

EINFLUSS DER VERSTRECKUNG UND DER THERMOFIXIERUNG AUF EINIGE RHEOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN VON POLYPROPYLEN-FASERSTOFFEN*

Von

L. KÓCZY, I. FÜLÖP, F. GELEJI und L. MEISZEL

Lehrstuhl für Textiltechnik und Leichtindustrie, Technische Universität, Budapest

Eingegangen am 30. März, 1979

Einleitung

Polypropylen-Faserstoffe bilden einen stets zunehmenden Anteil der Rohstoffbasis von Heimtextilien und technischen Textilien. Ihre Verbreitung ist vor allem durch ihre gute Chemikalien-Beständigkeit, gute Abriebfestigkeit und besonders gute nasse Abriebfestigkeit sowie ihre — im Vergleich zur Mehrheit der Synthefasern — geringere Neigung zu elektrostatischer Aufladung bedingt. Ihre Anwendung auf bestimmten Gebieten ist jedoch durch ihr verhältnismäßig ungünstiges elastisches Verhalten und ihre niedrigere Wärmebeständigkeit begrenzt. Das elastische Verhalten kann durch eine zielgerechte Wahl der Herstellungsparameter in vorteilhafter Richtung beeinflusst werden. Unter den in Frage kommenden Parametern wählten wir als Objekt unserer Forschungsarbeit den Verstreckungsgrad und die Thermofixiertemperatur und untersuchten ihre Wirkung auf bestimmte Eigenschaften des Faserstoffs, um aus den Ergebnissen optimale Werte für diese Parameter bestimmen zu können.

Experimentelles

Über die Herstellung der in unseren Versuchen verwendeten Polypropylen-Filamente wurde in einer früheren Arbeit [1] ausführlich berichtet. Wir beschränken uns hier allein auf die Angabe des Streckverhältnisses und der Temperatur der Thermofixierung (Tabelle 1). Es soll noch bemerkt werden, daß die Feinheit der für die Versuche hergestellten Filamentkabel zwischen 460 und 480 tex lag und die Anzahl der Einzelfilamente 200 betrug.

* Unter Verwendung des Materials der Vorträge, gehalten durch die Verfasser an der Varnaer I. Internationalen Synthefaser-Konferenz (Varna, Bulgarien, 5. 6. 1973.) sowie an der XX. Ungarischen Textilkonferenz (Budapest, 1973).

Tabelle 1
Herstellungsparameter der Proben

Muster Nr.	Streckverhältnis d	Thermofixier-Temperatur T_f (°C)
1	1 : 3,0	120
2	1 : 3,0	135
3	1 : 3,5	120
4	1 : 3,5	135
5	1 : 4,0	120
6	1 : 4,0	135
7	1 : 3,0	—
8	1 : 3,5	—
9	1 : 4,0	—

Die an den Versuchsproben durchgeführten Messungen waren
 — die Bestimmung der Reißkraft und der Reißdehnung;
 — die Bestimmung der Wärmeschrumpfkraft unter anisothermen Bedingungen, bei einem gewählten, mäßig hohen Temperaturgradienten;
 — die Aufnahme von Deformationskurven, ebenfalls unter anisothermen Bedingungen, bei Belastungen, die auf die experimentell bestimmte maximale Schrumpfkraft bezogen waren und deren Bruchteile bzw. Mehrfache ausmachten.

Die Ergebnisse der rheologischen Analyse unter isothermen Bedingungen sowie einige Struktureigenschaften unserer Proben wurden in der bereits erwähnten früheren Arbeit [1] beschrieben.

Ergebnisse und Diskussion

Die Reißfestigkeit und Reißdehnung der Filamente

Die mit den Versuchsproben erhaltenen Reißfestigkeitswerte und Reißdehnungswerte sind in Tabellen 2 und 3 zusammengefaßt.

Aus den angeführten Daten geht eindeutig hervor, daß erwartungsgemäß eine höhere Verstreckungsstufe zu höheren Reißfestigkeiten und geringeren Reißdehnungen führt. Es ist jedoch bemerkenswert, daß die Steigerung des Verstreckens über einen bestimmten Wert — im gegebenen Fall über $d = 3,5$ — keine wesentliche Abnahme der Reißdehnung ergibt. Dieser Grenzwert ist stark von der Molekularmasse des für die Faserherstellung verwendeten Polymeren abhängig.

Tabelle 2

Durchschnittliche Reißfestigkeitswerte der Proben in cN

T_f , °C	Reißfestigkeit, cN, bei		
	$d = 3,0$	$d = 3,5$	$d = 4,0$
Unfixiert	14,4	15,1	19,6
120	13,0	19,7	23,6
135	12,6	16,6	26,0

Tabelle 3

Durchschnittliche Reißdehnung der Proben, in %

T_f , °C	Reißdehnung, %		
	$d = 3,0$	$d = 3,5$	$d = 4,0$
Unfixiert	53,5	49,0	47,5
120	53,0	44,0	46,0
135	52,0	51,0	47,0

Die Daten zeigen auch, daß die Temperatur des Thermofixierens nur bei höheren Verstreckungsgraden einen signifikanten Einfluß auf die Filamente ausübt: die Reißfestigkeit der bei 135 °C fixierten Filamente ist um ca. 33% höher als die der unfixierten, wenn die Verstreckung $d = 4$ beträgt.

Die Einzel- und Gesamtwirkung des Verstreckens und des Thermofixierens ist in Abb. 1. gut ersichtlich.

Gestaltung der Wärmeschrumpfkraft unter anisothermen Bedingungen

Die Messungen wurden mit dem in unserem früheren Aufsatz [1] beschriebenen Rheolometer ausgeführt. Die Schrumpfkraft wurde im Temperaturbereich zwischen 20 °C und der Zerstörung (des Bruchs) der Proben bestimmt. Der gewählte Temperaturgradient betrug ca. 3,5 °C/min. Die Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle 4 zusammengefaßt. Außerdem ist die Änderung der Schrumpfkraft in Abhängigkeit von der Temperatur bei den geprüften 9 Probevarianten in den Polardiagrammen Abb. 2. — Abb. 4. dargestellt.

Aus den Abbildungen kann festgestellt werden, daß die Schrumpfkraft bei allen Fixiertemperaturen mit abnehmender Verstreckungsstufe abnimmt. Es ist bemerkenswert, daß die Wirkung der Verstreckung bei der Fixiertempera-

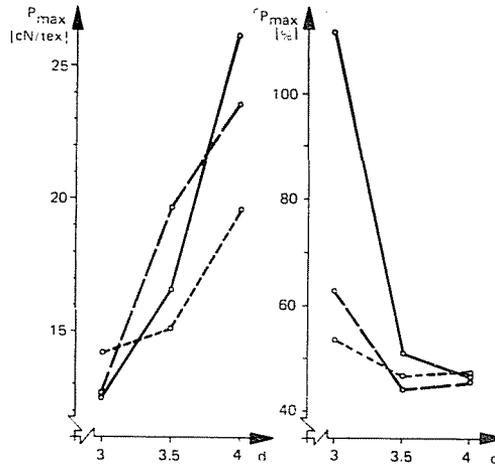


Abb. 1. Wirkung des Verstreckungsgrades d und der Thermofixiertemperatur T_f auf die Reißfestigkeit P_{\max} und die Reißdehnung εP_{\max} von Polypropylen-Filamenten. ----- unfixiert; --- $T_f = 125^\circ\text{C}$; — $T_f = 135^\circ\text{C}$

Tabelle 4

Spezifische Werte der Wärmeschumpfkraft (cN/tex) in den Proben bei verschiedenen Temperaturen

