

DEUTSCHES PATENTAMT

Postanschrift: Deutsches Patentamt, 8000 München 2

8000 MÜNCHEN 2

ZweiBrückenstraße 12
Fernruddurchwahl (089) 2195
Hausruf

Eingegangen

13. SEP. 1979

P 29 33 025.4

Prof. Dr. Ing. Hans Gerhard Fritz
Böblinger Str. 70

▲
Datum

◀ Aktenzeichen
Bitte
Anmelder und
Aktenzeichen bei
allen Eingaben und
Zahlungen angeben!

7000 Stuttgart 1
Ann.: Dr. H. H. Winter, u.a., F/Fs

◀ Anmelder
Ihr Zeichen

Bibliographie-Mitteilung

Aktenzeichen

B29D 23-04
1600
AT 16.03.79
Bez.: Masseeinlauf- und -verteilerelement für
Extrusionswerkzeuge.-
10150F
2526922D7
Ann.: Winter, Horst Hennig, Dr., 7000 Stutt-
gart; Fritz, Hans-Gerhard, Dr., 7336 Uhin-
gen;-
HrF: gleich Anmelder.
5 G 79 23 289.6 0201

P 29 33 025.4

Die nebenstehende Bibliographie ist - gegebenenfalls mit noch nachzuholenden Ergänzungen - für die Offenlegung der Patentanmeldung vorgesehen. Überprüfen Sie diese Angaben und teilen Sie bitte notwendige Änderungen mit.

Der Aufbau und die Bedeutung der bibliographischen Daten sind auf der Rückseite erläutert.

Die Offenlegung erfolgt nach Ablauf des gemäß § 24 Absatz 3 des Patentgesetzes vorgeschriebenen Zeitraums. Über die Offenlegung werden Sie durch Übersendung einer Offenlegungsschrift unterrichtet.

Bestellungen von Offenlegungs-, Auslege- und Patentschriften können vor dem Ausgabetag beim Schriftenvertrieb der Dienststelle Berlin des Deutschen Patentamts, 1000 Berlin 61, Gitschinerstraße 97-103 nicht entgegengenommen werden. Eine Überwachung vorher eingehender Aufträge kann lediglich erfolgen, wenn mehr als 10 Exemplare einer Schriftensnummer bestellt werden. In diesem Falle wird die Bestellung bei der Festlegung der Druckauflage berücksichtigt. Sonstige Bestellungen, die vor dem genannten Zeitpunkt eingehen, können aus verwaltungstechnischen Gründen nicht überwacht und müssen daher zurückgesandt werden. Es wird daher gebeten, von solchen Bestellungen Abstand zu nehmen.



2002.4 (mit Gbmi.)
.79

Fernruf (089) 21951
Fernschreiber 05-23534

Konten der Zahlstelle:
Postscheckamt München 79191-803 (BLZ 70010080)
Landeszentralbank München 70001054 (BLZ 70000000)

Erläuterung einer Bibliographie

Beispiel:

A 15-31 P 1800001.6
00
.10.68

10.10.67 FR Frankreich 536623

z: Einrichtung zur Umwandlung eines Normalbettes in
1 Doppelbett zur Verwendung in Hotelzimmern.
0904
25675 FR

im: Corbusier geb. Durand, Angele, Paris;
.23 Vtr: Müller, Dipl.-Ing. K., Pat.-Anw., 8000 München;

f: Deutscher, Michel, 1000 Berlin.
GmbH 6800001.1

012 P,

Erläuterung:

A 21A 15-31 P 1800001.6

= Internat. Klassifikation, Aktenzeichen mit Prüfziffer,

3100

= 31 = Patentabteilungskennzahl (gibt die für das spätere Prüfungsverfahren zuständige Patentabteilung an)

00 = einer späteren Ergänzung vorbehalten

AT 01.10.68

= Eingang der Anmeldung (Anmeldetag) 1. Oktober 1968

Pr 10.10.67 FR Frankreich 536623

= Priorität der Voranmeldung 10. Oktober 1967;

Ländercode-Buchstaben;

Land der Voranmeldung;

Aktenzeichen der Voranmeldung

Bez: Einrichtung...

= Bezeichnung der Erfindung

100904 (= 1/009/04)

= 1. Stelle: Code-Ziffer für die Art der Anmeldung

1 = Patentanmeldung

2 = Zusatz zur Patentanmeldung

3 = Ausscheidung aus Patentanmeldung

4 = Ausscheidungsanmeldung als Zusatz

5 = Gbm-Hilfsanmeldung

6 = Ausscheidung als Gbm-Hilfsanmeldung

= 2.-4. Stelle: Blattzahl der eingereichten Unterlagen
(Patentansprüche, Beschreibung, Zeichnungen)

= 5. u. 6. Stelle: Anzahl der eingereichten Patentansprüche

1125675 Fr (= 112567/5/FR)

= siebenstellige Code-Nr. des Anmelders, Ländercode-Buchstaben des Herkunftslands des Anmelders

Anm: Corbusier...

= Anmeldeangaben

0123 Vtr: Müller...

Vertreter-Code-Nr., Vertreterangaben

Erf: Deutscher...

= Erfinderangaben

5 Gbm-6800001.1

= Art der Anmeldung (Gbm-Hilfsanmeldung)

Aktenzeichen der Gbm-Hilfsanmeldung mit Prüfziffer

HINWEISE

Prüfungsverfahren

Die Prüfung des Gegenstandes einer Patentanmeldung auf Patentfähigkeit nach §§ 1, 2 und 4 Abs. 2 des Patentgesetzes wird nur auf besonderen Antrag vorgenommen (§ 28b Abs. 1 Patentgesetz). Der Antrag kann vom Patentsucher und von jedem Dritten bis zum Ablauf von sieben Jahren nach Einreichung der Anmeldung gestellt werden (§ 28b Abs. 2 Patentgesetz). Mit dem Antrag ist eine Gebühr nach dem Tarif zu zahlen; wird sie nicht gezahlt, so gilt der Antrag als nicht gestellt (§ 28b Abs. 3 Patentgesetz). Wird ein Prüfungsantrag nicht innerhalb der gesetzlichen Frist von sieben Jahren nach Einreichung der Anmeldung gestellt, so gilt die Anmeldung als zurückgenommen (§ 35 Abs. 3 Patentgesetz).

Jahresgebühren

Nach § 11 Absatz 1 des Patentgesetzes ist für jede Anmeldung bei Beginn des dritten und jedes folgenden Jahres nach dem auf die Anmeldung folgenden Tag eine Jahresgebühr nach dem Tarif zu entrichten.

Für Zusatzanmeldungen sind keine Jahresgebühren zu entrichten (§ 11 Abs. 2 Patentgesetz).

①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑪ DE 29 33 025 A 1

⑤① Int. Cl. 3:
B 29 D 23/04
B 29 D 7/04

⑳ Aktenzeichen:
㉔ Anmeldetag:
㉕ Offenlegungstag:

P 29 33 025.4-16
16. 8. 79
26. 3. 81

Universität Stuttgart Inst.f.Kunststofftechnologie				
Eing. 2 4. MRZ. 1981				

㉗ Anmelder:
Winter, Horst Hennig, Dr.-Ing., 7000 Stuttgart, DE; Fritz,
Hans-Gerhard, Dr., 7336 Uhingen, DE

㉘ Erfinder:
gleich Anmelder

⑤④ Masseeinlauf- und -verteilerelement für Extrusionswerkzeuge

DE 29 33 025 A 1

E 29 33 025 A 1

1. Extrusionswerkzeug zum Herstellen stranggepreßter Endlosprodukte aus thermoplastischem Kunststoff, bestehend aus einem Massezulaufkanal (1), einem Masseeinlauf- und -verteil-element, das wiederum von einem Verteilerkanal (2) und einem Überströmspalt (3) gebildet wird, sowie einem Düsensystem (7), (8), dadurch gekennzeichnet, daß sowohl im Verteilerkanal (2) als auch im Überströmspalt (3) ähnliche Strömungsformen, nämlich jeweils eine sogen. "ebene Schlitzströmung" verifiziert sind, was dadurch ermöglicht wird, daß der Quotient aus dem Quadrat der mittleren Verteilerkanalbreite b_s und der Verteilerkanalquerschnittsfläche A zumindest in der Umgebung des Verteilerkanaleinlaufs ($0,05 \cdot b_y < x < 0,10 \cdot b_y$) zwischen 4 und 10 liegt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das erfindungsgemäße Masseeinlauf- und -verteil-element in ebener bzw. abgewickelter Form Bestandteil einer Breitschlitzdüse ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das erfindungsgemäße Masseeinlauf- und -verteil-element in aufgewickelter Form (360°) Bestandteil eines Pinolenkopfes ist.

4. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1, 2, 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontur des Masseverteilerkanals (2) exakt oder zumindest in Näherung durch die Differentialgleichung

$$\frac{dy}{dx} = -\sqrt{\frac{b_s(x)}{b_y - x - b_s(x)}}$$

beschrieben wird.

5. Vorrichtung gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Masseverteilerkanal (2) eine konstante Spaltbreite b_s aufweist und seine Kontur durch die Differentialgleichung

$$\frac{dy}{dx} = -\sqrt{\frac{b_s}{b_y - x - b_s}}$$

bzw. die Funktion

2933025

$$y(x) = 2 \cdot \sqrt{b_s} \cdot \sqrt{b_{y-x} - b_s}$$

exakt oder zumindest in Näherung beschrieben wird und gleichzeitig der Verlauf der Verteilerkanaltiefe durch die Funktion

$$h_s(x) = h_y \cdot \sqrt{\frac{b_{y-x}}{b_s}}$$

gegeben ist.

6. Vorrichtung gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis von lokaler Massekanalbreite $b_s(x)$ zu lokaler Massekanaltiefe $h_s(x)$ konstant ist und die Kontur des Verteilerkanals (2) durch die Differentialgleichung

$$\frac{dy}{dx} = - \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{b_{y-x}}{b_{s,1}}\right)^{2/3} - 1}}$$

exakt oder zumindest in Näherung beschrieben wird, worin $b_{s,1} = a \cdot h_y$ ist. Dementsprechend muß die Verteilerkanalbreite $b_s(x)$ durch die Funktion

$$b_s(x) = \left[b_{s,1}^2 \cdot (b_{y-x}) \right]^{1/3}$$

gegeben sein.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1,3 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere der erfindungsgemäßen Masseeinlauf- und -verteil-elemente derart teleskopartig ineinandergeschoben angeordnet werden, daß die Zusammenflußstellen entsprechender Teilströme eine Versatzung von $360^\circ/2 = 180^\circ$ bei 2 Verteilsystemen, von $360^\circ/3 = 120^\circ$ bei 3 Verteilsystemen usw. aufweisen.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß jedem der erfindungsgemäßen Masseeinlauf- und -verteil-elemente ein separater Massezulaufkanal zugeordnet wird, so daß diese Masseeinlauf- und -verteil-elemente mit unterschiedlichen Polymerschmelzen beschickt bzw. beaufschlagt werden können.

