

# UNTERSUCHUNG DER ANISOTROPIE VON VERSTÄRKTEN KUNSTSTOFFEN

Von

A. STASKEVICIUS, I. MOLNÁR, O. KELEMEN

Lehrstuhl für Kunststoff- und Gummiindustrie, Technische Universität Budapest

Eingegangen am 12. November 1971

Vorgelegt von Prof. Dr. Gy. Hardy

In der letzten Zeit werden Kunststoffe mit heterogener Struktur (d. h. Kunststoffe mit Gerüstmaterial) in der Technik und in der Produktion von Bedarfsartikeln in zunehmendem Maße verwendet. Diese Kunststoffe zeichnen sich im Vergleich zu den Polymeren mit homogener Struktur durch bedeutend bessere physiko-mechanische Eigenschaften und wirtschaftlichere Anwendbarkeit aus. Eine wichtige Gruppe der Mehrkomponenten-Polymere sind die mit Gerüstmaterial verstärkten Kunststoffe. Die große Zahl der anwendbaren Füllstoffe (anorganische, organische oder Metallfasern) und die praktisch unbegrenzte Auswahl an Einbettungs- und Bindemitteln ermöglichen die Herstellung von verstärkten Mischungen mit den unterschiedlichsten Eigenschaften.

Aufgrund des breiten Spektrums der Variationsmöglichkeiten der Stoffeigenschaften können die verstärkten Polymere vielseitig eingesetzt werden, z. B. als Konstruktionswerkstoffe sowie als Material für besondere Verwendungszwecke in vielen Industriezweigen (Elektro-, Bau- und Leichtindustrie, Raketen-, Schiff- und Flugzeugbau sowie Kraftwagenindustrie) [1—3].

Nach den am Lehrstuhl für Kunststoff- und Gummiindustrie der Technischen Universität Budapest durchgeführten Festigkeitsprüfungen an Fasern, die mit Polymer-Bindemitteln impregniert waren (also an einem eindimensionalen Modellsystem), konnte auch die Untersuchung der Struktur und Eigenschaften von zweidimensionalen Modellmischungen begonnen werden.

Als zweidimensionale Modelle können Folien und Platten verwendet werden, deren Länge und Breite um 2—3 Größenordnungen größer als ihrer Dicke ist. Die Gebrauchseigenschaften der verstärkten Kunststoffe (namentlich der zweidimensionalen Kunststoffe mit heterogener Struktur) werden von vielen Faktoren beeinflusst. Die wichtigsten von diesen sind: die Eigenschaften des Verstärkungsmaterials und des Einbettungs-Bindemittels, die zwischen ihnen auftretenden Adhäsionskräfte und die heterogene Struktur der verstärkten Mischung (d. h. die Orientierung des Gerüstmaterials im Einbettungsmittel).

Die ersten drei erwähnten Faktoren sind schon öfters untersucht worden [1—4, 7, 8], die heterogene Struktur der Mischungen wurde dagegen vom Gesichtspunkt der Orientierung kaum untersucht.

In qualitativer Hinsicht ist es bekannt, daß beim Spritzgießen von heterogenen Kunststoffen, die Stapelfasern als Gerüstmaterial enthalten, in Abhängigkeit von den technologischen Faktoren in mehr oder minder ausgeprägtem Maße eine Orientierung der Gerüstmaterial-Elemente auftritt, die eine bedeutende, öfters lokale Anisotropie der Stoffeigenschaften verursacht [9].

Die Strukturabhängigkeit der Anisotropie der physikomechanischen Eigenschaften verstärkter Kunststoffe konnte jedoch bisher quantitativ nicht erfaßt werden, da keine Methode zur quantitativen Auswertung des Orientierungsgrades des Gerüstmaterials zur Verfügung stand.

Die Verfasser setzten sich daher das Ziel, die Orientierung der Verstärkungselemente im zweidimensionalen Modellsystem quantitativ zu bestimmen und die Anisotropie der mechanischen Eigenschaften des Systems als Funktion der Art der Orientierung zu untersuchen.

Zu den Messungen wurden aus Polyesterfaser als Gerüstmaterial (Terylene N<sub>m</sub> 3600, 2,5 den) und PVC-Weichfolien bestehende Modellmischungen verwendet. Die mechanischen Eigenschaften der Komponenten entsprechen folgenden Forderungen:

$$\varepsilon' > \varepsilon'' \quad \text{und} \quad \sigma' < \sigma''$$

wobei  $\varepsilon'$  = Zerreißdehnung des Einbettungsmittels,

$\varepsilon''$  = Zerreißdehnung des Gerüstmaterials,

$\sigma'$  = Zerreißfestigkeit des Einbettungsmaterials,

$\sigma''$  = Zerreißfestigkeit des Gerüstmaterials.