Prüftemperatur, °C	Spez. Schumpfkraft cN/tex in den Proben								
	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7	Nr. 8	Nr. 9
30	0,075	0,038	0,069	0,042	0,051	0,048	0,038	0,043	0,049
40	0,076	0,038	0,091	0,063	0,103	0,048	0,038	0,043	0,049
50	0,153	0,057	0,114	0,084	0,129	0,072	0,038	0,065	0,075
60	0,322	0,192	0,250	0,188	0,180	0,097	0,132	0,194	0,199
70	0,379	0,324	0,387	0,314	0,257	0,422	0,204	0,303	0,324
80	0,416	0,362	0,432	0,396	0,335	0,411	0,264	0,324	0,448
90	0,416	0,362	0,432	0,417	0,490	0,506	0,301	0,368	0,498
100	0,379	0,362	0,432	0,441	0,515	0,533	0,301	0,390	0,550
105	0,379	0,344	0,432	0,419	0,515	0,550	0,301	0,390	0,550
110	0,361	0,304	0,410	0,398	0,515	0,550	0,301	0,390	0,550
115	0,322	0,256	0,387	0,376	0,490	0,507	0,264	0,368	0,524
120	0,304	0,248	0,363	0,336	0,490	0,459	0,264	0,368	0,497
125	0,284	0,210	0,318	0,292	0,466	0,410	0,227	0,345	0,473
130	0,246	0,172	0,318	0,251	0,412	0,362	0,188	0,252	0,399
140	0,189	0,114	0,227	0,167	0,283	0,314	0,151	0,217	0,349
145	—	0,114	0,205	0,125	0,233	0,266	0,094	0,151	0,299
150	—	0,038	0,137	0,084	0,077	0,097	0,094	0,087	0,224
154	—	—	0,091	0,042	—	—	—	—	0,174

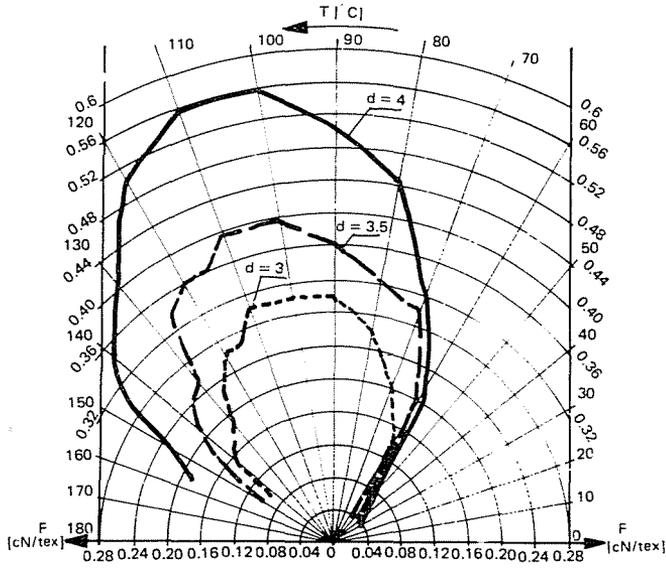


Abb. 2. Wärmeschrumpfkraft in unfixierten Proben bei verschiedenen Prüftemperaturen. $v_T \approx 3,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$

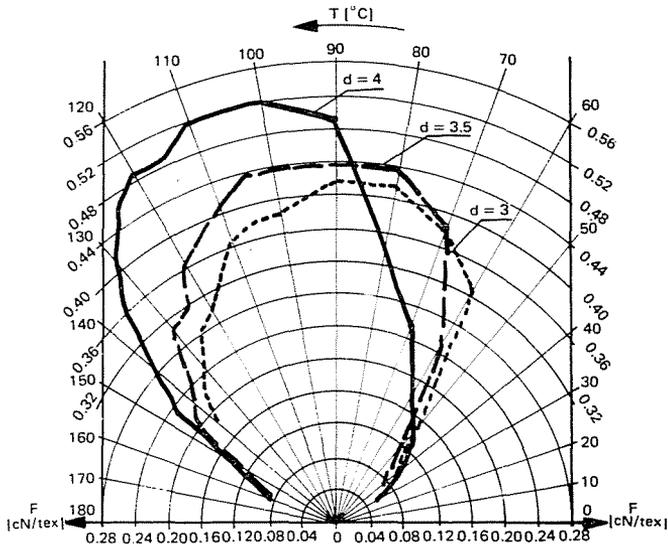


Abb. 3. Wärmeschrumpfkraft in bei 120°C thermofixierten Proben bei verschiedenen Prüftemperaturen. $v_T \approx 3,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$

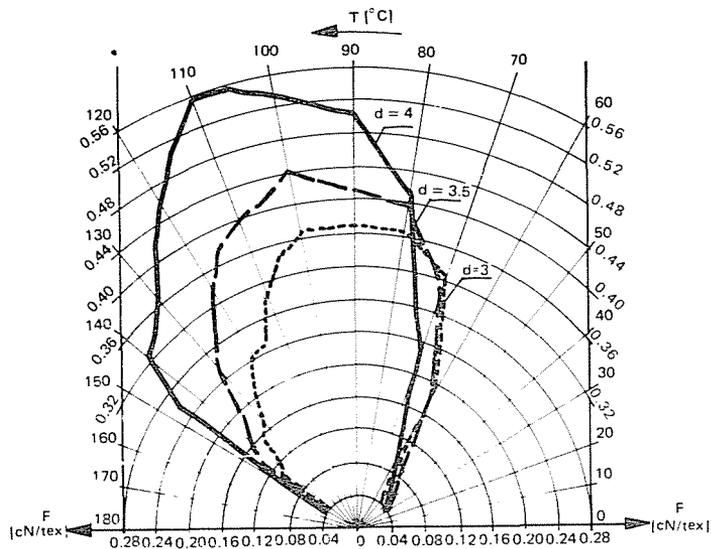


Abb. 4. Wärmeschrumpfkraft in bei 135 °C thermofixierten Proben bei verschiedenen Prüftemperaturen.
 $v_T \approx 3,5 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$

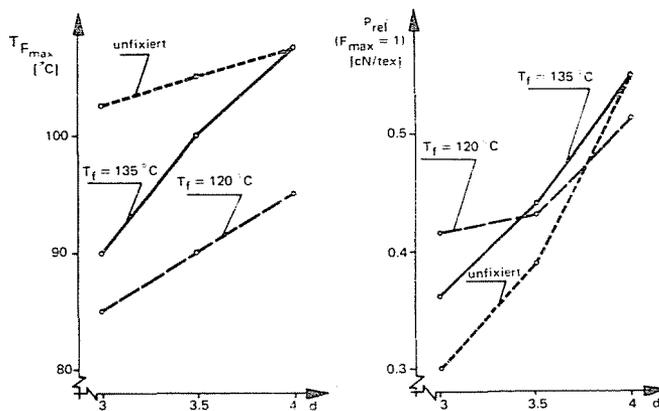


Abb. 5. Die maximale Wärmeschrumpfkraft ergebende Temperatur $T_{F_{\max}}$ (links) und die maximale Wärmeschrumpfkraft F_{\max} (rechts) in Abhängigkeit von der Ver-
 F_{\max} streckungsstufe

tur von 120 °C am geringsten ist; erwartungsgemäß tritt die Wirkung bei unfixierten Filamenten am stärksten in Erscheinung.

In Abb. 5. ist die zur maximalen Schrumpfkraft gehörende Temperatur sowie die spez. maximale Schrumpfkraft in Abhängigkeit von der Ver-
 streckungsstufe ersichtlich.

Aus dem Diagramm linkerseits geht hervor, daß die der maximalen Schrumpfkraft entsprechende Temperatur sich fast linear mit der Verstreckungsstufe ändert. Es kann daher in bestimmten Fällen das Ändern des Verstreckens zu einer wesentlichen Modifizierung dieser Temperatur führen: der Bereich dieser Modifizierbarkeit beträgt bei einer Fixiertemperatur von 120°C 10°C , bei einer Fixiertemperatur von 135°C sogar 15°C zwischen $d=3$ und $d=4$.

Aus dem rechtsseitigen Diagramm ist ersichtlich, daß die maximale Schrumpfkraft erwartungsgemäß bei höheren Verstreckungsstufen zunimmt, zugleich aber interessanterweise die Wirkung der Thermofixierungs-Temperaturen sich in Richtung höherer Verstreckungen mehr und mehr ausgleicht.