Patentanmeldung Masseeinlauf- und -verteilerelement

Die Erfindung bezieht sich auf Extrusionswerkzeuge zur Ausformung warmplastischer Rohre, Schläuche, Hohlprofile, Platten und Bahnen. Gattungsgemäß beinhalten derartige Extrusionswerkzeuge jeweils ein Masseeinlauf- und -verteilerelement, das aus einem Verteilerkanal und einem Überströmspalt besteht, und das, nach der Lehre der Erfindung, erstmals die summarische Erfüllung der folgenden prozeßnotwendigen Forderungen ermöglicht:

- Erzielung einer in Azimutalrichtung (bei Rohrextrusionswerkzeugen) bzw. über der Austrittsspaltbreite (bei Plattenextrusionswerkzeugen) konstanten Plastifikat-Austrittsgeschwindigkeit aus dem Düsenpalt und, damit verbunden, einer konstanten Extrudatwanddicke. Diese Forderung bedeutet, daß der am stromabwärts gelegenen Ende des Masseeinlauf- und -verteilerelements herrschende Massedruck in Umfangsrichtung (bei Rohrextrusionswerkzeugen) bzw. über der Austrittsspaltbreite (bei Plattenextrusionswerkzeugen) konstant sein muß.
- Das das Extrusionswerkzeug durchströmende Plastifikat muß, unabhängig von seiner lokalen Düsenaustrittsposition, gleiche mittlere Verweilzeiten aufweisen.
- Die in Umfangsrichtung (bei Rohrextrusionswerkzeugen) bzw. über der Austrittsspaltbreite (bei Plattenextrusionswerkzeugen) konstante Extrudatwanddicke muß unabhängig vom Massedurchsatz und von Stoffparametern gewährleistet sein, d.h. die Verteilfunktion des Masseeinlauf- und Verteilerelements muß betriebspunkts- und stoffunabhängig sein.
- An keiner Stelle des Masseeinlauf- und -verteilerelements darf die bei vielen Polymeren auftretende kritische Schergeschwindigkeit $\dot{\gamma}_{krit}$, ab der Wandgleiten einsetzt, überschritten werden.

Vorteilhafterweise kann aufgrund der erfindungsgemäßen Gestaltung des Masseeinlauf- und -verteillements sowohl für Platten- als auch Rohrextrusionswerkzeuge eine identische Auslegungskonzeption gewählt werden, mit dem einzigen Unterschied, daß das gesamte aus Verteilerkanal und Überströmspalt bestehende System bei Rohrköpfen in der Version sog. Pinolenköpfe auf einen Zylinder über 360° aufgewickelt zu denken ist.

Derartige Pinolenköpfe und Plattendüsen werden mehr oder weniger mangelbehaftet seit Jahren gebaut, wobei die geometrische Auslegung des Plastifikatverteilsystems bislang weitgehend empirisch erfolgte. Der Stand der Technik läßt sich wie folgt umreißen bzw. differenzieren:

- Pinolenköpfe mit einer nur in Azimutalrichtung verlaufenden Ringnut, die einen großen Düsenleitwert aufweist. Das Plastifikat strömt nach dem "Prinzip des überlaufenden Wehres" aus dem Verteilerkanal /1/. Das Flächenprodukte erzeugende Äquivalent hierzu stellt die sog. T-Düsenversion, wie sie bei der Flachfolienextrusion gelegentlich zum Einsatz kommt, dar. Als nachteilig erweisen sich, abgesehen von der in praxi nicht befriedigenden Extrudatwanddickenkonstanz, die sehr unterschiedlichen mittleren Plastifikatverweilzeiten und die unvermeidbar hohen Selbstreinigungszeiten.
- Pinolenköpfe mit einer dem Verteilersystem nachgeschalteten Ausgleichsstrecke, deren im Umfang unterschiedliche Spalthöhe verstellbar ist. Beide Maßnahmen sollen zum Ausgleich von Druck- und Strömungsgeschwindigkeitsunterschieden dienen, können aber, wie theoretische Untersuchungen und praktische Versuche zeigten, die eingangs gestellten Forderungen in der Summe nicht erfüllen /2/. Das Äquivalent hierzu ist bei Plattendüsen der justierbare Staubalken.
- Pinolenköpfe mit Herzkurven als Plastifikatleitelemente, bei denen die Steigung der Herzkurvenkontur auch im Bereich der

Zusammenflußstelle der Plastifikatteilströme kleiner unendlich ist /3/. Eine Kombination von Flachschlitz-Verteilerkanal und Überströmspalt ist hier nicht gegeben.

- Pinolenköpfe und Plattendüsen mit einem Verteilerkanal kreisförmigen bzw. kreisähnlichen Querschnitts, dadurch gekennzeichnet, daß der Quotient aus Verteilerkanalbreite b_s zu Verteilerkanaltiefe h_s kleiner/gleich 2 ist ($b_s/h_s \leq 2$), vgl. /4,5,6/. Auch in diesen Fällen weist die Verteilerkanalkontur an der Zusammenflußstelle beim Pinolenkopf bzw. an den zulauffernen Enden bei der Plattendüse keine unendlich große Steigung auf. Zudem ist der lokale Radius R des Verteilerkanals und damit seine lokale Querschnittsfläche an diesen Stellen auf Null abgesunken. Eine derartige Auslegung kann jedoch die Forderung nach einer konstanten Extrudatwanddicke nicht erfüllen. In Einzelfällen (z.B. /4/) bleibt ferner bei der Festlegung der Verteilerkanalkontur unberücksichtigt, daß die Verteilerkanallänge $\Delta s = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} > \Delta x$ ist (vgl. Fig. 1). Ein allein auf die Länge Δx bezogener Druckabfall führt zu einer Materialfehlverteilung insbes. im Bereich der Materialzusammenflußstelle (Pinolenkopf) bzw. im Bereich der Plattendüsen-Randzonen.

Die erfindungsgemäße Gestaltung, Ausführung und Anordnung des vorgeschlagenen Masseeinlauf- und -verteilersystems sowie seine Einsatzmöglichkeiten in Pinolenköpfen und Plattendüsen seien anhand der Abbildungen 1 bis 4 beschrieben. Dabei zeigen

Fig. 1: ein Verteilerkanalsystem mit Überströmspalt und Plastifikatzulauf in Draufsicht (Fig. 1a) und im Querschnitt (Fig. 1b). Ein derartiges Verteilersystem kann zu einem Pinolenkopf (als Abwicklung) oder, bei Verwendung eines axialen Massezulaufs, zu einer Plattendüse gehören.

Fig. 2: das in einen Pinolenkopf integrierte Plastifikat-Verteilersystem in Seitenansicht;

Fig. 3: das erfindungsgemäße Plastifikat-Verteilersystem als Bestandteil einer Platten- bzw. Flachfolien-Breitschlitzdüse und

Fig. 4: den Bereich des Zusammenflusses der Masseteilströme beim Pinolenkopf, der um 180° versetzt ist.

Die erfindungsgemäße Einrichtung gemäß Fig. 1 löst die Aufgabe bzw. erfüllt die eingangs genannten Forderungen dadurch, daß das von einem Plastifizieraggregat (z.B. Extruder) in das Extrusionswerkzeug über einen Massezulauf (1) eingespeiste Plastifikat über den eigentlichen Verteilerkanal (2) unter partiellem, axialem Abströmen durch den Überströmospalt (3) in Azimutalrichtung (bei Pinolenköpfen) bzw. über die Düsenaustrittsspaltbreite (bei Platten- und Flachfilmdüsen) dadurch gleichmäßig verteilt wird, daß die geometrische Auslegung bzw. Abstimmung der das Masseeinlauf- und -verteilerelement bildenden Sektionen Verteilerkanal (2) und Überströmospalt (3) nach folgenden Richtlinien vorgenommen wird: Erfindungsgemäß sind die geometrischen Abmessungen des Verteilerkanals so zu wählen, daß sowohl in ihm als auch im anschließenden Überströmospalt ähnliche Strömungsformen, nämlich jeweils eine sog. "Druckströmung in einem Flachschlitz", verifiziert sind. Dementsprechend muß der Quotient aus dem Quadrat der mittleren Verteilerkanalbreite b_s und der lokalen Verteilerkanalquerschnittsfläche $A(x)$ zumindest im Bereich des Verteilerkanaleinlaufs ($0,05 b_y \times 0,10 b_y$) zwischen 4 und 10 liegen:

$$4 < \frac{b_s^2(x)}{A(x)} < 10 \quad (1)$$

Für $b_s^2/A(x) < 4$ machen sich Seitenwandeinflüsse zu stark bemerkbar, so daß die "ebene Schlitzströmung" nicht mehr verifiziert ist, während bei Werten > 10 die damit verbundene große Axialausdehnung des Verteilerkanals nicht mehr vorteilhaft mit den konstruktiven und betriebstechnischen Möglichkeiten in Einklang zu bringen ist. Bevorzugt sind für das Verteilerkanalsystem Rechteckquerschnitte mit ausgerundeten Ecken gemäß Fig. 1b einsetzbar, jedoch kann auch auf andere Querschnittsformen

7

(z. B. stark gestreckte Ellipse), die das Kriterium $4 < b_s^2/A(x) < 10$ erfüllen, zurückgegriffen werden.

Unter dieser Voraussetzung läßt sich eine vom Durchsatz und Stoffverhalten unabhängige konstante Extrudatwanddicke (Schlauchwand- oder Plattendicke) dadurch erreichen, daß die Geometrien von Verteilerkanal und Überströmspalt so aufeinander abgestimmt sind, daß das Verhältnis der mittleren Plastifikatgeschwindigkeiten im Verteilerkanal (\bar{v}_s) und im Überströmspalt (\bar{v}_y) gleich dem Quotienten aus der lokalen Verteilerkanaltiefe h_s ($h_s = h_s(x)$) und der von x unabhängigen Überströmspaltweite h_y ist:

$$\frac{\bar{v}_s}{\bar{v}_y} = \frac{h_s}{h_y} = \frac{A(x)}{b_s(x) \cdot h_y} \quad (2)$$

Aus dieser Beziehung folgt aus Kontinuitätsgründen für die Verteilerkanal-Querschnittsfläche $A(x)$:

$$A(x) = h_y \cdot \sqrt{b_s(x) \cdot (b_y - x)} \quad (3)$$

Die abgewinkelte Kontur des Verteilerkanals ist ferner so auszuführen, daß über die in Fig. 1a veranschaulichten zugeordneten Längenabschnitte Δy bzw. Δs des Überströmspalt (3) bzw. des Verteilerkanals (2) ein identischer Druckabfall Δp verwirklicht ist (Orthogonalitätsbedingung) und daß die mittlere Verweilzeit auf den verschiedenen Materialwegen gleich ist. Diese Bedingungen werden mit einer Verteilerkontur erfüllt, die durch die folgende Differentialgleichung beschrieben wird:

$$\frac{dy}{dx} = -\sqrt{\frac{b_s(x)}{b_y - x - b_s(x)}} \quad (4)$$

Je nachdem, ob

- a) mit konstanter Verteilerkanalbreite b_s und in x-Richtung abnehmender Kanaltiefe h_s (wobei der Term $b_s^2/A(x)$ von der Ausgangsbedingung $4 < b_s^2/A(x) < 10$ ausgehend in x-Richtung anwächst) oder

b) mit einem konstanten $b_s^2/A(x)$ -Wert, der jedoch die Bedingung $4 < b_s^2/A(x) < 10$ erfüllt, gearbeitet wird (letzteres bedingt ein gemeinsames Abnehmen von b_s und h_s in x-Richtung), ergeben sich damit unter Berücksichtigung von Gleichung (3) spezielle Differentialgleichungen und Lösungen für die Verteilerkanalkontur, nämlich im

