

## NOTES

**Orientierung von Nylon-6-Fäden beim Schmelzspinnen**

## VORWORT

Bezüglich der Orientierung beim Schmelzspinnen haben Hamana u.a.<sup>1</sup> gezeigt, daß die Doppelbrechung  $\Delta n$  beim Spinnen von Polyäthylenterephthalat mit der Spinnzugspannung  $\sigma$  in linearer Beziehung steht. Auch bei Nylon 6 gilt bis  $\sigma = 8 \times 10^6$  dyne/cm<sup>2</sup> =  $\sigma_A$  (Punkt A) der lineare Zusammenhang zwischen  $\Delta n$  und  $\sigma$ . Wenn man  $\Delta n$  im Punkt A als  $\Delta n_A$  bezeichnet und  $\Delta n - \Delta n_A$  gegen  $(\sigma/T) - (\sigma_A/T)$  aufträgt, so erhält man den linearen Zusammenhang und kann zeigen, daß es einen Bereich gibt, der mit der Theorie der Kautschukelastizität behandelt werden kann, wobei  $T$  die absolute Temperatur des Spinnfadens ist.

Wir haben schon in dem ersten Bericht<sup>2</sup> Resultate der Messungen über die Abkühlung, Verformung und Orientierung während des Schmelzspinnens von Nylon 6 beschrieben. Bild 1 zeigt das Ergebnis<sup>2</sup> der Doppelbrechungsmessungen  $\Delta n(x)$  während des Schmelzspinnens von Nylon 6 unter verschiedenen Spinnbedingungen (Tab. I).

In der vorliegenden Arbeit über den Verlauf von  $\Delta n(x)$  und die Bestimmung der Doppelbrechung  $\Delta n$  von amorphem, unverstrecktem Nylon-6-Faden bei der Verstreckung werden wir ermitteln, ob dabei mit der Theorie der Kautschukelastizität gearbeitet werden kann oder nicht.

## ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Im Bild 2 ist die Abzugspannung  $\sigma(x)$  des Spinnfadens gegen den Abstand  $x$  von der Spinndüse aufgetragen. Die Abzugspannung  $\sigma(x)$  ist  $F(x)/A(x)$ , wobei  $F(x)$  und  $A(x)$  die praktischen Meßwertes<sup>2</sup> von Spinnspannung und Querschnittsfläche des Spinnfadens sind.

Wenn man den praktischen Meßwert<sup>2</sup> der Temperatur des Spinnfadens  $\theta(x)$  als absolute Temperatur  $T(x)$  angibt und die Beziehung zwischen  $\sigma(x)/T(x)$  und  $\Delta n(x)$  aufträgt, so erhält man Bild 3. Hier ergibt sich kein linearer Zusammenhang. Das liegt daran, daß  $\Delta n(x)$  in einem bestimmten Punkt  $x$  den Sättigungswert erreicht, während  $\sigma(x)$  wegen des Luftwiderstandes bis zum Aufspulpunkt anwächst und den Sättigungswert nicht erreicht. Die auffälligste Veränderung von  $\Delta n(x)$  ergibt sich in dem Bereich, in dem die Temperatur des Spinnfadens  $\theta(x)$  zwischen 120°C und 40°C liegt.<sup>2</sup> Bei Nylon 6 findet unterhalb der Glasumwandlungstemperatur  $T_g = 40^\circ\text{C}$  keine Kristallisation und Orientierung statt. Beschränkt man sich auf den Bereich  $\theta(x) > 40^\circ\text{C}$ , so gilt der in Bild 4 dargestellte Zusammenhang. Daß hier die Gerade etwas von dem Koordinatennullpunkt abweicht, liegt daran, daß in der Nähe der Spinndüse, wo  $T$  groß ist,  $\Delta n$  wegen der kurzen Ausrichtungszeit fast unbemerkbar ist. Aus der Geraden in Bild 4 ergibt sich die folgende Gleichung:

$$\Delta n(x) - 0.15 \times 10^{-3} = 2.77 \times 10^{-8} [\sigma(x)/T(x)]. \quad (1)$$

Aus dieser Gleichung kann man den Wert von  $\Delta n(x)$  berechnen, wenn unter den speziellen Bedingungen des Spinprozesses  $\sigma(x)$  und  $T(x)$  bestimmt worden sind.