In unserem Aufsatz [1] wurde hinsichtlich der isothermen Deformation der geprüften Proben bereits auf die bei dem Streckverhältnis $d=3$ beobachteten sog. Wechsellpunkte hingewiesen. Diese zeigten sich bezüglich der verschiedenen untersuchten Parameter auch in der vorliegenden Arbeit. Unterhalb der Verstreckungsstufe $d=3,5$ ist die maximale Schrumpfkraft umso geringer, je höher die zu ihr gehörende Temperatur ist; oberhalb dieser Verstreckungsstufe ist die Tendenz gerade entgegengesetzt.

Bezüglich des Bereichs der maximalen Schrumpfkraft geht aus der Abbildung hervor, daß die Wirkung des Fixierens geringer ist als die des Verstreckens. Es ist jedoch bemerkenswert, daß letztere Wirkung bei einer Thermofixier-Temperatur von 120°C wesentlich geringer ist.

Unter anisothermen Bedingungen, bei auf die maximale Schrumpfkraft bezogenen Belastungen auftretende Deformationen

Auch diese Messungen wurden auf dem Nándoryschen Rheolometer durchgeführt. Die Deformationsmessungen betrafen vier Belastungsstufen, namentlich 10%; 50%; 100%; 200% der maximalen Schrumpfkraft F_{\max} . (Es soll bemerkt werden, daß die erste Stufe, d. h. 10% der maximalen Schrumpfkraft etwa der üblichen Vorbelastung von $0,05 \text{ cN/tex}$ entspricht.)

Die Ergebnisse der anisothermen Deformationsmessungen sind graphisch in Abb. 6–14. dargestellt.

Diese Daten werden noch anschaulicher, wenn sie in einem räumlichen Koordinatensystem mit den Koordinaten Temperatur (T), Deformation (ϵ) und Belastung (P_{rel}) dargestellt sind (Abb. 15–23).

Vor allem geht aus den Abbildungen hervor, daß die Tendenz der Deformationskurven bei allen 9 Probevarianten gleich ist. Dies war zu erwarten, da es sich ja um denselben Polymeren handelte. Ein Vergleich der Deformationskurven zeigt an, daß bis zu Belastungen von ca. $0,7$ – $0,9 F_{\max}$ absolute Schrumpfung innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen, bei Be-

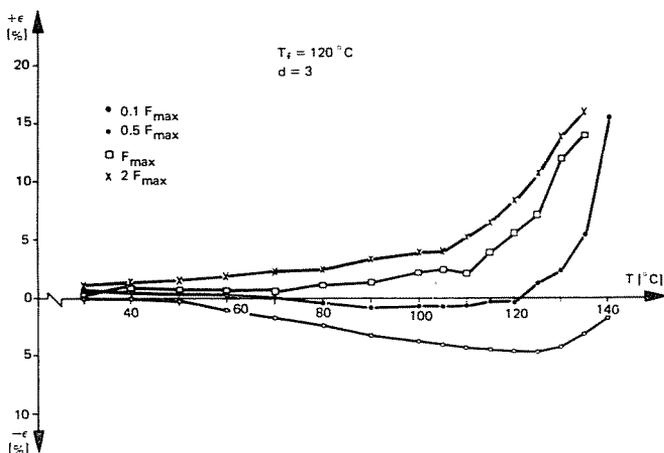


Abb. 6. Deformation der Probe Nr. 1 bei verschiedenen Temperaturen und bei Belastungen bezogen auf die maximale Wärmeschumpfkraft F_{\max}

lastungen zwischen ca. $0,7 - 1,7 F_{\max}$ relative Schrumpfung ebenfalls innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen, und oberhalb von ca. $1,7 F_{\max}$, unabhängig von der Temperatur, reines Kriechen auftritt.

Aus den Abbildungen ist auch abzulesen, daß die Temperatur, bei der die Schrumpfzone beginnt, sehr wesentlich durch die Verstreckungsstufe beeinflusst werden kann. Im allgemeinen ist die Struktur umso stabiler, je höher

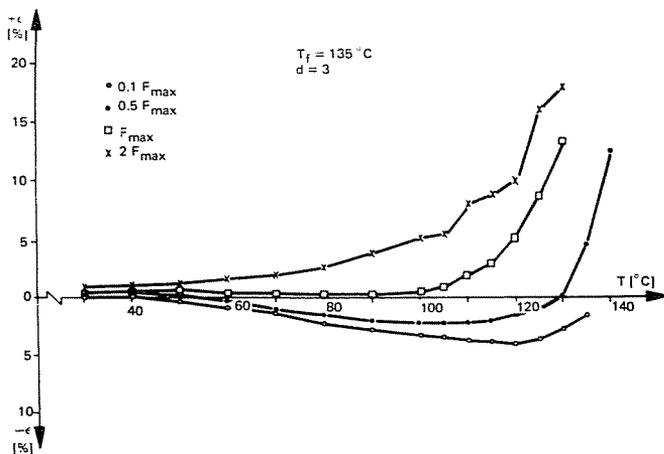


Abb. 7. Deformation der Probe Nr. 2 bei verschiedenen Temperaturen und bei Belastungen bezogen auf die maximale Wärmeschumpfkraft F_{\max}

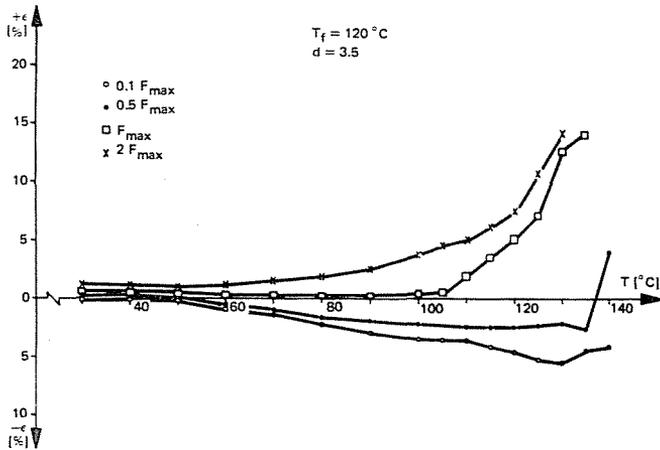


Abb. 8. Deformation der Probe Nr. 3 bei verschiedenen Temperaturen und bei Belastungen bezogen auf die maximale Wärmeschumpfkraft F_{\max}

die Verstreckungsstufe ist; folglich meldet sich die Schrumpfung erst bei einer höheren Temperatur. Im geprüften Streckverhältnis-Bereich beträgt dieser Temperaturunterschied etwa 20 °C .

Auch kann beobachtet werden, daß kein wesentlicher Unterschied zwischen den Probevarianten bezüglich der Temperatur besteht, bei welcher das vor der Zerstörung der Filamente auftretende Kriechen beginnt. Diese

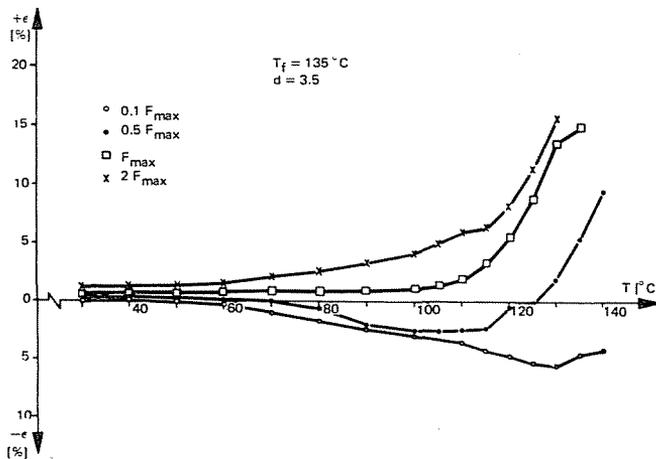


Abb. 9. Deformation der Probe Nr. 4 bei verschiedenen Temperaturen und bei Belastungen bezogen auf die maximale Wärmeschumpfkraft F_{\max}

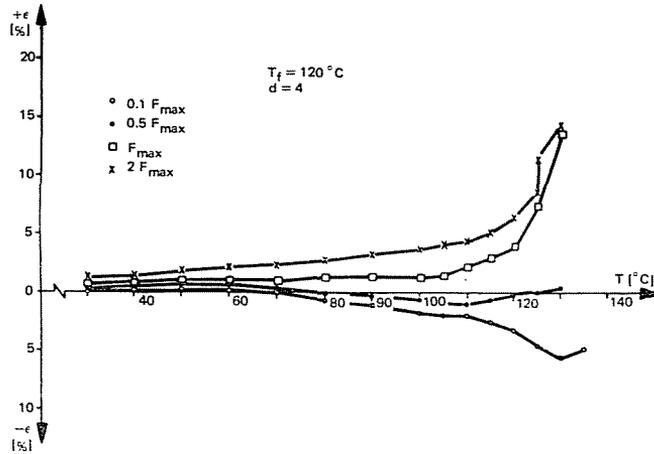


Abb. 10. Deformation der Probe Nr. 5 bei verschiedenen Temperaturen und bei Belastungen bezogen auf die maximale Wärmeschrumpfkraft F_{\max}

betrug in sämtlichen Fällen ca. 120—125 °C, unabhängig von der Größe der Belastung.