Fall a):

Differentialgleichung: $\frac{dy}{dx} = -\sqrt{\frac{b_s}{b_y - x - b_s}}$ (5a)

Lösung: $y = 2 \cdot \sqrt{b_s} \cdot \sqrt{b_y - x - b_s}$ (5b)

Unter der Voraussetzung eines rechteckigen Verteilerkanals wird bei dieser Verteilerkanalkontur der Kanaltiefenverlauf durch die Beziehung

$$h_s(x) = h_y \cdot \sqrt{\frac{b_y - x}{b_s}}$$
 (5c)

beschrieben. Andererseits ergibt sich für den

Fall b):

Differentialgleichung: $\frac{dy}{dx} = -\sqrt{\frac{1}{\left(\frac{b_y - x}{b_{s,1}}\right)^{2/3} - 1}}$ (6a)

worin $b_{s,1} = a \cdot h_y$ (6b)

und $a = b_s(x)/h_s(x) = \text{konst.}$ (6c)

sowie $b_s(x) = [b_{s,1}^2 \cdot (b_y - x)]^{1/3}$ (6d)

Fig. 2 zeigt als Anwendungsbeispiel einen Schnitt durch einen Pinolenkopf, der das erfindungsgemäße Masseeinlauf- und -verteilerelement enthält. Das Plastifikat durchströmt, vom Plastifizieraggregat kommend, den Massezulauf (1) und wird nach Erreichen des Masseeinlauf- und -verteilerelements, das im gezeigten Beispiel aus dem Masseumlenkstück (4) und dem eigentlichen Masseverteiler (5) zusammengesetzt ist, in dem Masseumlenkstück (4) um 90° in die Pinolenkopf-Axialrichtung umgelenkt. Die Kunststoffschmelze

durchströmt anschließend den die erfindungsgemäße Kontur aufweisenden Verteilerkanal (2) unter partiellem, axialem Abströmen durch den Überströmspalt (3). Durch die erfindungsgemäße Gestaltung der Kombination Verteilerkanal/Überströmspalt entsprechend obenstehender Beschreibung ist der Massedruck in der Schnittebene x-x in Umfangsrichtung absolut konstant, woraus von der Azimutalkoordinate unabhängige, axiale Strömungsgeschwindigkeiten und damit konstante Schlauchwanddicken resultieren. Vorteilhafterweise wird dem eigentlichen Masseverteiler (5) ein sog. Bügelspalt (6) (Spaltlänge L_B) nachgeschaltet. Das Plastifikat durchströmt anschließend den von Düse (7) und Dorn (8) gebildeten Düsenaustrittsspalt (9), der eine konstante Spaltweite aufweist, und verläßt das Extrusionswerkzeug als stranggepreßtes Hohlprofil, bevorzugt als Rohr bzw. in Form eines schlauchförmigen Vorformlings.

Fig. 3 zeigt diejenige Hälfte einer Breitschlitzdüse in Draufsicht, in die das erfindungsgemäße Masseeinlauf- und -verteilerelement eingearbeitet ist. Das Plastifikat strömt über den Massezulauf (1) durch den Verteilerkanal (2) unter partiellem, axialem Abströmen durch den Überströmspalt (3). An der Stelle $y = 0$ läuft die Kanaltiefe h_s des Verteilerkanals (2) erfindungsgemäß auf die Überströmspaltweite h_y aus, so daß im Bügelspalt (6) über der gesamten Breite $B = 2 \cdot b_y$ eine einheitliche Spaltweite vorliegt.

Fig. 4 zeigt als (abgewickelten) Ausschnitt die Zusammenflußstelle der Teilströme bei einem Pinolenkopf, der das erfindungsgemäße Masseeinlauf- und -umlenkelement enthält. An der Stelle $x = b_y$ ($\hat{=} \varphi = 180^\circ$) berührt sich die Außenkontur des aufgewickelten Verteilerkanals (2). Da der Verteilerkanal bei $x = b_y$ mit einer unendlichen Steigung endet, kann es in maschinenbaulicher und fertigungstechnischer Hinsicht von Vorteil sein, die in Fig. 4 gestrichelt eingezeichnete Verteilerkanalaußenkontur zu wählen, ohne daß die Massegleichverteilung zu stark darunter leidet. Außerdem ist die nachgeschaltete Bügelzone (6) angedeutet.

Ferner ist bekannt /7/, daß bei Pinolenköpfen zur Verbesserung

des anzustrebenden einheitlichen Dehnverhaltens (z.B. während des Aufblasvorgangs beim Hohlkörperblasen) zwei oder mehrere Herzkurven teleskopartig ineinandergeschoben derart angeordnet sind, daß die aus den jeweiligen Zusammenflußstellen der Teilströme resultierenden Schweißnähte jeweils um 180° (bei 2 Herzkurven) bzw. um 120° (bei 3 Herzkurven) versetzt zueinander im stranggepreßten Hohlprofil wiederzufinden sind, mit dem Vorteil, daß sich keine der als Schwachstellen wirkenden Schweißnähte über die gesamte Hohlprofilwandung erstreckt. In konsequenter Fortführung dieses Gedankens wird vorgeschlagen, anstelle der Herzkurven das hier erfindungsgemäß beschriebene Masseinlauf- und -verteilerelement in doppelter oder dreifacher Ausführung teleskopartig ineinandergeschoben anzuwenden, mit dem wesentlichen Vorteil, daß neben dem angestrebten Schweißnahtversatz eine im Vergleich zu bestehenden Systemen wesentlich verbesserte Gesamtschlauchwanddickenverteilung erzielt wird.

Ein derartiges Extrusionswerkzeug-Konzept der zuletzt beschriebenen Art kann dann vorteilhafterweise zur Extrusion zwei- oder mehrschichtiger Schläuche und Röhre eingesetzt werden, wenn jedem erfindungsgemäßen Masseinlauf- und -verteilerelement ein separater Massezulaufkanal zugeordnet wird. Das Ergebnis sind aus unterschiedlichen Polymeren coextrudierte Produkte mit bestmöglicher Wanddickenverteilung am Umfang.

In Betracht gezogene Literaturstellen

- 11
- /1/ Plajer, O.: Werkzeuge für Blasformen.
Kunststoffbücherei Bd. 9, 1968,
Zechner & Hüthig Verlag, Mainz, S.90.
- /2/ Schenkel, G.: Rheologische Formgebung einfacher-
Spritzwerkzeuge.
Kunststoffe 49 (1959), Nr. 4, S.201-207
und Nr. 5, S.252-256.
- /3/ DAS 1.212.716, insbes. Fig. 3,4.
- /4/ Görmar, E.H.: Dissertation 1968 an der RWTH Aachen.
- /5/ -Schönewald, H.: Kunststoffe 68 (1978) Nr. 4, S.238-243.
- /6/ Wortberg, J.: Berechnen von Extrudierwerkzeugen.
VDI Verlag (1978), S.97-126.
- /7/ DOS 2.100.192.