Das obige Resultat zeigt, daß die während der Erstarrung durch Abkühlung bis zur Glasumwandlungstemperatur ( $T_g = 40^\circ\text{C}$ ) entstehende Orientierung des Spinnfadens von Nylon 6 mit der Theorie der Kautschukelastizität erklärt werden kann. Das wird auch durch das folgende Resultat gestützt. Nach der Theorie der Kautschukelastizität von Kuhn und Gr $\ddot{u}$ n<sup>3</sup> kann  $\Delta n$

TABLE I  
Spinnbedingungen<sup>a</sup>

Experiment No.	Abzugsgeschwindigkeit $v_{Tu}$ (cm/sec)	Durchflu menge $Q \times 10^2$ (g/sec)
1	500	1.53
2	1000	3.05
3	1667	5.08

<sup>a</sup> Konstante Bedingungen:

- 1)  $\bar{M}_n = 19000$
- 2) Extrusionstemperatur = 300°C
- 3) Düsenlochdurchmesser =  $2.5 \times 10^{-2}$  cm
- 4) Polymerfadendurchmesser am Abzugspunkt =  $6 \times 10^{-4}$  cm

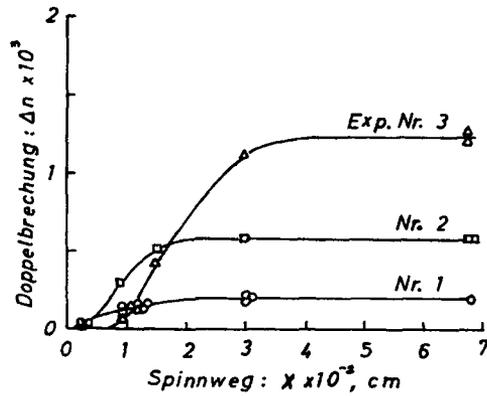


Bild. 1. Messungsergebnisse<sup>2</sup> der Doppelbrechung beim Schmelzspinnen von Nylon 6, aufgetragen gegen den Abstand von der Spinnöse.

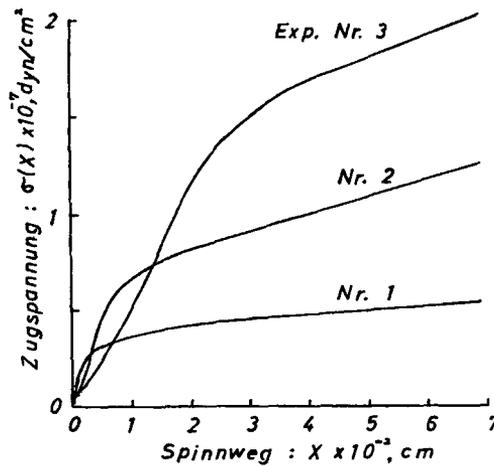


Bild. 2. Zugspannung beim Schmelzspinnen von Nylon 6, aufgetragen gegen den Abstand von der Spinnöse.

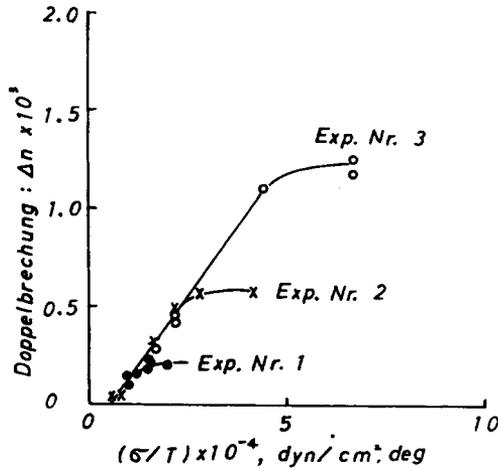


Bild. 3. Doppelbrechung von Nylon 6, aufgetragen gegen das Verhältnis der Abzugsspannung zur absoluten Temperatur.

des Polymerkörpers, der aus Gauß-Ketten bestehende, netzförmige Struktur hat, nach folgender Gleichung bestimmt werden, wenn dabei das Dehnungsverhältnis als  $\lambda$  gegeben ist:

$$\Delta n = \frac{2\pi (\bar{n}^2 + 2)^2}{45 \bar{n}} N(\alpha_1 - \alpha_2) \left( \lambda^2 - \frac{1}{\lambda} \right) \quad (2)$$

wobei  $\bar{n}$  = mittlerer Brechungsindex ohne Orientierung,  $N$  = Zahl der Ketten pro Einheitsvolumen und  $\alpha_1 - \alpha_2$  = Hauptpolarisierbarkeitsdifferenz.

Um  $\alpha_1 - \alpha_2$  in der Gleichung (2) experimentell zu finden, wurde wie folgt vorgegangen:

(a) Der Spinnfaden wurde direkt unter der Spinndüse entnommen, sofort in einer Trockeneis-Methanollösung abgekühlt und zum Gefrieren gebracht.

(b)  $\Delta n$  wurde in der Faden-Probe von Nylon 6, die amorph ist und kaum Orientierung zeigt, gemessen, indem das Faserdehnungsmikrometer an dem Polarisationsmikroskop angelegt und die Probe gespannt wurde. Wenn man dann  $\Delta n$  über  $\lambda^2 - (1/\lambda)$  aufträgt, erhält man Bild 5.