Die vorgeführten Deformationsuntersuchungen erschlossen die Ausbreitung und den Charakter der Schrumpfzone. Die zum Punkt $\varepsilon=0$ gehörenden gemessenen Spannungen — wiederum auf F_{\max} bezogen, d. h. in Einheiten $F_{\max}=1$ ausgedrückt — sind in Abb. 24. als Funktion der

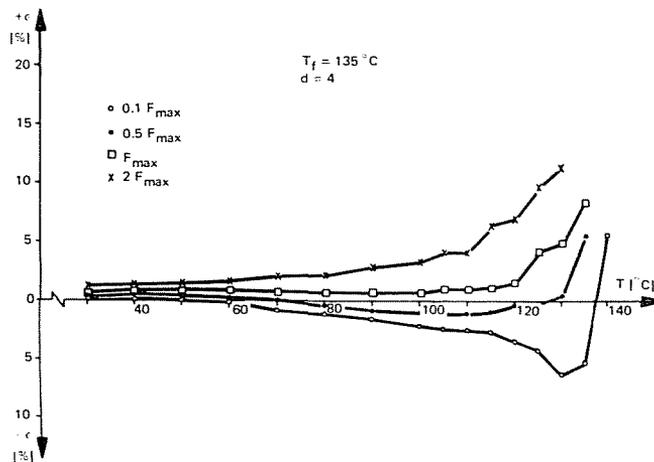


Abb. 11. Deformation der Probe Nr. 6 bei verschiedenen Temperaturen und bei Belastungen bezogen auf die maximale Wärmeschrumpfkraft F_{\max}

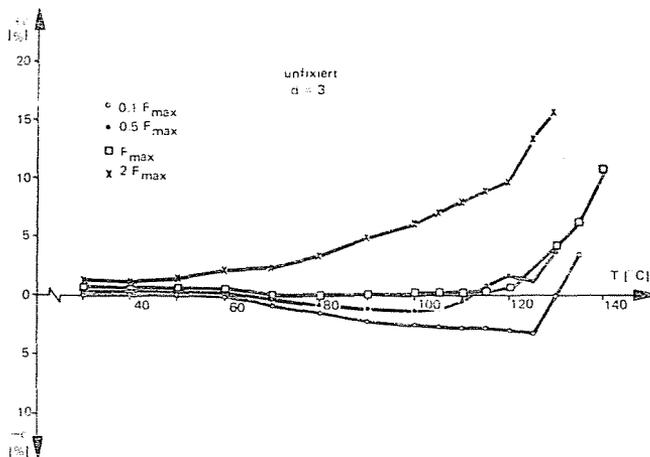


Abb. 12. Deformation der Probe Nr. 7 bei verschiedenen Temperaturen und bei Belastungen bezogen auf die maximale Wärmeschrumpfkraft F_{max}

Temperatur dargestellt. Es zeigt sich, daß der Zustand $\varepsilon=0$ in sämtlichen Fällen bei $d=4$ mit der geringsten Zugkraft erreicht werden kann. Dies ist in Übereinstimmung mit dem Befund der Schrumpfkraftmessungen, daß der höchste Wert der Schrumpfkraft bei $d=4$ auftritt. Bei den anderen Verstreckungsstufen, bei $d=3$ und $d=3,5$ kann ein solcher Zusammenhang nicht eindeutig beobachtet werden, bei den unfixierten Proben kann sogar kein

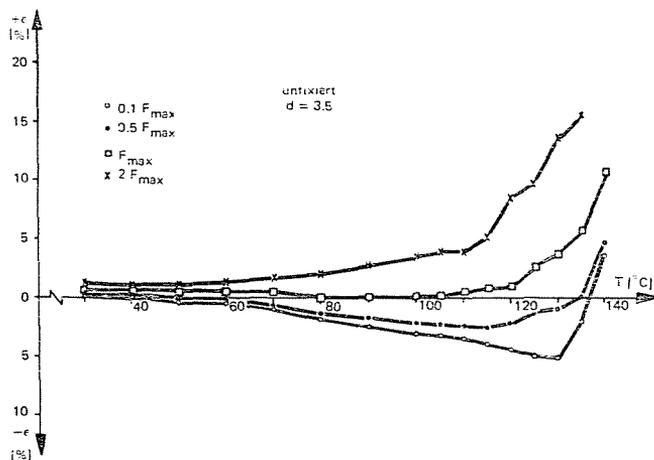


Abb. 13. Deformation der Probe Nr. 8 bei verschiedenen Temperaturen und bei Belastungen bezogen auf die maximale Wärmeschrumpfkraft F_{max}

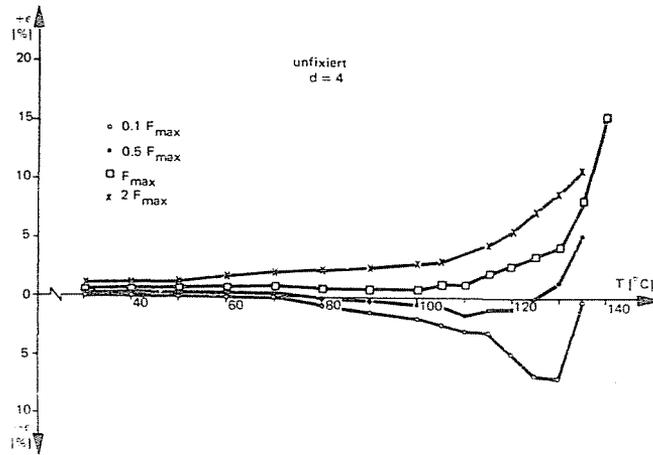


Abb. 14. Deformation der Probe Nr. 9 bei verschiedenen Temperaturen und bei Belastungen bezogen auf die maximale Wärmeschrumpfkraft F_{max}

wesentlicher Unterschied zwischen den betreffenden Kurven aufgefunden werden. Aus der Abbildung geht hervor, daß die zum sog. Punkt des höchsten Widerstandes gehörende Temperatur (d. h. die Temperatur, bei welcher die höchste Kraft ausgeübt werden muß, um die Deformation $\epsilon=0$ zu sichern)

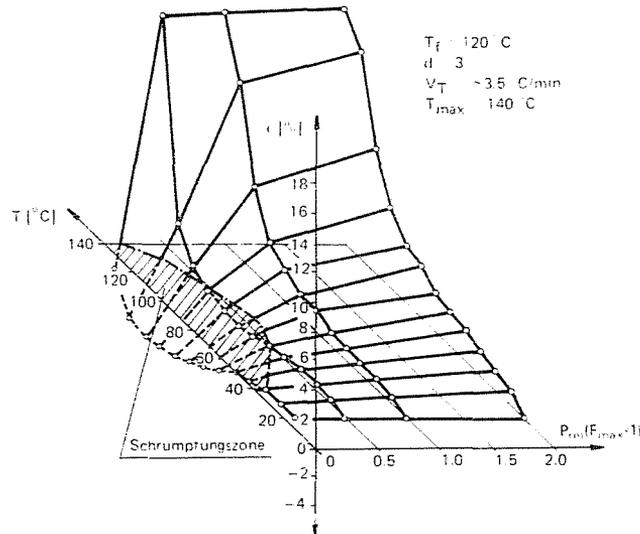


Abb. 15. Deformation der Probe Nr. 1 bei verschiedenen Belastungen und Prüftemperaturen