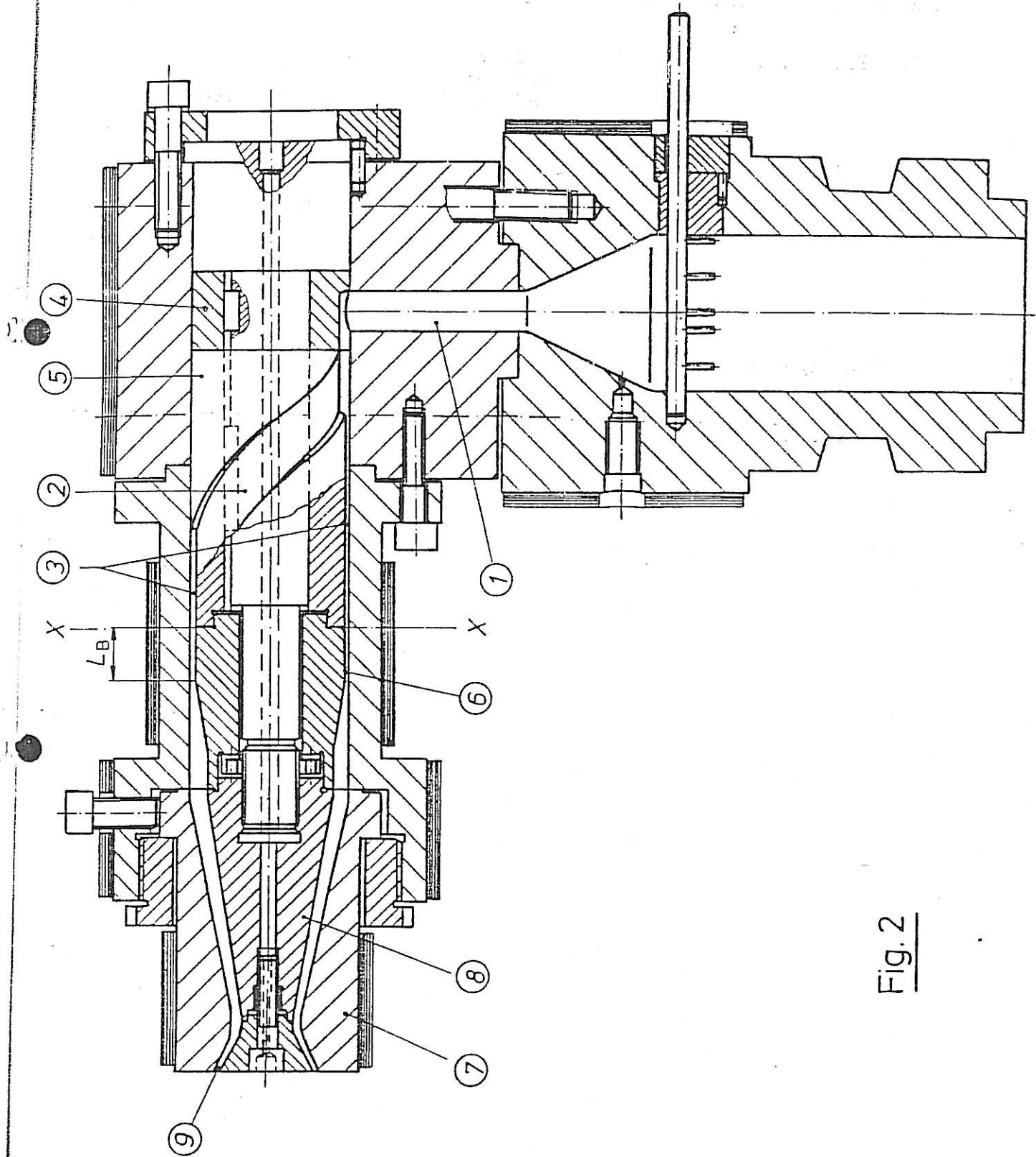


Fig. 2

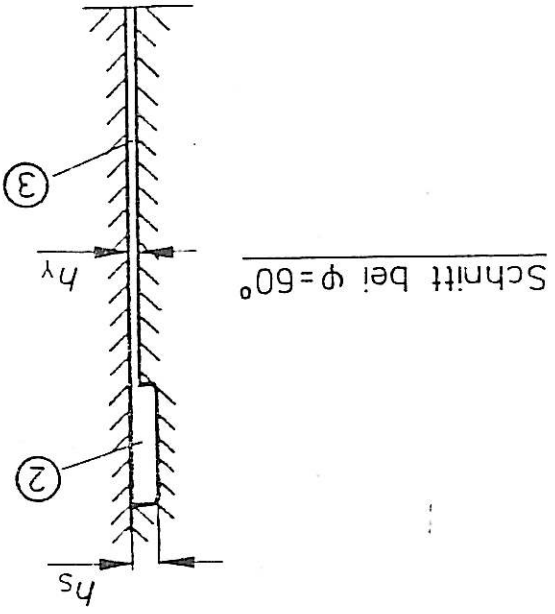


Fig. 1b

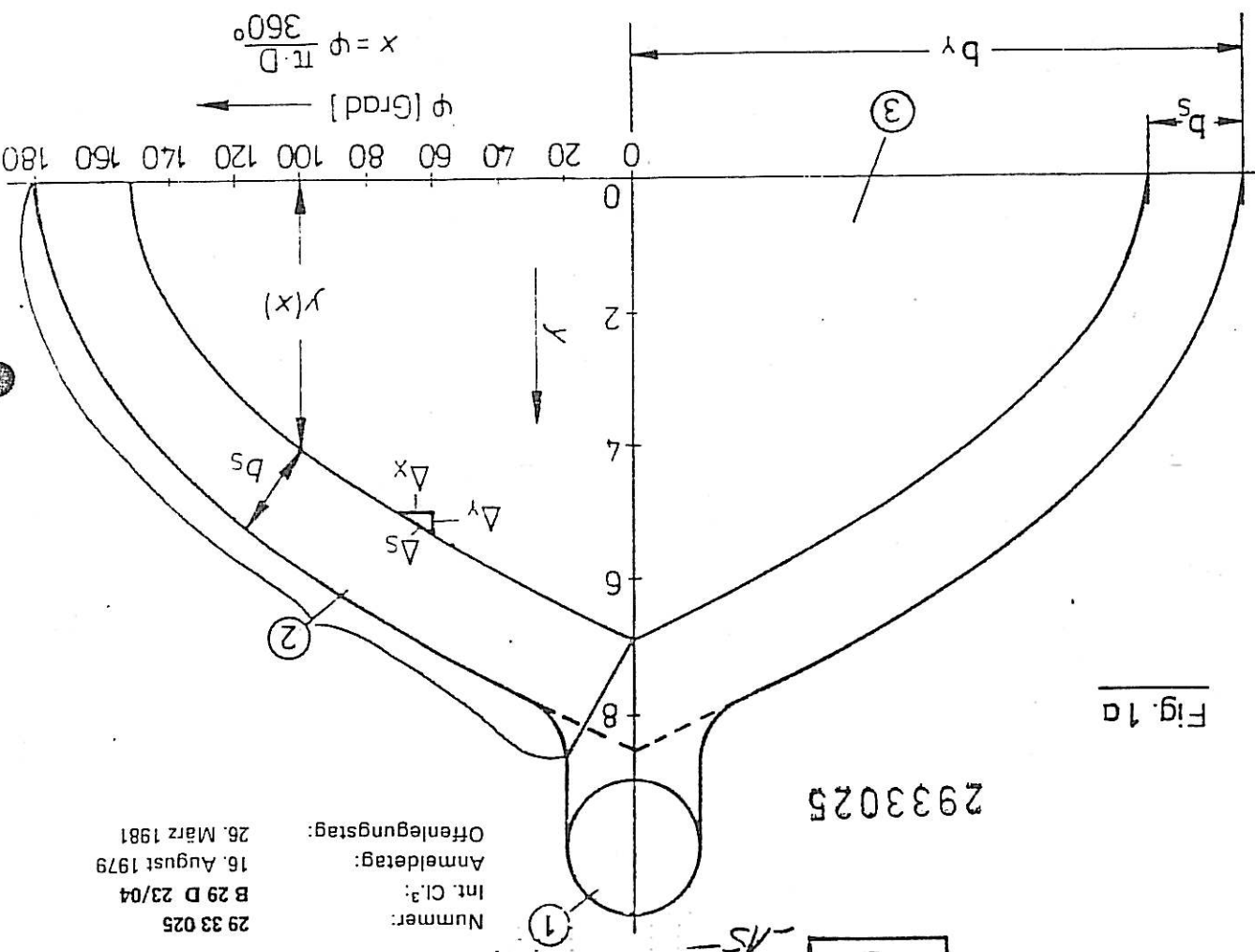


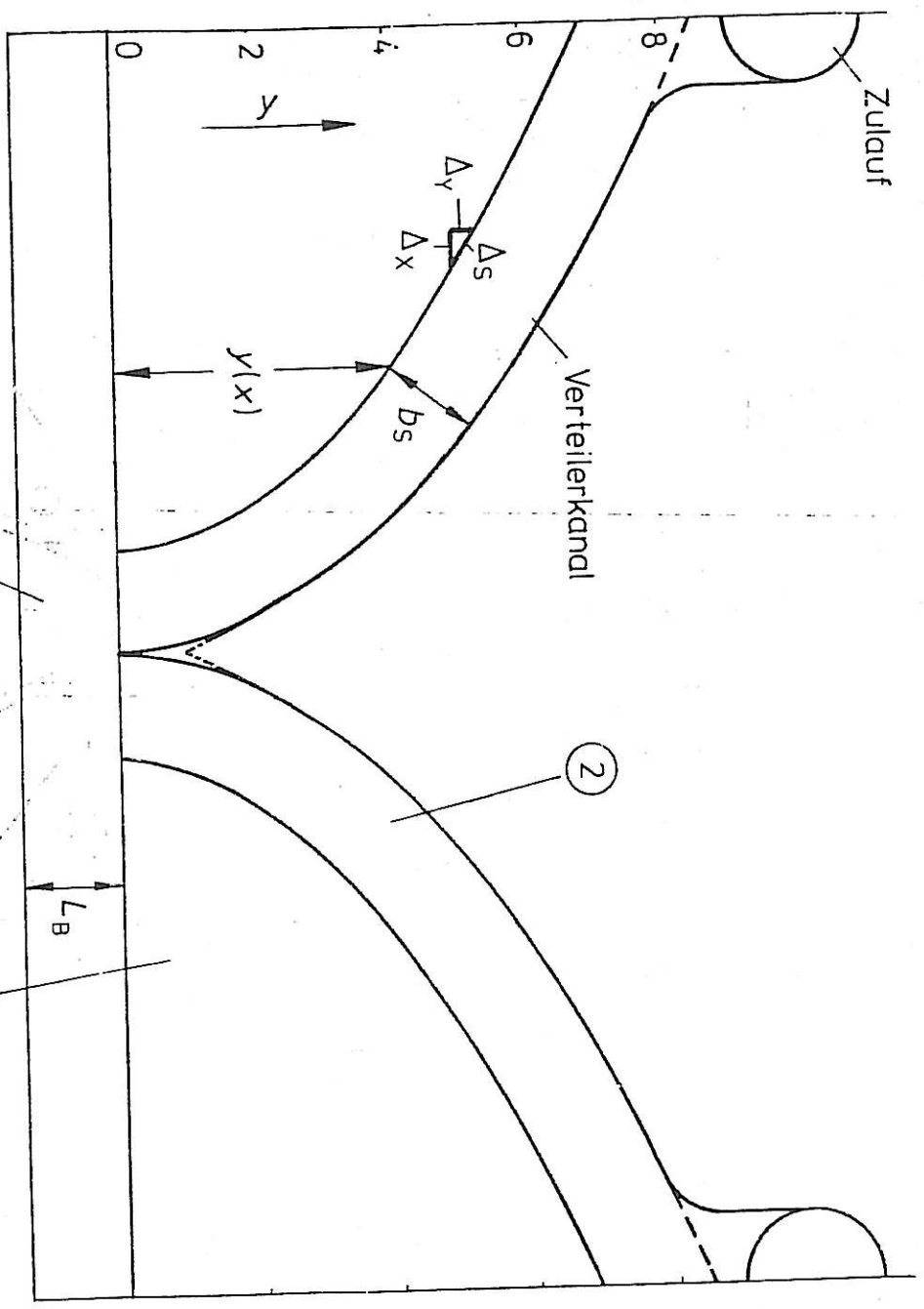
Fig. 1a

2933025

Fig. 1

Nummer: 29 33 025
 Int. Cl.³: B 29 D 23/04
 Anmeldetag: 16. August 1979
 Offenlegungstag: 26. März 1981

6



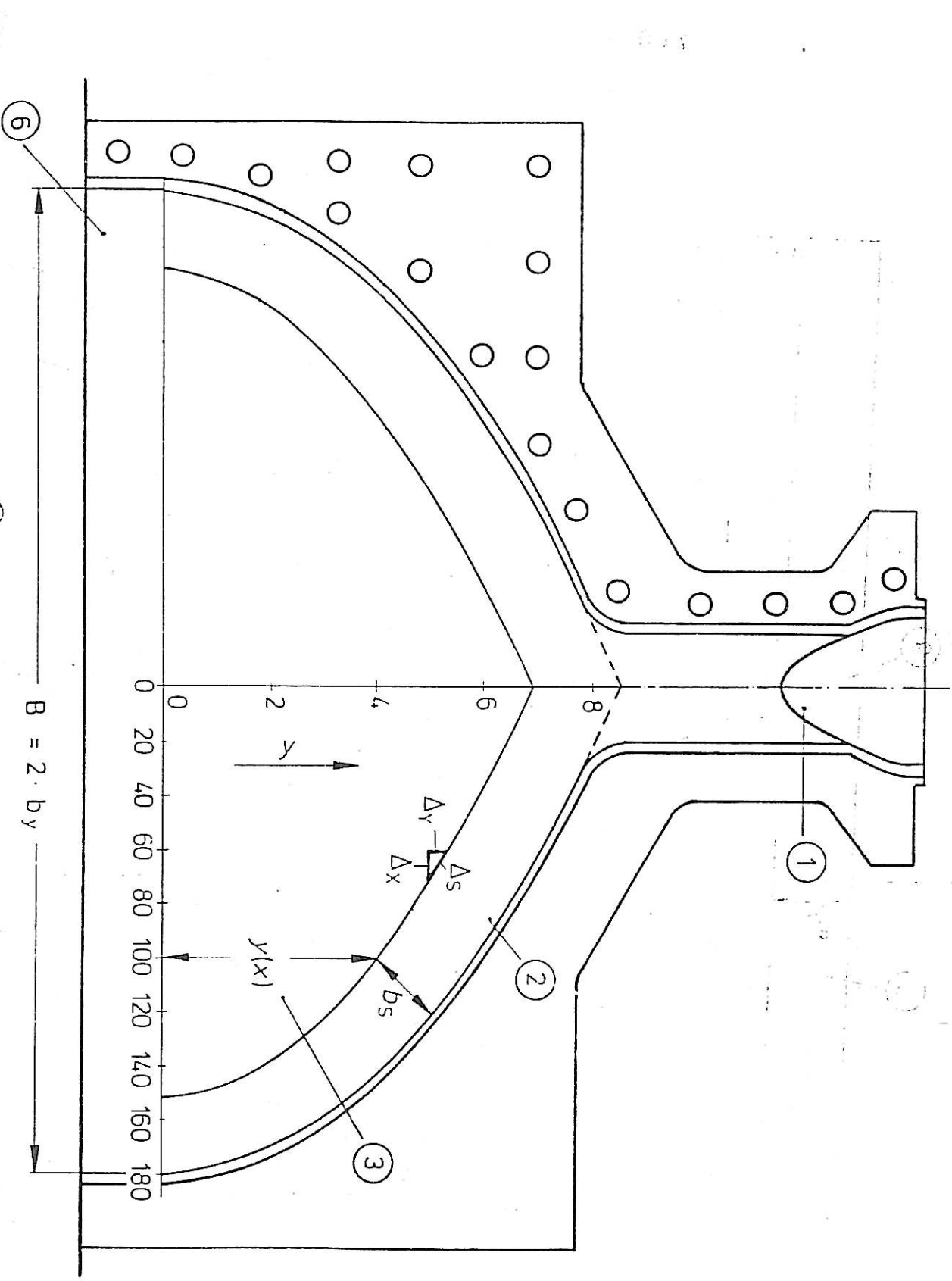
130013/0141

Fig. 4

2933025

-14-

Fig. 3



2933025

Design of Dies for the Extrusion of Sheets and Annular Parisons: The Distribution Problem

