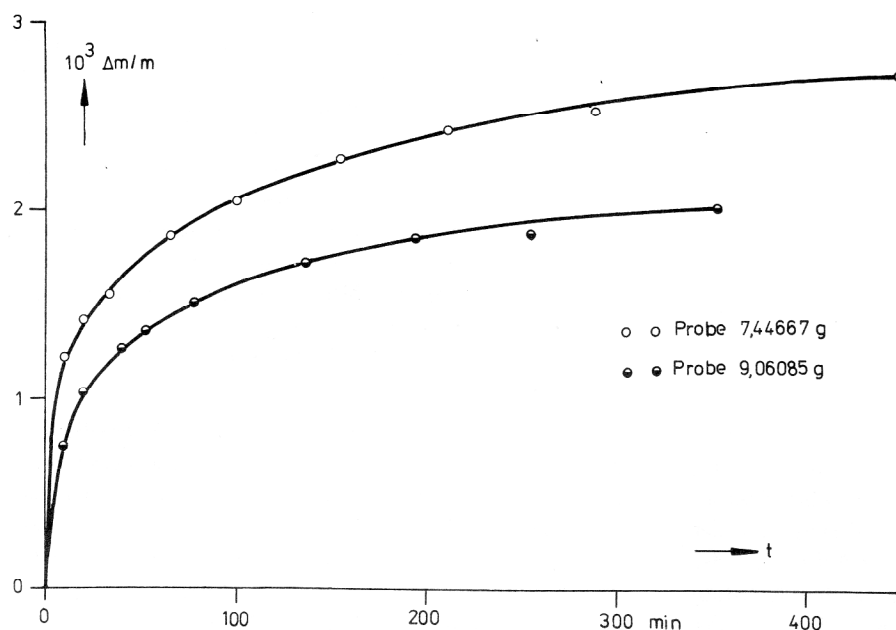
war, beobachtet worden. Außerdem konvergieren die Materialkennwerte gegen die von EPILOX EG 34, vgl. [1], das nach [6] gerade die Grundsubstanz des EPILOX EGK 19 darstellt, wobei die Modifizierung eine Herabsetzung der Viskosität während der Verarbeitung bewirkt.

Die Messung der Masseveränderung im Verlauf der Wärmebehandlung, Bild 1, widerlegt jedoch die Annahme, daß sich die Materialkonstanten infolge Austretens von Weichmacher so gravierend ändern, denn die festgestellte Masseabnahme dürfte im wesentlichen durch Abgabe von Wasserdampf bedingt sein. Während der thermischen Nachbehandlung muß sich vielmehr eine weitere Polyaddition vollziehen, obwohl nach [7] nur ein Nachhärten über 2 h bei 90 °C erforderlich sein soll, um die endgültigen Festigkeitseigenschaften – auf Raumtemperatur bezogen – zu erreichen.

### 4. Zusammenfassung

Das kalthärtende Leuna-Epoxidharz EPILOX EGK 19 eignet sich als Werkstoff zur Herstellung von Modellen für spannungsoptische Erstarrungsversuche. Mit den sehr günstigen Materialkonstanten E = 36,4 N mm<sup>-2</sup> und S = 0,44 N mm<sup>-1</sup> bzw. D = 82,7 mm<sup>-1</sup> bezogen auf Erstarrungstemperatur T = 104 °C entspricht es dem heißhärtenden System EPILOX EG 34. Auch hinsichtlich Eigenfärbung und Randeffect-Anfälligkeit unterscheidet es sich nur unwesentlich von heißhärtenden Harzen.

Die Verarbeitung des Monomers geschieht mit dem üblichen Härter 3 bei Raumtemperatur, bedingt aber ein Nachhärten der Gießlinge über etwa 20 h Dauer bei Erstarrungstemperatur. Als kalthärtendes Zweikomponentensystem läßt es sich allerdings nur zur Herstellung kleiner oder dünnwandiger Teile verwenden. Eine praktische Anwendung des Materials für spannungsoptische Modelle ist in der Arbeit [3] des Verfassers beschrieben.



**Bild 1**  
Relative Masseabnahme von Proben aus EPILOX EGK 19 während der thermischen Nachhärtung bei T = 104 °C

## LITERATUR

- [ 1 ] Ullmann, K.: Herstellung und Untersuchung räumlich komplizierter Modelle mit dem Erstarrungsverfahren. Problemseminar Experimentelle Spannungs- und Verformungsermittlung, Weißig 22. bis 26. 11. 1976. – Techn. Univ. Dresden, Weiterbildungszentrum Festkörpermechanik, . . . 1976, H. 4, S. 37 – 51.
- [ 2 ] Heymann, J.; Ullmann, K.: Untersuchung kalthärtender Epoxidharze als spannungsoptische Modellwerkstoffe. Festigkeitslehre und Materialverhalten. – Leipzig: Fachbuchverlag 1976, Bd. A, Beitrag XXIV, 8 S.
- [ 3 ] Ullmann, K.: Spannungsoptische Analyse der Turbinenschaufel eines Abgasturboladers. – 5. Schule Experimentelle Methoden der Festkörpermechanik, Holzhau 8. bis 12. 12. 1986. Berlin; Karl-Marx-Stadt, FMC-Reihe, Akad. d. Wiss. d. DDR, im Druck.
- [ 4 ] Heymann, J.: Der Einfluß des Belastungsfalles auf die spannungsoptische Konstante. – Beiträge zur Spannungs- und Dehnungsanalyse III. – Berlin: Akad. Verl. 1966, S. 51 – 62.
- [ 5 ] Mušchelischwili, V. I.: Einige Grundaufgaben zur mathematischen Elastizitätstheorie. – Leipzig: Fachbuchverlag 1971, S. 264 – 267.
- [ 6 ] Epoxidharze (EP), Epoxidharz EGK 19. TGL 37 930, Aug. August 1981.
- [ 7 ] Epilox EGK 19. – Druckschrift VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“, Leuna, Aug. März 1971.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Ing. Klaus Ullmann

V. I. Schwermaschinenbau „Karl Liebknecht“

4111 Salzhau 9 – 10

Magdeburg, 3011, DDR