Ein Modell, das das Gerüstmaterial in chaotischer Anordnung enthält, wurde auf folgende Weise hergestellt: Die wäßrige Suspension des faserförmigen Gerüstmaterials wurde durch ein Metallsieb gesaugt und der so erhaltene Schleier (0,2 g) zwischen zwei PVC-Weichfolien (100 × 100 × 0,5 mm) gelegt und bei 150°C unter einem Druck von 1—2 atm 4 Minuten lang verpreßt. Da eine größere Menge von Gerüstmaterial die visuellen Beobachtungen erschwert hätte, wurde eine relativ kleine Menge (bis 4—5 Gew.-%) verwendet.

In den Vorversuchen wurde festgestellt, daß die mechanischen Eigenschaften der Modellmischungen durch Faserlängen des Gerüstmaterials von 2—6 mm nicht wesentlich beeinflußt werden. Dementsprechend wurde das Gerüstmaterial mit einer Faserlänge von 4 mm eingemischt.

Die experimentell bestimmten Preßparameter (150°C, 1—2 atm, 4 Minuten) gewährleisteten eine vollkommene Einbettung des Gerüstmaterials.

Zur Herstellung von Modellplatten mit orientiertem Gerüstmaterial wurde das durch Gießtechnik hergestellte Gerüstmaterial-Netz auf eine

Gummifolie gelegt und mit Hilfe eines Streckrahmens in einer Richtung um 50 bzw. 100% gedehnt. Die Elemente des Gerüstmaterial-Netzes orientierten sich zum größten Teil in Richtung der Dehnung. Dadurch wurden drei verschiedene Modelle hergestellt, die sich voneinander nur im Orientierungsgrad unterschieden:

1. Nichtorientierte Substanz (ohne Dehnung),
2. Gerüstmaterial in orientiertem Zustand durch 50%ige Dehnung,
3. Gerüstmaterial in orientiertem Zustand durch 100%ige Dehnung.

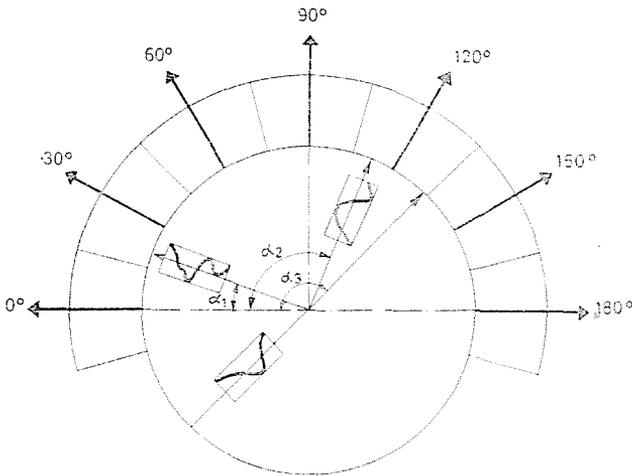


Abb. 1. Prinzip der Bestimmung der Orientierungswinkel ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots$ ) der Gerüstmaterial-Elemente

Die Anordnung der Gerüstmaterial-Elemente in den Modellplatten wurde visuell untersucht [10]. Die Flächen von  $75 \times 30$  mm jeder Platte wurden in 15 Teilflächen unterteilt und von diesen wurde je eine Aufnahme in 15facher Vergrößerung hergestellt. Zur Messung des Orientierungswinkels von entsprechend vielen Elementen wurden die Aufnahmen in einen für diesen Zweck hergestellten Winkelmesser gelegt.

Die Winkelmeß-Einrichtung bestand aus einem Metallrahmen, auf welchem sich zur Untersuchung von größeren Aufnahmen ein in einer Richtung beweglicher Schlitten befand. Am Schlitten war eine im Metallrahmen eingebaute, drehbare, durchsichtige Meßscheibe angeordnet. Die Scheibe war durch waagerechte und senkrechte Linien aufgeteilt. Als Orientierungswinkel der einzelnen Gerüstmaterial-Elemente wurde der Orientierungswinkel jenes Rechteckes mit der kleinsten Breite angegeben, in das das betreffende Element hineinpaßte (Abb. 1).

Es ist bekannt, daß es bei verstärkten Zweikomponentenstoffen zur Bestimmung des wirklichen Charakters der Orientierung genügt, die Meßergebnisse von 250 Konstruktionselementen in Relativeinheiten anzugeben.

Im Laufe der Arbeit wurden von den 15 Aufnahmen jeder Modellplatte die Orientierungswinkel von je 75 Fasern in vier aufeinanderfolgenden Aufnahmen gemessen (also insgesamt von je 300 Fasern). In Tabelle 1 ist die Orientierung der Fasern in einer 30°-Auflösung angegeben. (In der Spalte  $\alpha = 60^\circ$  sind z. B. die Zahlen jener Fasern aufgeführt, deren Achse mit der zur Dehnung senkrechten Richtung Winkel von 45—75° bildet.)