H. H. WINTER

*Department of Chemical Engineering and
Department of Polymer Science and Engineering
University of Massachusetts
Amherst, Massachusetts 01003*

and

H. G. FRITZ

*University of Stuttgart
Institut für Kunststofftechnologie
Böblingerstr. 70
7 Stuttgart-1, West Germany*

A systematic design of the classical "coat hanger" die is proposed and tested experimentally. The objectives of the design are 1. distribution of the polymer over the width of the die before it reaches the final lip section for thickness adjustment, 2. invariance of distribution to flow rate, 3. invariance to changes in polymer viscosity, and 4. uniform average residence time. The die design is based on a flow model which assumes power-law viscosity, steady shear flow in each cross-section, uniform temperature, and separation of the flows into a manifold component and a component in a slit section of uniform height. The design corrects for an oversimplification of the pressure gradient that was applied in previous studies; and it differs from previous designs by suggesting a rectangular cross-section for the manifold. Applications to side-fed dies for extrusion blow molding and to a sheet extrusion die achieved uniform distribution and did not require any additional flow corrections (such as choker bars or flexible lips). With the new design, the lip region of the die can freely be used for thickness control, fine tuning, or further shaping of the extrudate.

INTRODUCTION

Extrusion die design has the objective to find the optimal geometry of a flow channel that shapes a continuous polymer stream into an extrudate of prescribed cross-section and microstructure. Several criteria can be defined for selecting optimal geometry (1). Of these, this study is solely concerned with the distribution problem, a special component of die design which is important for the extrusion of large aspect ratio (width/height $\gg 1$) extrudates: the flow rate per unit die width has to be uniform across the die exit. Examples of such extrudates are sheets, films, pipes, and annular parisons for blow molding. In the following, these dies will be called "large aspect ratio extrusion dies" (LARED). The given geometrical data are the

cross-section at the die inlet and the cross-section of the polymer extrudate (which is different than the cross-section of the die exit). The distribution of the polymer in the die occurs through pressure flow, with a high pressure at the die inlet and a negative pressure gradient in flow direction.

Several important aspects of die design are not covered here, such as swelling (2), development of macromolecular orientation (3), uniformity of strain history, non-uniform temperature and viscous dissipation (4), multilayer extrusion (5), melt fracture, manufacturing, and stiffness of the hardware.

LARED are conveniently composed of two geometrical regions, a wide manifold of low flow resistance, and a narrow slit region (gap thickness h) of high flow resistance. The polymer

flows from the extruder into the manifold, and from there into the slit region. The most common designs of sheet extrusion dies are the "coat hanger" die as shown in Fig. 1 and the "T-bar" die (6, 7). The name of the designs mimics the shape of the manifold. An alternative distribution system by Rothermeyer (8) found application only in extrusion of thick sheets. Cross-head dies, (9, 10) which are side-fed extrusion dies for extruding annular shapes, require the same design considerations with respect of the distribution problem as sheet extrusion dies.

The "coat hanger" die has been studied widely (5, 11-17). These derivations, however, are based on an over simplified momentum balance that results in a reduced flow rate at the outer edge of the distribution system. Additional flow resistors ("choke bars" or flexible die lips with adjustable resistance over the die width) were necessary to further the distribution of the polymer.

The objective of this study is to find a systematic design procedure for a distribution system that gives better uniformity of flow, i.e., uniform exit velocity and uniform average residence time over the die width. This uniformity should preferably be achieved with a die geometry that is independent of flow rate or polymer viscosity. The following derivation is valid for planar and for axisymmetric extrusion geometries. In the axisymmetric case, we neglect the influence of curvature.

FLOW MODEL OF LARED

The objective of the following model is to find the geometry of a distribution system of LARED. Given are the polymer flow properties (power law viscosity at uniform temperature), the width of distribution system, $2b$, and the volume flow rate

$$Q = 2bh\bar{v}_s \quad (1)$$

During the following design procedure, the height of the slit, h , will be assumed to be given. h is prescribed by the flow rate of fluid and by a suitable choice of the wall shear rate in the slit region (see Eq 10). The maximum possible

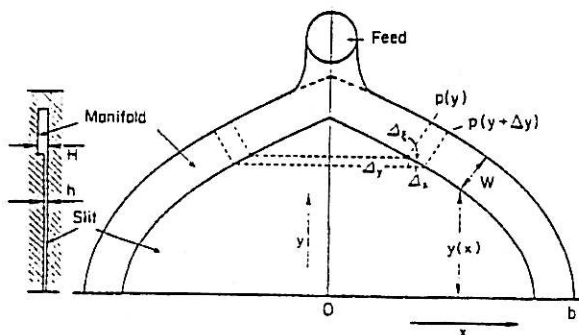


Fig. 1. Sketch of "coat hanger" distribution system with wide manifold and narrow slit flow region.

shear rate is given by the onset of elastic flow instabilities ("melt fracture"). Note that the slit height is not necessarily equal to the thickness of the extruded sheet or profile. The final thickness adjustment occurs (or should occur) in a separate die section, downstream of the distribution system.

The distribution system consists of a deep manifold of low flow resistance and a narrow slit region of high flow resistance, as shown in Fig. 1. The flow rate in the manifold decreases with increasing x . A simple mass balance prescribes that the rate of material passing through the manifold at position x , $Q_m(x)$, is equal to the rate of material which exits the system between x and b . At constant density, the local flow rate in the manifold is

$$Q_m(x) = A(x)\bar{v}_m = (b-x)h\bar{v}_s \quad (2)$$

where \bar{v}_m and \bar{v}_s are the average velocities in the manifold and in the slit. $A(x)$ is the cross-section of the manifold.

For the momentum balance, we assume that the discharge from the manifold into the slit region does not significantly influence the pressure gradient in the manifold. The pressure gradient normal to a cross section of the manifold is taken to be constant throughout the cross section. It is further assumed that the flow in the slit region occurs strictly in y -direction. Normal to the flow direction, lines of constant pressure can be drawn, as shown in Fig. 1. This relates the pressure gradient in the slit region with that in the manifold by

$$\left(\frac{dp}{dy}\right)_s = \left(\frac{dp}{d\xi}\right)_m \frac{\Delta\xi}{\Delta y} \quad (3)$$

with $\Delta\xi$ being the small length element in manifold direction which corresponds to the length element Δy in y -direction

$$\Delta\xi = \Delta y \sqrt{1 + (dy/dx)^2} \quad (4)$$

The derivative dy/dx is the slope of the contour line $y(x)$ in Fig. 1. In previous models of the distribution system (5, 11, 12, 15), this contribution of the slope has been neglected by approximating $\Delta\xi \approx \Delta x$; the resulting error is extremely large at the ends of the manifold, $x \rightarrow b$, where the slope is large. This model, however, includes the effects of the sloped manifold. This is the main reason why this distribution system has a much different geometry and why it seems to distribute the material much more uniformly than previously published designs. Combining the two above equations relates the pressure gradients to the slope of the contour line

$$dy/dx = - \left[\frac{\left(\frac{dp}{dy}\right)_s}{\left(\frac{dp}{d\xi}\right)_m} - 1 \right]^{-1/2} \quad (5)$$

Equations 2 and 5 are the basic design equations. Some general conclusions can be drawn already:

- The slope of the manifold, dy/dx , depends on the shape and cross-sectional area of the manifold.
- A short die (small y) requires a small slope dy/dx . This can be achieved through a pressure gradient in the manifold that is much smaller than the pressure gradient in the slit.
- The pressure gradient in the slit is not free to choose. It depends on the operating conditions, the depth of the slit region, and the onset of elastic flow instability.
- One more condition is free to choose for making the design complete. Possible choices are constant slope of manifold ($dy/dx = \text{const.}$), uniform shear rate at the walls of manifold and of slit region, or uniform average residence time in the distribution system.

Two different methods are obvious for continuation of the design procedure. In the first method, one chooses a slope, dy/dx , as a function of x . This specifies the pressure gradient in the manifold and the manifold cross section. This design has been investigated by Vergnes *et al.* (18, 19) who chose a manifold of constant slope. In the second method, one prescribes uniform wall shear rate at manifold and slit, eliminates the pressure gradient in Eq 5, and integrates to get the contour $y(x)$. In the following, we will use this second design method.

Power-law Viscosity

The pressure gradient and the shear rate at the wall of manifold and slit region are described with a very simplified flow model. The viscosity is given by a power law

$$\eta = \eta^0 |\dot{\gamma}/\dot{\gamma}^0|^{n-1} \quad (6)$$

with a reference viscosity, η^0 , at the reference shear rate, $\dot{\gamma}^0$, and a power law exponent, n . The flow is modeled by isothermal steady shear flow in a channel of constant cross section. For simple cross sectional geometries, the pressure gradient in flow direction and the shear rate at the wall are calculated as

$$\text{circular: } p' = -\frac{2\eta^0 \dot{\gamma}^0}{R} (-\dot{\gamma}_w/\dot{\gamma}^0)^n, \quad (7)$$

$$\dot{\gamma}_w = -(1/n + 3)2\bar{v}/R, \quad (8)$$

$$\text{slit: } p' = -\frac{2\eta^0 \dot{\gamma}^0}{h} (-\dot{\gamma}_w/\dot{\gamma}^0)^n, \quad (9)$$

$$\dot{\gamma}_w = -(1/n + 2)2\bar{v}/h. \quad (10)$$

The equations are derived by introducing the power law viscosity into the stress equation of motion. The average velocity, \bar{v} , is defined by the volume flow rate in the channel divided by the channel cross section.