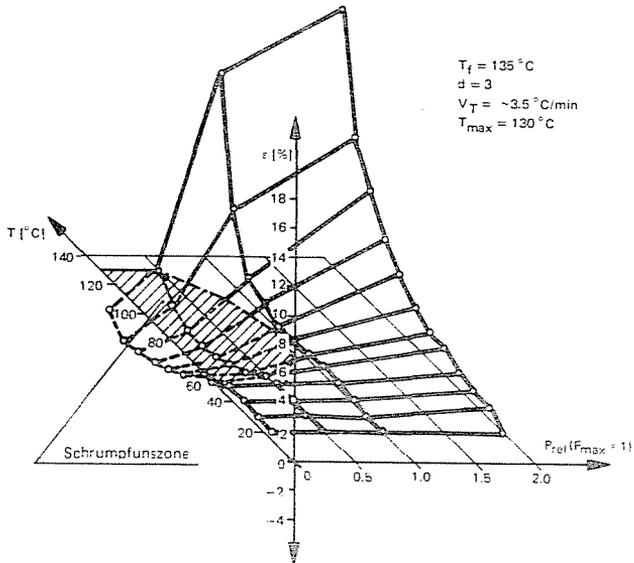


Abb. 16. Deformation der Probe Nr. 2 bei verschiedenen Belastungen und Prüftemperaturen

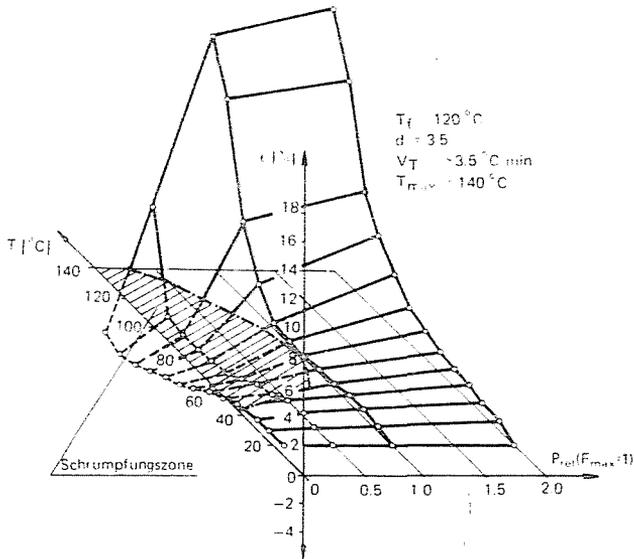


Abb. 17. Deformation der Probe Nr. 3 bei verschiedenen Belastungen und Prüftemperaturen

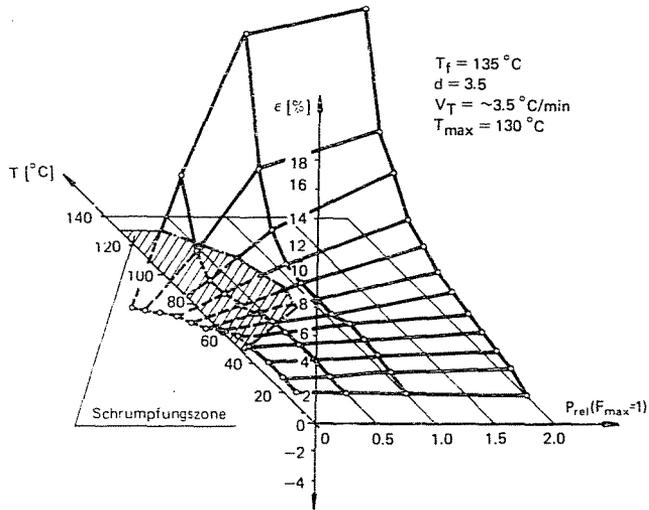


Abb. 18. Deformation der Probe Nr. 4 bei verschiedenen Belastungen und Prüftemperaturen

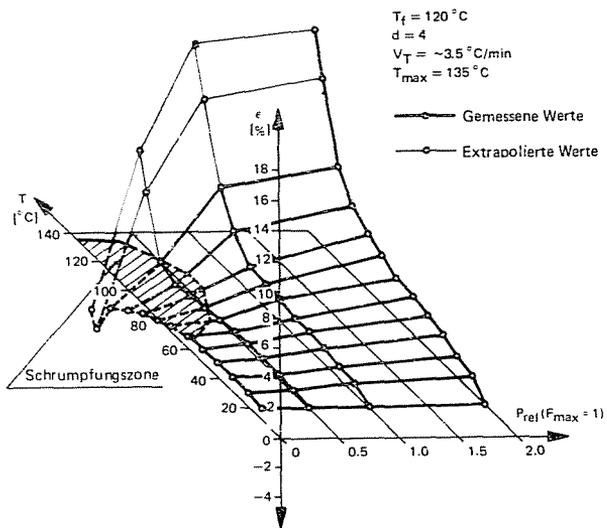


Abb. 19. Deformation der Probe Nr. 5 bei verschiedenen Belastungen und Prüftemperaturen

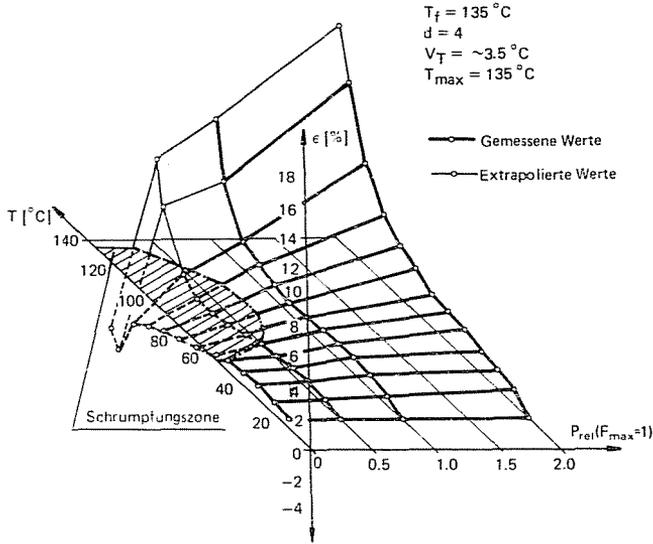


Abb. 20. Deformation der Probe Nr. 6 bei verschiedenen Belastungen und Prüftemperaturen

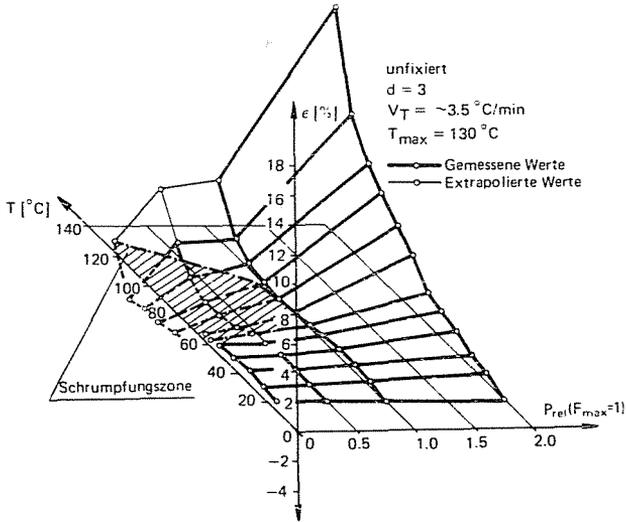


Abb. 21. Deformation der Probe Nr. 7 bei verschiedenen Belastungen und Prüftemperaturen