Tabelle 1

Nummer	Modellgemische	Menge der in verschiedenen Winkeln orientierten Gerüstmaterial-Elemente												Gesamtmenge der gemessenen Elemente	
		0°		30°		60°		90°		150°		120°		Stück	%
		St.	%	St.	%	St.	%	St.	%	St.	%	St.	%		
1	Chaotisch ( $\varepsilon = 0$ )	47	15,7	59	19,7	43	14,3	52	17,3	41	13,7	58	19,3	300	100
2	Schwach orientiert ( $\varepsilon = 50\%$ )	49	16,3	46	15,3	39	13,0	72	24,0	41	13,7	53	17,7	300	100
3	Stark orientiert ( $\varepsilon = 100\%$ )	37	12,3	38	12,6	50	16,7	89	29,7	53	17,7	33	11,0	300	100

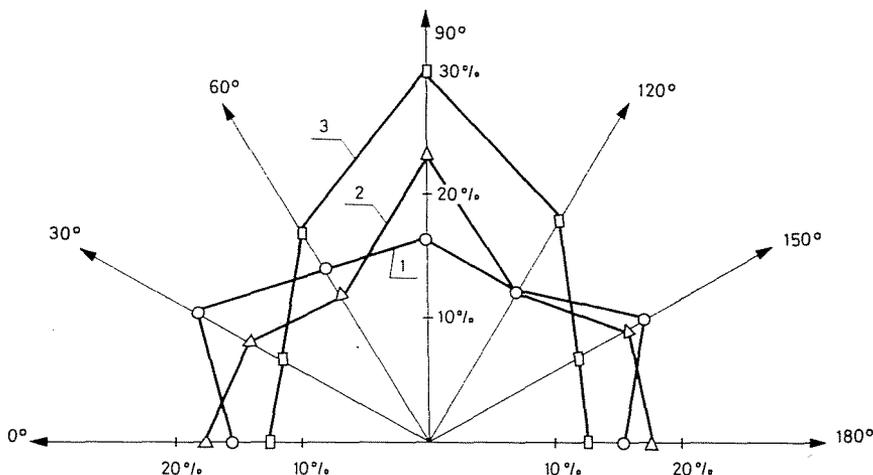


Abb. 2. Prozentuelle Orientierung der Gerüstmaterial-Elemente in der Fläche der Modellplatten.  
1. Chaotisches Modell; 2. schwach orientiertes Modell; 3. stark orientiertes Modell

Die visuellen Meßergebnisse der Gerüstelement-Orientierung der untersuchten Modellplatten zeigen (s. Tabelle, Abb. 2), daß sich das Gerüstmaterial im Modell 1 chaotisch eingestellt hat. Beim Modell 2 (50%ige Dehnung) sind die Verstärkungselemente zum größten Teil in Richtung der Dehnung orientiert, ihr Orientierungsgrad ist jedoch nicht hoch. Modell 3 (100%ige Dehnung) ist in Längsrichtung in hohem Maße orientiert; etwa ein Drittel der Gerüstelemente sind in einem Winkel von  $90^\circ$ , also parallel zur Richtung der Dehnung orientiert.

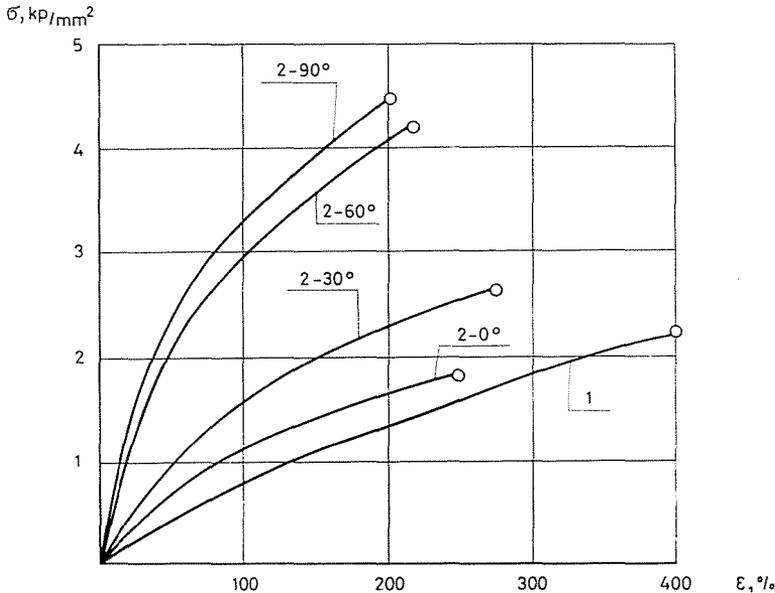


Abb. 3. Spannungs-Dehnungs-Kurven der untersuchten Modelle. 1. PVC-Weichfolie ohne Gerüstmaterial; 2. aus der Modellfolie in Winkeln von  $\alpha = 0, 30, 60$  und  $90^\circ$  ausgeschnittene Proben mit stark orientiertem Gerüstmaterial