For flow in a rectangular channel, one might define a representative shear rate at the wall, as given in Eq 10, and a pressure gradient

$$p' = -\frac{2\eta^0 \dot{\gamma}^0}{h} (-\dot{\gamma}_w/(f_p \dot{\gamma}^0))^n, \quad f_p \leq 1. \quad (11)$$

The shape factor, f_p , (see Ref 2, Eq (10. 3-27)) depends on the aspect ratio W/H of the rectangular cross section and on the power law exponent. From the following derivations, it will become clear that it is advantageous to choose an aspect ratio of $W/H > 10$. Then, the influence of the side faces of the channel is negligible and the shape factor has a value which is close to unity.

When applying these equations to the design of the distribution system, several more or less severe assumptions have to be introduced:

- lubrication approximation for the tapered manifold;
- the fluid discharge from the manifold into the slit region is assumed to have negligible influence on the flow in either region;
- the curvature of the manifold is assumed to have negligible influence; and
- no slip condition.

For the slight taper of the manifold, the lubrication approximation is very good (Ref. 6, p 224). The fluid discharge introduces a small side component to the flow in the manifold. This velocity component to the side is much smaller than the velocity in manifold direction. Entrance flow effects from the manifold into the slit will be minimized in this design by making the shear rates in manifold and slit region the same. The curvature of the manifold is small over most of the die width. However, it might have a significant influence at the outer edges of the distribution system.

The no-slip condition is satisfied for most polymers. For the case of a finite velocity at the wall, i.e., for slipping, the design has to be reconsidered from the beginning. Slipping will not be discussed in the following.

Specific Choices of Manifold Geometry

Many different cross-sectional shapes of the manifold are conceivable. The manifold with circular cross section or approximations thereof are found in most commercial extrusion dies, while the manifold with rectangular cross section has been introduced only recently (20, 21).

In the following, we will choose specific cross-sectional geometries for the manifold and calculate the corresponding contour lines $y(x)$. Each of the designs is based on Eq 1 to 11 and the corresponding assumptions. The main criteria for the comparison of the different manifold geometries are

- invariance to viscosity change,
- invariance to flow rate, and
- uniform residence time over the width of the die.

These criteria are important in cases where the same die is used for extruding a variety of different polymers and at different extrusion rates. Uniform residence time is advantageous for extruding reacting polymers or for achieving short self cleaning time when changing the extrusion material.

CASE 1: CIRCULAR MANIFOLD

For modeling LARED, the most common choice of cross-sectional shape is the circle. Knappe and Schönwald (12) suggested to choose a uniform shear rate at the walls of manifold and slit. With this condition, they attempt to make the design invariant to viscosity changes. Equations 8 and 10 for the shear rate at the wall of manifold and slit are set equal. The ratio of the average velocities is replaced by Eq 2, and we find the manifold radius

$$R(x) = h \left[\frac{(b-x)(1+3n)}{\pi h(1+2n)} \right]^{1/3} \quad (12)$$

The slope of the manifold is found by introducing Eqs 7 and 9 into Eq 5. Integration gives a contour

$$y(x) = \frac{3Bb}{2} \left[\frac{\sqrt{1+g(x)}}{g(x)} - \frac{1}{2} \ln \frac{\sqrt{1+g(x)}-1}{\sqrt{1+g(x)}+1} \right] + C \quad (13)$$

for $x/b \leq (1-B)$

$$\text{with } g(x) = ((R/h)^2 - 1)^{-1}; \quad B = \frac{\pi h}{b} \frac{1+2n}{1+3n}$$

The choice of the integration constant, C , depends on the geometry of the manifold at the outer edge, $y = 0$. With $R = h$ at the outer edge, the integration constant becomes zero.

The manifold geometry is independent of the viscosity level, η^0 . However, it depends on the magnitude of the power-law exponent, n . We have to search further to achieve invariance to material changes.

CASE 2: RECTANGULAR MANIFOLD

The most natural geometry for the manifold seems to be the slit cross section (20). With this choice, the flow in the manifold is similar to the flow in the slit region. Changes of viscosity or of flow rate affect the flow in the two regions in the same way. As a result, the die geometry is insensitive to material changes or to changes in processing conditions.

The ratio of the pressure gradients in manifold and slit region are independent of viscosity, if

$$\dot{\gamma}_s = \dot{\gamma}_m / f_p \quad (14)$$

This can be rearranged using Eq 10 twice, once for the manifold and a second time for the slit region. Equating these two equations gives a relation between average velocities and manifold cross section. The average velocities are eliminated using Eq 2, and we obtain an expression for the manifold depth

$$H = h[(b-x)/(f_p(x)W(x))]^{1/2} \quad (15)$$

With Eqs 9 and 11, the equation of the manifold slope becomes

$$dy/dx = -[(b-x)/(f_p(x)W(x)) - 1]^{-1/2} \quad (16)$$

For a manifold of constant width, W , the geometry is given by

$$H(x) = h\sqrt{(b-x)/(Wf_p(x))} \quad (17)$$

and a contour which can be calculated analytically as

$$y(x) = 2W\sqrt{(b-x)/W - 1}; \quad f_p = 1 \quad (18)$$

The dimensionless parameter of the solution

$$D = W/b$$

is given by the flowrate and the maximum shear rate at the wall which should be determined in a separate experiment with a slit flow rheometer.

For a manifold of constant aspect ratio, $W/H = a$, the manifold has the side faces

$$H(x) = h[(b-x)/(af_p h)]^{1/3} \quad (19)$$

$$W(x) = aH(x) = [a^2 h^2 (b-x)/f_p]^{1/3} \quad (20)$$

The contour line is given by Eq 13, however with a function

$$g(x) = [(H(x)/h)^2 - 1]^{-1} \quad (21)$$

The integration constant is equal to zero, $C = 0$, given by the choice $H(x) = h$ at $y = 0$. The dimensionless parameter of the solution is defined as

$$B = ahf_p/b \quad (22)$$

For a wide manifold, $W \gg H$, the shape factor f_p is unity and the manifold becomes independent of the power-law exponent.

Uniform Average Residence Time

For some applications, it is advantageous to have uniform average residence time of material in the distribution system. Examples are reactive extrusion and rapid material change during extrusion. The residence time for an increment of manifold, $\Delta\xi$, has to be the same as the residence time for an equivalent increment of the slit, Δy :

$$\Delta t = \frac{\Delta y}{\bar{v}_s} = \frac{\Delta\xi}{\bar{v}_m} \quad (23)$$

The two displacements are related by Eq 3. Uniform average residence time is achieved with a contour slope.

$$\frac{dy}{dx} = - \frac{1}{\sqrt{(\bar{v}_m/\bar{v}_s)^2 - 1}} \quad (24)$$

Comparison of Eqs 3 and 23 show that the velocity is related to the pressure gradient by

$$\frac{(dp/dy)_s}{(dp/d\xi)_m} = \frac{\bar{v}_m}{\bar{v}_s} \quad (25)$$

This condition is already satisfied for the rectangular manifold with $f_p = 1$ and uniform wall shear rate. For the circular manifold, in comparison, it is not possible to achieve uniform residence time and uniform wall shear rate.

Summary of the Model

In summary, the model gives three different design equations for the geometry of the manifold

- a) Eqs 12 and 13 for the circular cross section,
- b) Eqs 17 and 18 for the rectangular cross section of constant width W , and
- c) Eqs 13, 21, and 22 for the rectangular cross section of constant aspect ratio $a = W/H$.

The design equations for the circular manifold depend strongly on the power law exponent. This is a major disadvantage of the conventional design since each polymer requires a different die geometry. This inherent problem is resolved with a manifold of rectangular cross-section. The design equations for the rectangular manifold are independent of the power law parameters if the shape factor, f_p , is approaching unity. This is the case for cross-sections with a large aspect ratio, $W/H > 10$.

INFLUENCE OF DESIGN PARAMETERS

The die geometry is largely dependent on the choice of design parameters such as the aspect ratio of the manifold and the depth of the slit region. These design parameters have been varied over a wide range with the objective to achieve short extrusion dies, (small $y(0)$), as required for very wide dies, (large b). For small sheet extrusion dies, blow molding dies, or wire coating dies it is not as important to find a die geometry of short length $y(0)$. Figure 2 shows the contour line $y(x)$ for a distribution system with a manifold of constant width W . Parameter of the curves is the width of the manifold normalized with the width of the entire distribution system. The shortest die was achieved with the most narrow manifold. A lower limit is, of course, given by $W/H > 10$, which is required to maintain slit flow in the manifold. Otherwise the pressure drop in the manifold has to be calculated using a shape factor f_p below unity.

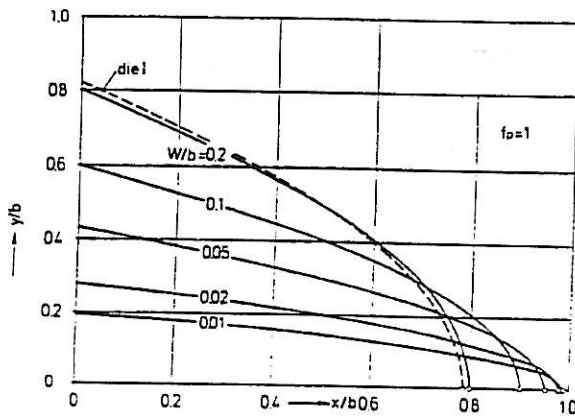


Fig. 2. Calculated contours for manifolds with rectangular cross section of constant width W . The dashed line shows the geometry of the first die of the blow molding applications as discussed below (see Fig. 12).

The influence of the shape factor will be discussed below.

The length of the die depends on a combination of several geometrical parameters as shown in Fig. 3. For a given width of the distribution system, b , the shortest die is found with a small depth of the slit region, h , and a small aspect ratio W/H . This is true for the manifold of constant width and for the manifold of the constant aspect ratio W/H as compared in the figure. The die length was found to depend on a single geometrical parameter, D or B , which is dimensionless. This parameter will be used in the next two figures to describe possible geometries of dies with a manifold of constant aspect ratio $W/H = \text{const}$. Figure 4 shows contour lines as calculated with Eqs 13, 21 and 22. The corresponding depth of the manifold is given in Fig. 5. For manufacturing purposes it is interesting to note that the manifold depth is nearly constant in the center region of the distribution system, and it decreases rapidly near the end of the manifold.

In the first design examples, the influence of

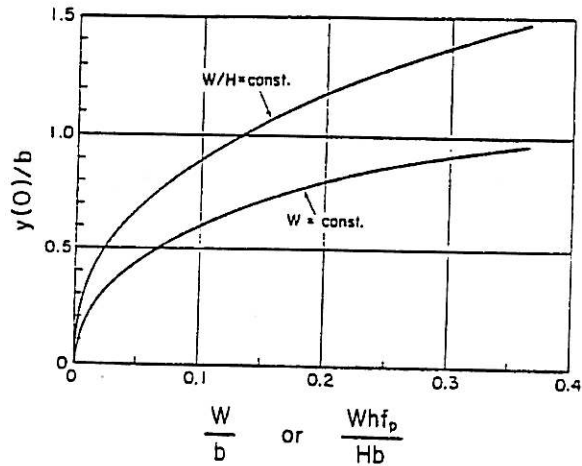


Fig. 3. Length of the slit region for distribution systems with manifolds of rectangular cross sections.