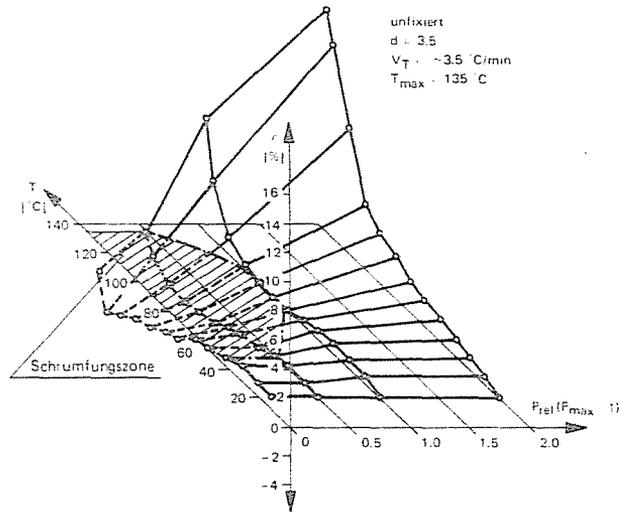


Abb. 22. Deformation der Probe Nr. 8 bei verschiedenen Belastungen und Prüftemperaturen

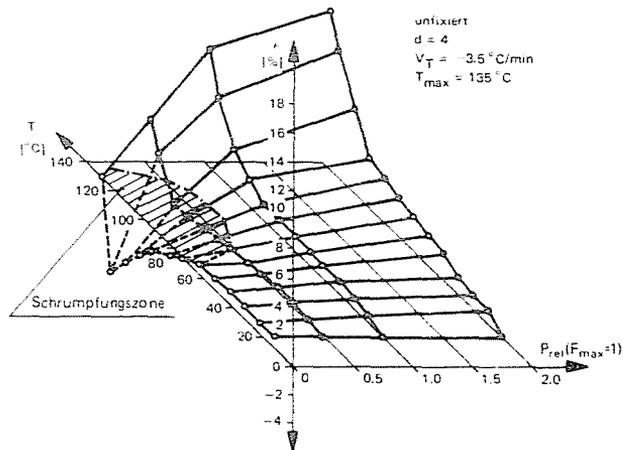


Abb. 23. Deformation der Probe Nr. 9 bei verschiedenen Belastungen und Prüftemperaturen

unabhängig von der Fixierbehandlung mit der Verstreckungsstufe folgendermaßen ansteigt:

bei $d = 3$	85— 90 °C
bei $d = 3,5$	90— 95 °C
bei $d = 4$	100—105 °C

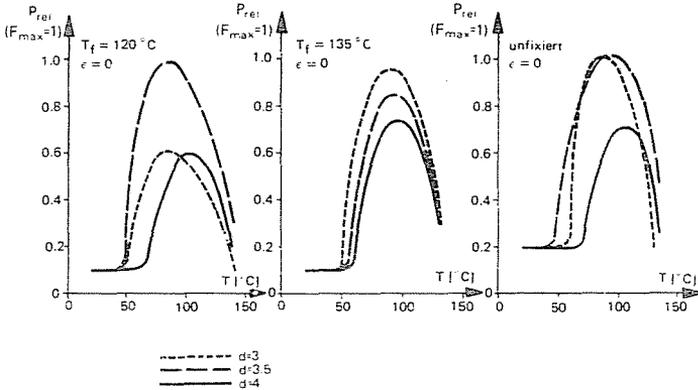


Abb. 24. Die den Zustand $\epsilon=0$ sichernden Belastungen bei verschiedenen Prüftemperaturen

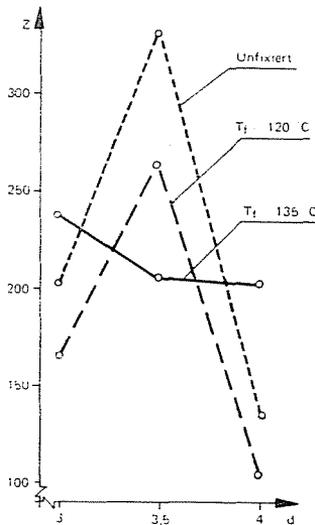


Abb. 25. Die Größe z der Schrumpfzone bei den geprüften Proben

Abb. 25. zeigt die Größe der Schrumpfzone z in Abhängigkeit von der Temperatur. Es kann daraus festgestellt werden, daß die Größe der Schrumpfzone zwar durch die Thermofixierung gewissermaßen beeinflusst wird, daß aber eine Superponierung der Wirkung der Verstreckungsstufe auftritt. Interessanterweise meldet sich jedoch der zu erwartende eindeutige

Zusammenhang allein bei der Fixiertemperatur von 135 °C, während in den beiden anderen Fällen bei der Verstreckungsstufe $d=3,5$ wiederum ein Wechsellpunkt beobachtet wird.

Schlußfolgerungen

Wie zu erwarten war, ist die Wirkung der Wärmefixierungstemperatur im Vergleich zur Wirkung des Verstreckens auf die im Normalklima gemessenen Festigkeitseigenschaften gering. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Wirkung der Thermofixierung eher bei höheren Temperaturen zur Geltung kommt; durch die Fixierung des Filamentkabels bei verschiedenen Temperaturen wird die bei 20 °C gemessene Reißfestigkeit kaum beeinflusst.

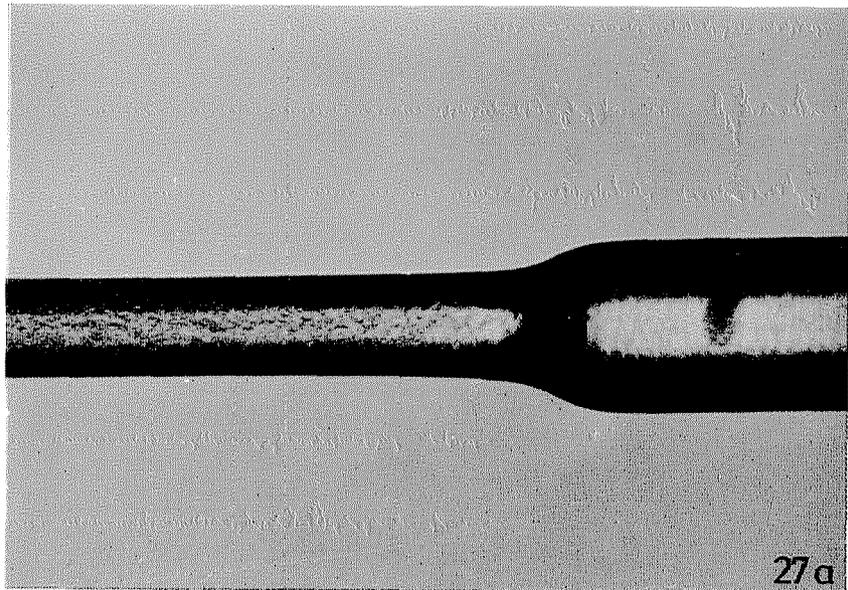
Die durchgeführten anisothermen rheologischen Untersuchungen dagegen (ähnlich wie unsere früheren isothermen Untersuchungen) beweisen die komplexe Abhängigkeit der rheologischen Eigenschaften, vor allem vom Verstreckungsverhältnis, aber auch von der Temperatur der Thermofixierung, und gestatten zugleich einige Folgerungen für die Praxis. So ermöglicht z. B. die Kenntnis der vorgeführten Daten die Vorausabschätzung der Wirkung der Parameter bestimmter Ausrüstungsverfahren — vor allem Trocknungsverfahren — für verschiedene Endzwecke.

Auch weisen unsere Ergebnisse auf die verschiedenen Möglichkeiten hin, unter bestimmten Bedingungen und Grenzen Filamentkabel mit gewünschten rheologischen Eigenschaften herzustellen. So kann z. B. im Prinzip eine Schrumpfzone ähnlicher Größe erhalten werden, wenn eine niedrige Verstreckungsstufe mit einer bei hoher Temperatur durchgeführten Thermofixierung gepaart wird, oder umgekehrt, wenn zu einer hohen Verstreckungsstufe eine niedrigere Fixiertemperatur angewendet wird.