Im Bereich, wo  $\lambda$  klein ist,  $\lambda^2 - (1/\lambda) \leq 1$ , reagiert der Faden elastisch und  $\Delta n$  steht mit  $\lambda^2 - (1/\lambda)$  in linearer Beziehung. Wenn  $\lambda$  sich vergrößert, wird die Gleichung (2) unanwendbar und

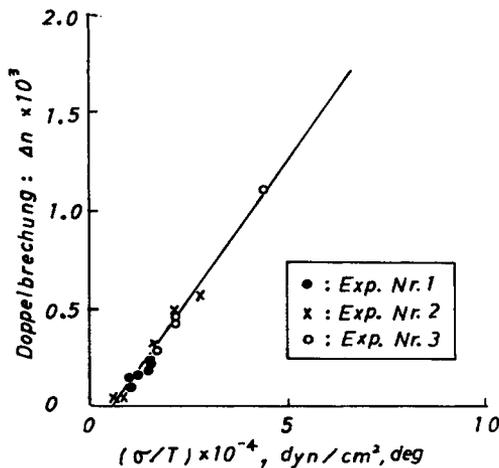


Bild. 4. Zusammenhang zwischen Doppelbrechung  $\Delta n$  und  $\sigma/T$  im Bereich von  $T > 313^\circ\text{K}$ .

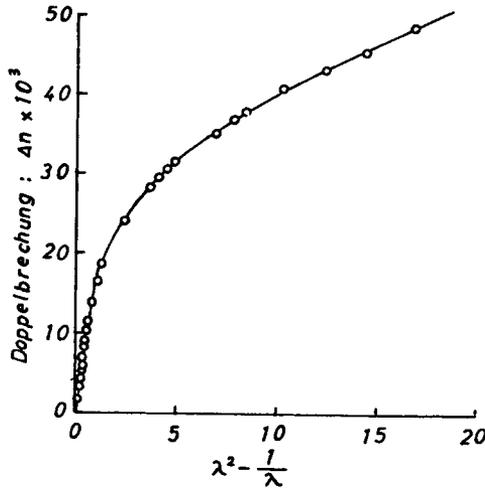


Bild. 5. Zusammenhang zwischen Doppelbrechung  $\Delta n$  und  $\lambda^2 - 1/\lambda$ , wobei  $\lambda$  das Dehnungsverhältnis bedeutet.

$\Delta n$  weicht von der Geraden ab. Die Gleichung (3) gibt die lineare Beziehung zwischen  $\Delta n$  und  $\lambda^2 - (1/\lambda)$  an:

$$\Delta n = 0.013 \left( \lambda^2 - \frac{1}{\lambda} \right). \quad (3)$$

Wenn  $\bar{n} = 1.55$  und  $N = 3.5 \times 10^{21}$  angenommen werden, wird  $\alpha_1 - \alpha_2 = 2.13 \times 10^{-24}$ . Andererseits erhält man, wenn man die Variable auf der rechten Seite der Gleichung (2) mit  $\sigma/T$  bezeichnet, die Gleichung (4):

$$\Delta n = \frac{2\pi (\bar{n}^2 + 2)^2}{45 \bar{n}} (\alpha_1 - \alpha_2) \frac{\sigma}{kT}. \quad (4)$$

Darin ist  $k$  die Boltzmannsche Konstante. Wenn man die Koeffizienten  $\sigma(x)/T(x)$  in Gleichung (1) und  $\sigma/T$  in Gleichung (4) gleichsetzt, so entsteht der Wert von  $\alpha_1 - \alpha_2 = 2.19 \times 10^{-24}$ . Dieser Wert stimmt mit dem Wert, der bei der Dehnungsprüfung der Faser erhalten wird, gut überein.

Das obige Resultat läßt vermuten, daß der Entwicklungsmechanismus der Orientierung von Nylon-6-Fäden beim Schmelzspinnen demjenigen im Anfangsbereich der Deformation unverstreckter Fäden gleicht.

Die Autoren danken Professor Dr. Toshiyuki Shōno an der Osaka Universität und Fabrikbesitzer Dr. Osamu Yoshizaki an der Toyobo A.G., die Anleitung und Unterstützung gegeben haben.

#### Literatur

1. I. Hamana, M. Matsui und S. Kato, *Melliand Textilber.*, **Heft 4**, 382 (1969).
2. T. Ishibashi, K. Aoki und T. Ishii, *J. Appl. Polym. Sci.*, **14**, 1597 (1970).
3. W. Kuhn und F. Grün, *Kolloid-Z.*, **101**, 248 (1942).

TOHRU ISHIBASHI  
JIRŌ FURUKAWA

Forschungszentrum  
Tsuruga Nylon Betrieb  
Toyobo A.G.  
Kurehacho, Tsuruga, Fukui 914, Japan

Received February 28, 1975

Revised July 24, 1975