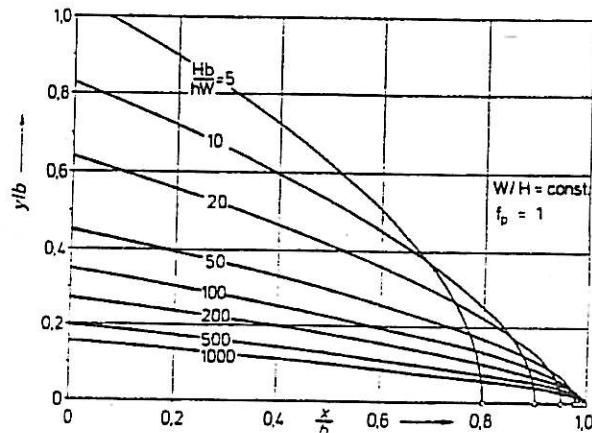


Fig. 4. Contour of manifolds with rectangular cross section of constant aspect ratio W/H . The influence of geometry is given by a single dimensionless parameter.

the side walls of the manifold has been neglected by taking a shape factor $f_p = 1$. This is an oversimplification which leads to significant errors in cases of manifolds with small aspect ratio W/H . The solid lines in Fig. 6 give the length of the die as calculated using a shape factor f_p as given by Tadmor and Gogos (2). In comparison, the dashed line gives the die length as calculated without using the shape factor ($f_p = 1$). Obviously, the error becomes large when the aspect ratio approaches unity. The value of the shape factor depends on the power law exponent of the viscosity. However, influence of the power law exponent is much smaller than the influence of the correction factor f_p , as shown in Fig. 7.

FIRST APPLICATION: DISTRIBUTION SYSTEM FOR PROFILE DIE

A LARED profile extrusion die ($2b = 200$ mm) has been equipped with a distribution system according to Eq 17 and 18. A schematic of the die is given in Fig. 8. In this design, the distribution of polymer and the final shaping operation is separated into a sequence of two independent steps. The distribution of polymer was

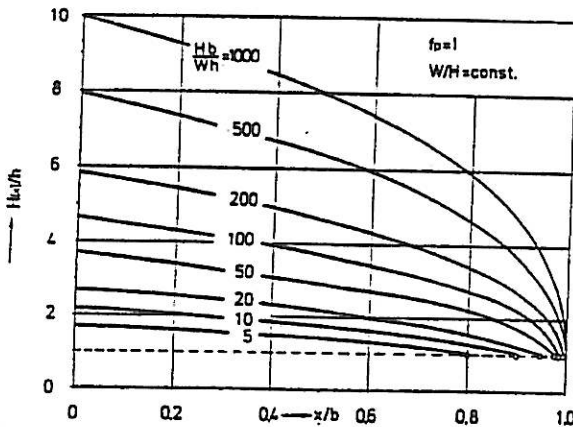


Fig. 5. Depth of manifolds with rectangular cross section of constant aspect ratio W/H .

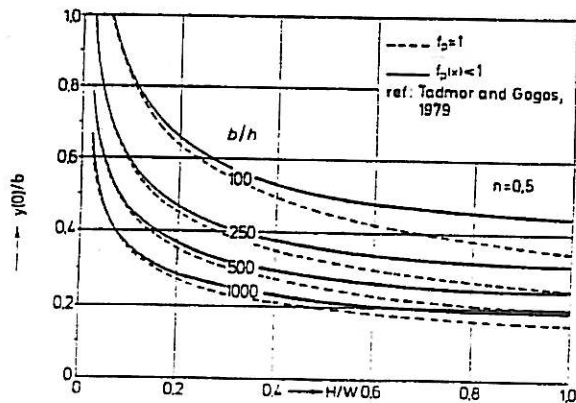


Fig. 6. Calculated die length as a function of geometrical parameters. The solid line accounts for the influence of the sidefaces (use of shape factor). The dashed line is the calculated die length neglecting the influence of the sidefaces of the manifold.

found to be practically uniform over the die width. As seen in Fig. 9, no additional distribution aid was required. The polymer stream directly enters the shaping region of the profile die. The test material was a commercial PP (Vestolen P 2421, Hüls). An extrusion pressure of 65 bar at a temperature of 230°C gave an average extrusion speed of 41 mm/s.

SECOND APPLICATION: BLOW MOLDING DIES

Apparatus and Materials

The model has been applied to the design of a distribution system for the blow molding die of Fig. 10. Three different cores with a diameter $2R = 60$ mm are shown in Fig. 11. The detailed geometry of the distribution system is given in Fig. 12. The distribution system was cut into the inner cylinder (core), while the outer cylinder remained unchanged for the three different dies. Special features of the three dies are the following:

- Die I has a constant manifold width $W = 20$ mm, while the depth decreases from 3.9 mm to the final depth of 1.8 mm in a continuous fashion.

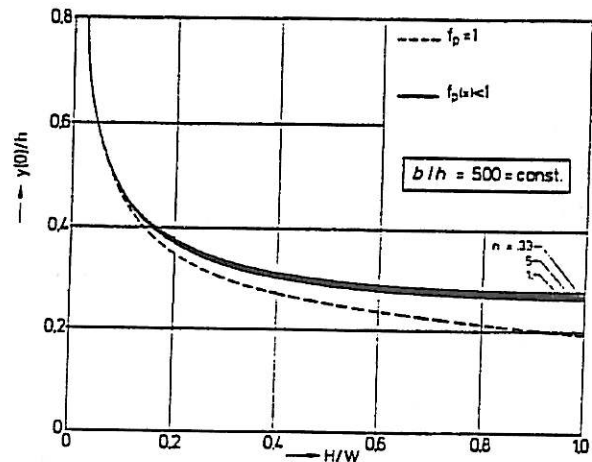


Fig. 7. Influence of the power law exponent on the calculated die length. The manifold width is held constant.

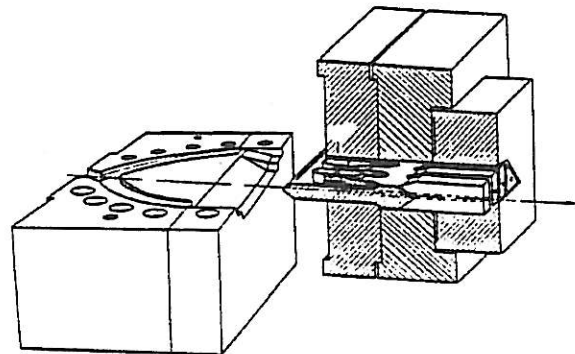


Fig. 8. Sketch of large aspect ratio profile extrusion die which is fed by a separate distribution system.

- The second die, die II, was designed with a manifold of constant aspect ratio, $W/H = 1.5$. With this low value, it is necessary to use a shape factor to correct for the flow resistance of the side walls of the manifold. Die II is shorter and, therefore, has a significantly lower pressure drop and lower length of the slit region compared to die I.
- The design of die III has the objective to overcome the problem of the weld interface between the two streams as they are combined at the end of the manifold. In this design, an overlap region was introduced by increasing the width of the distribution system, $2b$, to a larger value, $2b + W$. Near the weld interface a third stream is generated through a small channel from one of the manifolds. The three streams are recombined to minimize the influence of the weld.

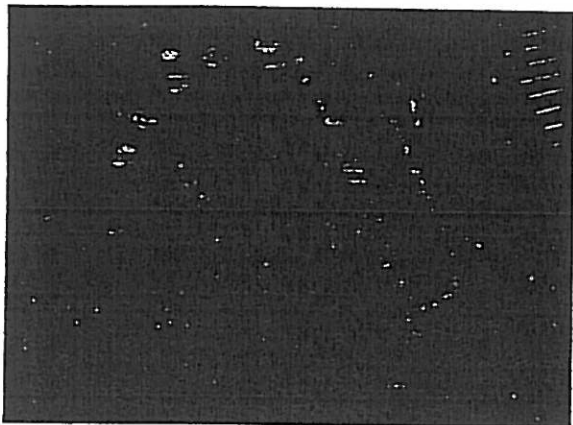


Fig. 9. Distribution system with manifold of constant width as used for profile extrusion.

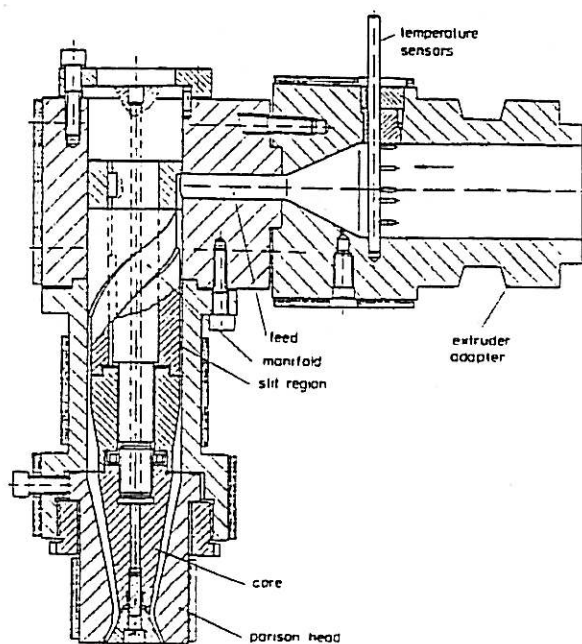


Fig. 10. Cross section of extrusion blow molding die as used in experimental study of distribution model.

Extrusion experiments have been performed with five commercial polymers, four HDPE and one PP. Measured viscosity curves are given in Fig. 13. The power law exponent for the viscosity varied between $[n = 0.2 \text{ and } 0.4]$. The onset of flow instability is marked by the critical shear rate, $\dot{\gamma}_c$.

Experimental Results with Blow Molding Dies

Annular parisons have been extruded from all three dies under variation of polymer, extrusion rate, and die resistance downstream of the distribution system. In the first experiments, the parisons were extruded into a cold silicon oil bath (25°C). After solidification, the circumferential distribution of wall thickness and the swell was measured. The distribution of wall thickness was determined with a mechanical thickness gage. In a second series, bottles were blown from the parisons and again the circumferential wall thickness distribution was measured by infrared absorption (Gawis 1000, Sohlberg Ab, Finland). Experimental observations with the three dies are the following:

- Parisons from die I and die III had a very

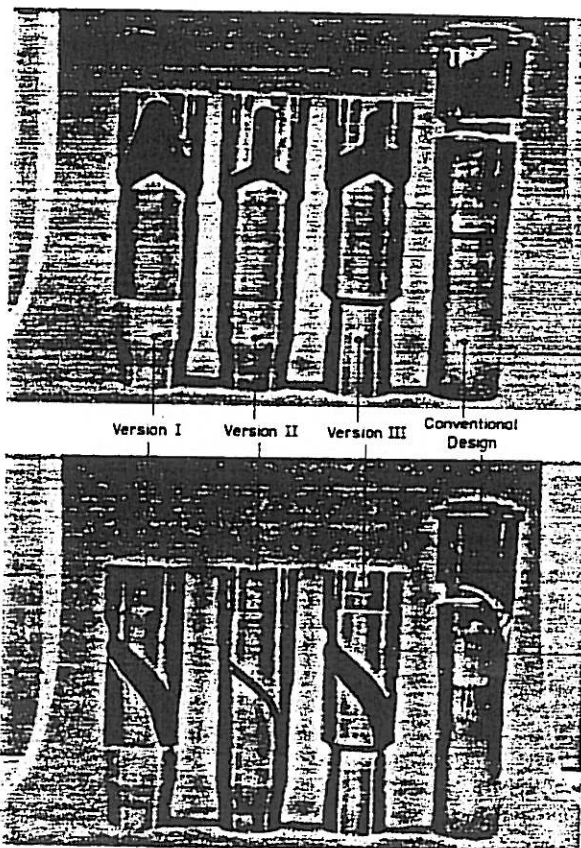


Fig. 11. Four different cores or extrusion blow molding dies (see Fig. 10) are shown in front view (top) and in side view (bottom). The three dies on the left were designed with the flow model of this study. The core on the right side was used in a commercial blow molding die and is shown for comparison.