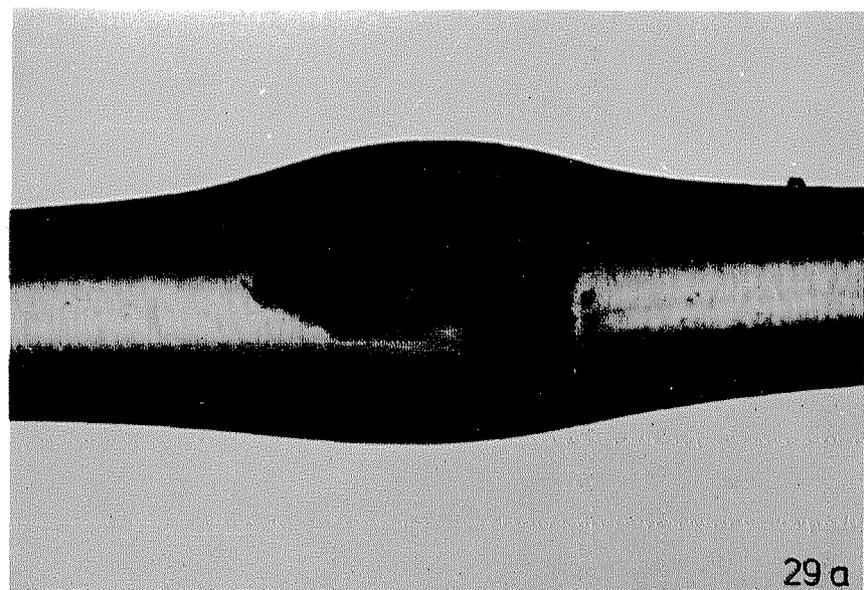
Endlich weisen die Ergebnisse unsere Untersuchungen darauf hin, daß oberhalb bestimmter Verstreckungsgrenzen eine Tendenz zum Ausgleich der rheologischen Eigenschaften, vor allem der maximalen Schrumpfkraft vorhanden ist.

Zusammenfassung

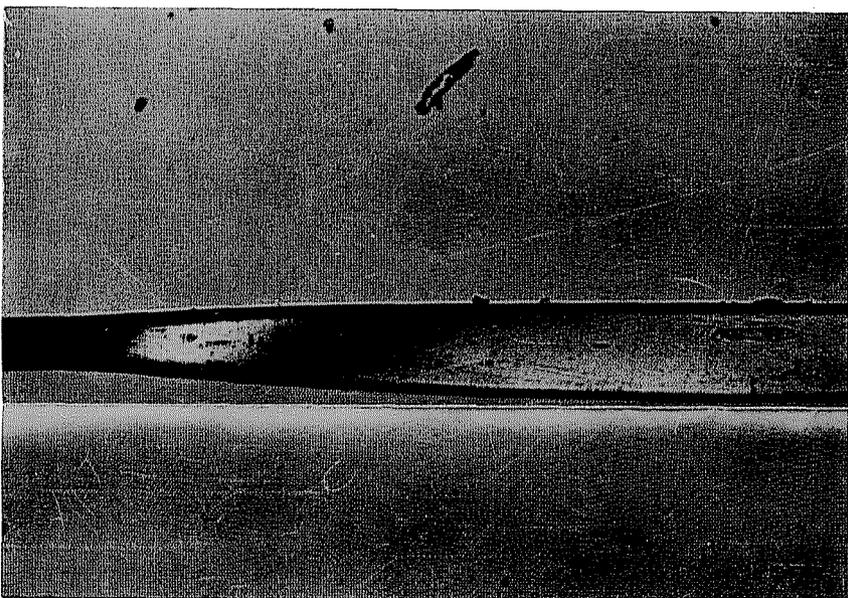
Es wurde die Wirkung des Verstreckungsgrades und der Temperatur der Thermofixierung auf die Festigkeitseigenschaften und einige rheologische Eigenschaften von Polypropylen-Filamenten untersucht. Die mitgeteilten Ergebnisse demonstrieren den Einfluß der oben genannten Herstellungsparameter auf die Reißfestigkeit, die Reißdehnung sowie auf die unter anisothermen Bedingungen gemessene Wärmeschrumpfkraft und Deformation.