Um festzustellen, wie die mechanischen Eigenschaften der untersuchten Modellplatten von der Orientierung der Verstärkungselemente, die visuell bestimmt wurde, beeinflußt werden, wurden die notwendigen Festigkeitsprüfungen durchgeführt. Die in 4 Hauptrichtungen ( $\alpha = 0, 30, 60, 90^\circ$ ) aus den Modellplatten ausgeschnittenen, genormten Prüfkörper wurden mit einer Elementarfaser-Zerreißmaschine (*«Chevenard»* Typ Amsler Mi 44) geprüf. Die Dehnungsgeschwindigkeit betrug  $0,16$  mm/sec. Da sich bei der visuellen Untersuchung herausstellte, daß die Orientierung der Verstärkungselemente parallel zur Längsrichtung ist, wurden zu den Festigkeitsprüfungen keine Proben in Winkeln von  $120$  und  $150^\circ$  herausgeschnitten.

Bei den Festigkeitsprüfungen wurden neben der Zerreikraft auch die Zerreißdehnung bestimmt und die Spannungs-Dehnungs-Diagramme aufgenommen (s. Abb. 3).

Bei den Modellplatten, die 4—5 Gew.-% Gerüstmaterial in chaotischem oder schwachorientiertem Zustand enthielten, konnte keine Anisotropie der mechanischen Eigenschaften beobachtet werden. Die Anwesenheit relativ kleiner Mengen des Gerüstmaterials erhöht aber den Zerreiwiderstand der PVC-Folie und vermindert die Zerreißdehnung (von 400% auf etwa 200%).

Bei den stark orientierten Modellplatten tritt dagegen schon bei Anwesenheit von geringen Mengen des Gerüstmaterials eine Anisotropie der mechanischen Eigenschaften auf (Abb. 3). Die Zerreißfestigkeit ist in Längsrichtung ( $\alpha = 90^\circ$ ) und in der nahe liegenden Richtung von  $60^\circ$  viel größer und die Spannungen während der Dehnung liegen viel höher als in den beiden anderen Richtungen bzw. bei den nichtorientierten oder schwach orientierten ( $\varepsilon = 50\%$ ) Proben.

### Zusammenfassung

1. Die Verfasser haben eine Methode zur visuellen, quantitativen Bestimmung der Orientierung von Gerstelementen in zweidimensionalen heterogenen Kunststoffen ausgearbeitet.

2. Es wurde festgestellt, daß schon die Orientierung von geringen Mengen des faserförmigen Gerüstmaterials (4—5 Gew.-%) die Anisotropie der mechanischen Eigenschaften des heterogenen Systems verursacht.

### Literatur

1. LIPATOW, JU. S.: *Phisiko-chimia napolennyh polimerow*, »Naukowa dumka«, Kiew, 1967
2. ANDREEWSKAJA, G. D.: *Wysokoprotschnye orientirowannye stekloplastiki*, Nauka, Moskau, 1966
3. ANDREEWSKAJA, G. D. Red.: *Phisiko-chimia i mechanika orienturowannyh stekloplastikow*, Nauka, Moskau, 1967
4. HARDY, GY.: *Plaste und Kautschuk* **15**, No. 4. 241—246 (1968)
5. BALL, R.—MAKDI, J.—MOLNR, I.—SIPS, J.: *Acta Chimica Acad. Sci. Hung.* **29**, 463—474 (1960)
6. BALL, T.—MOLNÁR, I.—LAKICS, M.—BIRÓ, O.: *Acta Chimica Acad. Sci. Hung.* **39**, 253—270 (1963)
7. WOJUCKI, S. S.—WAKULA, W. L.: *Mechanika polimerow*, No. 3. 455—459 (1969)
8. WOJUCKI, S. S.: *Autogegija i adgegija polimerow*, Moskau, 1960
9. HUNT, R.: *Plast. Technol.* **15**, No. 3. 39 (1969)
10. STASKEVICIUS, A.: *Dissertation*, Kauno Polytechnikos Institutas, Kaunas, 1968

Dr. Audvydas STASKEVICIUS, Kaunas 21, Kedainiu 14/I. Litauische SSR,  
Sowjetunion

Dr. Imre MOLNR	} 1502 Budapest Postfach 91., Ungarn
Ott KELEMEN	