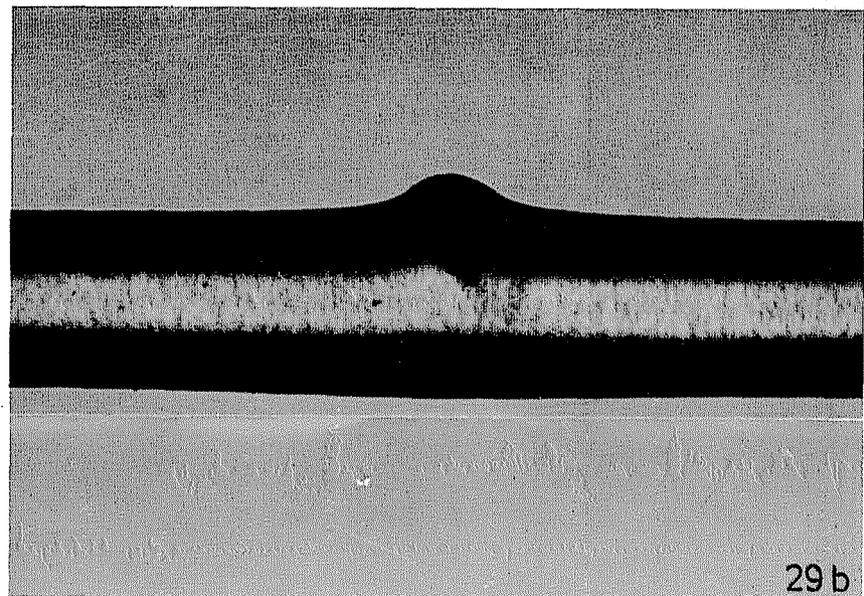
27a



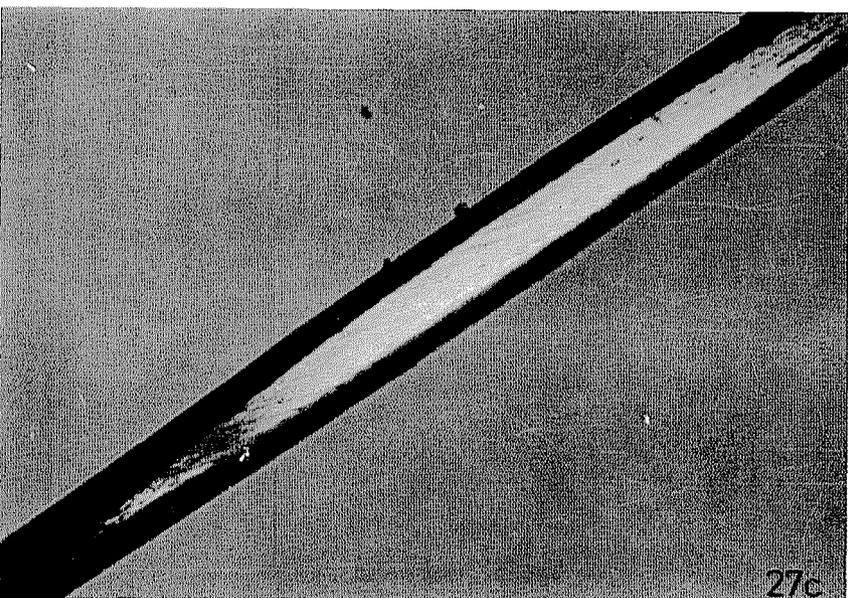
29a



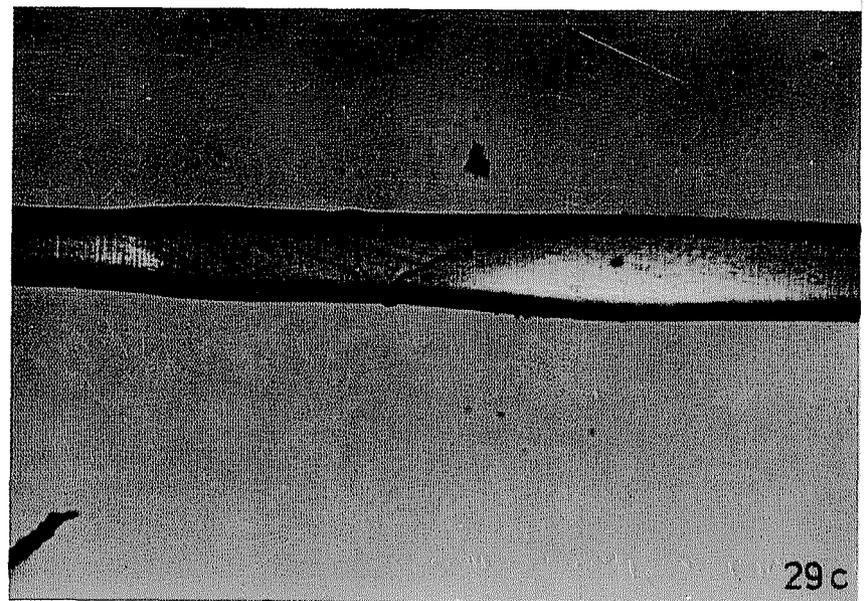
27c



29b



27c



29c

Abb. 27. Prüfung von Polypropylenfaser-Fehlern in polarisiertem Licht: a) Übergangsteil („Hals“) des beim Verstrecken auftretenden Knotens; b) Nach dem Ausgleichen des „Halses“ zurückbleibende Ungleichmäßigkeit im Querschnitt und in der inneren Struktur der Faser; c) Nach dem Ausgleichen des „Halses“ zurückbleibende Ungleichmäßigkeit in der inneren Faserstruktur

Abb. 29. Prüfung von Polypropylenfaser-Fehlern in polarisiertem Licht; a) Querschnittsungleichmäßigkeit infolge eines Fehlers im Polymeren; b) Durch Pigmentagglomeration verursachter Fehler; c) Fehler infolge übermolekularer Strukturungleichmäßigkeit

Literatur

1. KÓCZY, L., FÜLÖP, I., GELEJI, F.: The Influence of Some Parameters of Polypropylene Filaments on their Rheological Characteristics. *Periodica Polytechnica*, 16, No.3. 225—259. (1972).
2. KÓCZY, L.: A gyártási nyújtás és a hörögztítés befolyása PP filamentek egyes reológiai jellemzőire. (Wirkung der Verstreckung und der Thermofixierung auf einige rheologische Eigenschaften von PP Filamenten.) Forschungsbericht, Budapest, 1974.

Dr. László KÓCZY

Dr. István FÜLÖP

Dr. Frigyes GELEJI

Dr. László MEISZEL

H-1521 Budapest

ANHANG

Bemerkungen zur Herstellung der Versuchsfasern

Beim Verstrecken der Versuchsfasern beobachteten wir bestimmte Erscheinungen, die beim Verstrecken im großtechnischen Betrieb berücksichtigt werden sollen. Diese sind im folgenden zusammengefaßt.

1. In Abb. 26 ist der in unseren Messungen gefundenen Verlauf des Zusammenhangs Streckkraft—Verstreckungsausmaß dargestellt.

Ist die Richtungstangente der Geraden, welche den durch die Abschnitte *a* und *b* begrenzten Verstreckungsbereich charakterisiert, negativ, d.h. nimmt die Streckkraft ab, so ist das Verstrecken als instabil zu betrachten. In diesem Fall besteht die Gefahr der Knotenbildung (Abb. 27/a). Obwohl diese Knoten beim weiteren Verstrecken praktisch verschwinden, muß ihr Auftreten dennoch als eine ungünstige Erscheinung bewertet werden, indem ihre Behebung in vielen Fällen eine morphologische Ungleichmäßigkeit der Elementarfaser sowie eine Ungleichmäßigkeit der übermolekularen Struktur hinterläßt (Abb. 27/b). Die strukturelle Ungleichmäßigkeit kann gegebenenfalls auch dann zurückbleiben, wenn die morphologische Ungleichmäßigkeit im wesentlichen verschwindet (Abb. 27/c).

Die Verstreckungsparameter wie die Zeitdauer des vorangehenden Lagerens für die Sicherung der Kristallisation, die Verstrecktemperatur, die Verstreckgeschwindigkeit und das Ausmaß des Verstreckens sollen demgemäß so gewählt werden, daß die obengenannte Abnahme der Streckkraft bzw. der instabile Streckbereich vermeidbar sei.

2. Bei der Wahl der Temperatur des Verstreckens soll berücksichtigt werden, daß bei niedrigen Temperaturen (z. B. 20 °C) im durch die Abschnitte *a* und *b* begrenzten Bereich — unabhängig vom bereits behandelten Richtungstangentenverlauf — vor allem eine molekulare Orientierung auftritt und

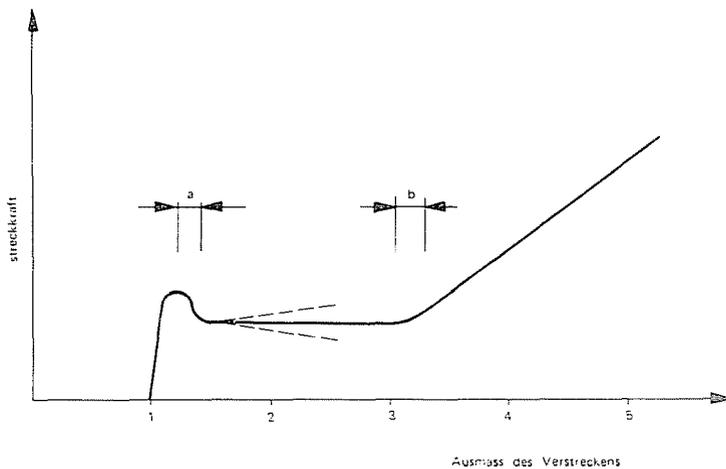


Abb. 26. Charakteristik des Zusammenhangs Streckkraft—Verstreckungsmaß

eine Umordnung nur in geringem Ausmaß verläuft, daß also der kristalline Anteil in der Faser kaum zunimmt (Abb. 28). Nach der Überschreitung des Abschnitts *b* wurde die Deformation der kristallinen Struktur beobachtet.

Bei höheren Temperaturen (120 °C) wird der durch *a* und *b* begrenzte Bereich enger oder verschwindet sogar. In diesem Fall erfolgt — neben der Orientierung — die Modifizierung der molekularen Struktur bereits in der Anfangsphase des Verstreckens.

3. Neben den in Abb. 27 vorgeführten Faserfehlern können — auf die Eigenheiten des Polymeren, auf die Verstreckungsparameter, möglicherweise auch auf andere Phasen der Faserproduktion zurückführbar — andersartige Fehler der Faser auftreten. Darunter sollen die Kurzstrecken-Ungleichmäßigkeiten (Abb. 29/a), Bildung von Oberflächenrissen, Additivagglomerate, die auch Querschnitts-Ungleichmäßigkeiten verursachen können (Abb. 29/b) sowie innerer Strukturfehler (Abb. 29/c) erwähnt werden.

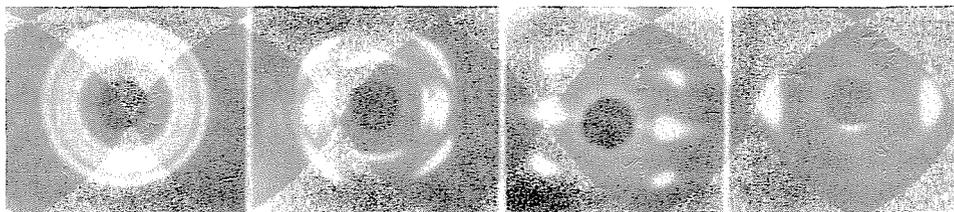


Abb. 28. Röntgendiagramme einer ungestreckten und bei 20 °C gestreckten Polypropylenfasern; a) ungestreckt; b) Streckverhältnis 1 : 1,5; c) Streckverhältnis 1 : 3,5; d) Streckverhältnis 1 : 4,5