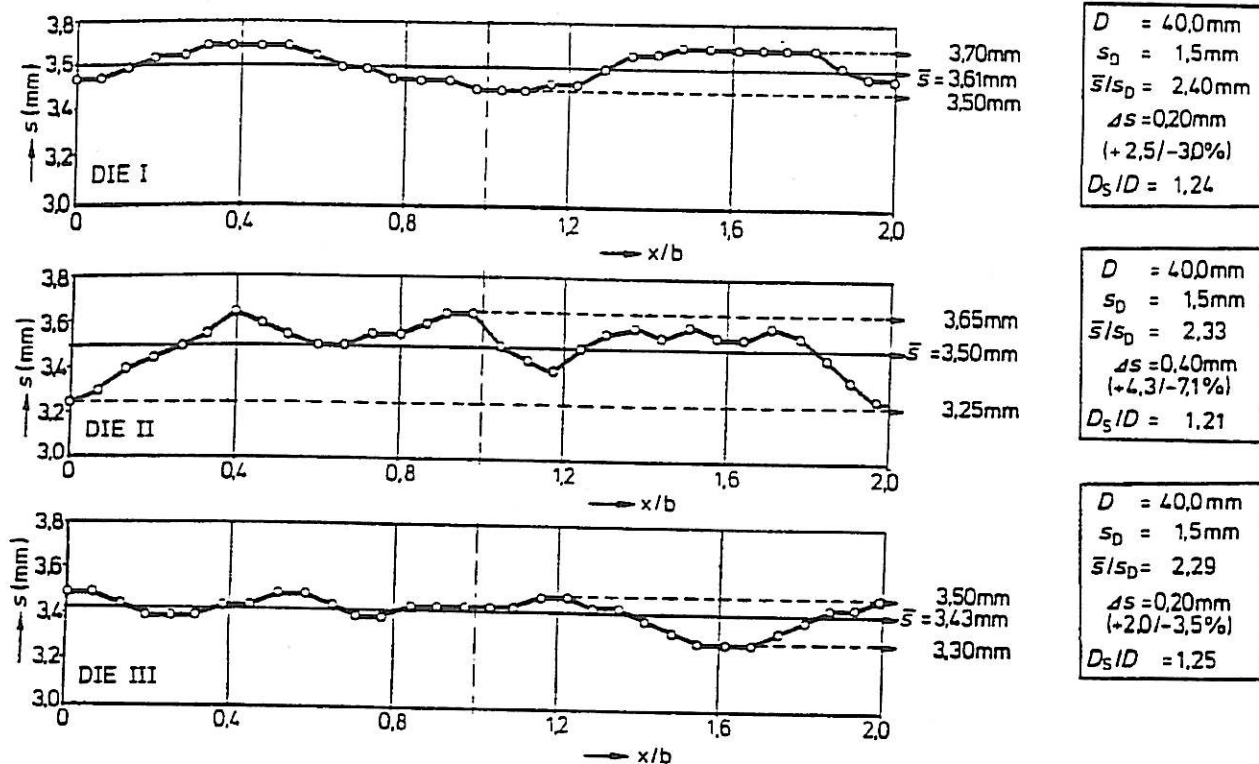


Fig. 14. Measured wall thickness distributions of parisons from dies I, II, and III: Hostalen GF 4760; $Q = 25 \text{ kg/h}$.

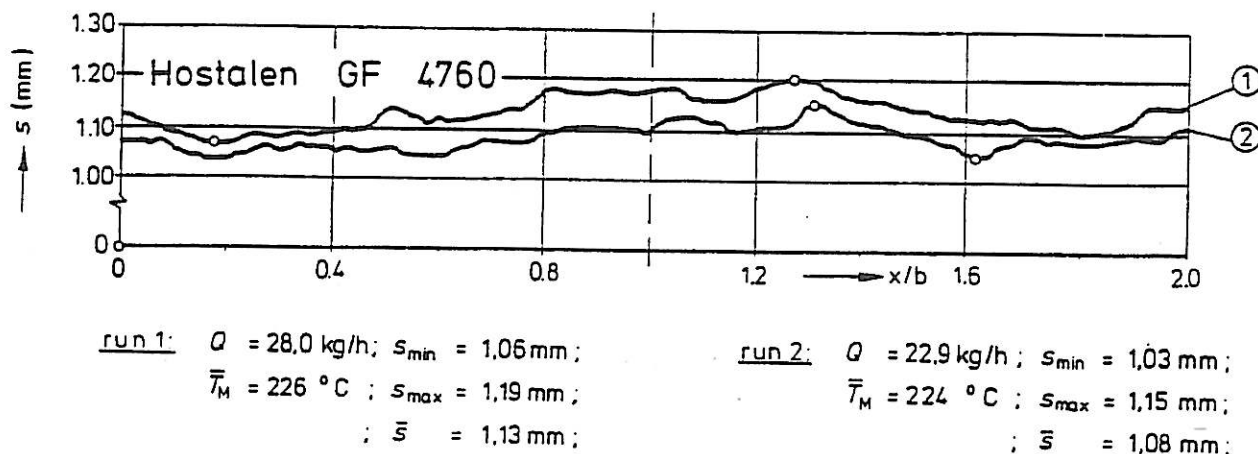


Fig. 15. Measured wall thickness distributions of parisons which are extruded at different rates: continuous IR measurement: die I.

and momentum, the stepwise design procedure allows for accommodation of phenomena such as critical pressure drop in the die, separation force between the die halves, and onset of melt fracture.

The primary function of the distribution system is to achieve uniform velocity across the exit of the die and to achieve uniform wall thickness of the final extrudate. This has been experimentally verified with a large aspect ratio profile die and with blow molding dies which were side-fed by an extruder. In both cases, the

distribution was found to be practically uniform over the width of the die.

An important parameter of the die design is the length of the slit region, $y(0)$. Large sheet extrusion dies, $b > 600 \text{ mm}$, require a short slit region. Otherwise the pressure drop across the die is too large, the steel walls of the die may deform significantly, and the prescribed geometry would not be maintained during the operation. Low values of pressure and separation forces can be achieved by choosing a small depth of the slit region, h , and a small aspect

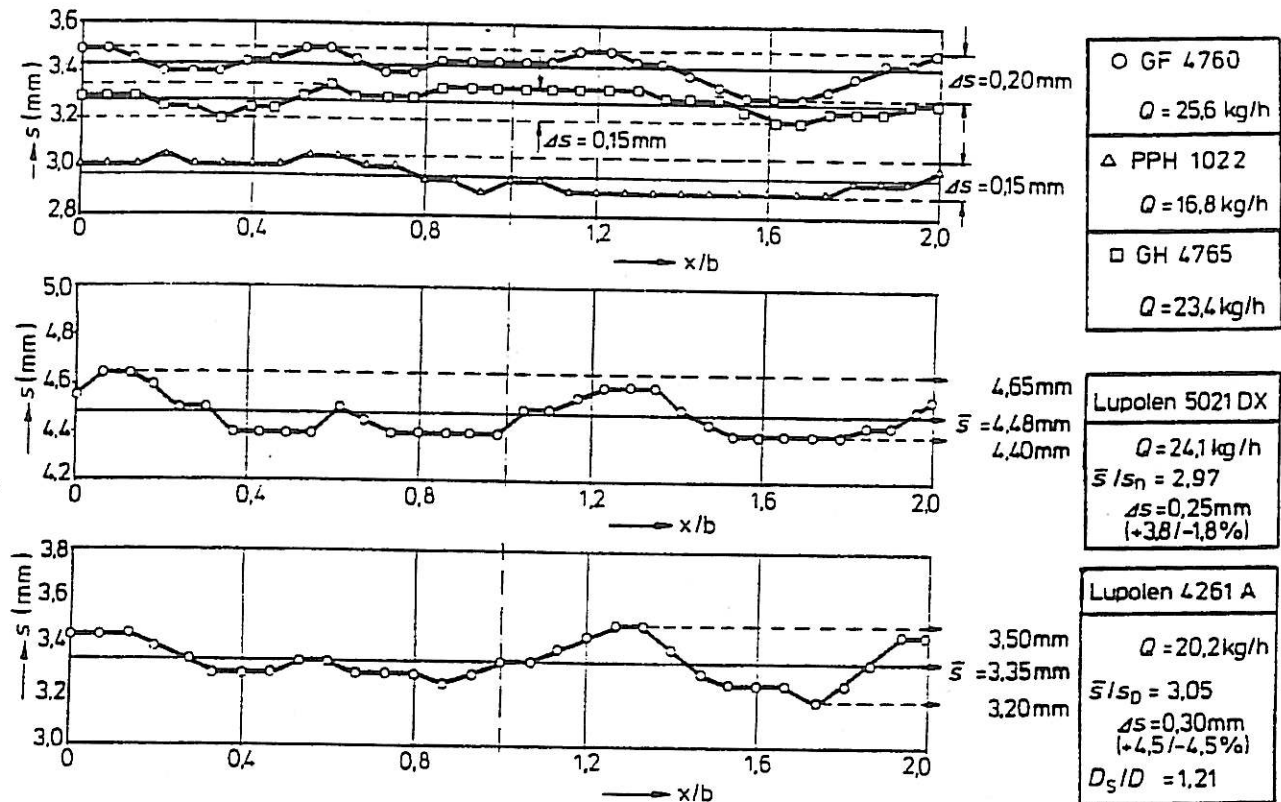


Fig. 16. Comparison of the measured wall thickness distributions for parisons of three polymers, using equivalent extrusion conditions: die III.

ratio W/H . However, a small aspect ratio W/H requires the use of a shape factor, $f_p < 1$, in the design procedure. Small values of the slit depth, h , are achieved by operating the die at the maximum possible shear rate below the onset of melt fracture.

Immediate applications of this design concept are seen in the areas of extrusion blow molding, sheet extrusion, extrusion of large aspect ratio profiles, and wire coating.

ACKNOWLEDGMENT

The computer input for the numerically controlled manufacturing has been prepared by Dipl.-Ing. U. Pfau. One of the authors (H. H. Winter) gratefully acknowledges the support from General Electric, Plastics Division.

NOMENCLATURE

- a = aspect ratio of rectangular manifold, W/H
- b = half width of sheet die or half circumference of annular die
- f_p = shape factor for flow rate in channel with rectangular cross section
- h = depth of slit flow region
- H = depth of rectangular manifold
- n = power law exponent
- p = pressure
- Q = volume flow rate

- R = radius of annular die (at distribution region).
- s = thickness of extrudate
- \bar{v}_m = average velocity in manifold
- \bar{v}_s = average velocity in slit region
- W = width of rectangular manifold
- x, y = coordinates
- $\dot{\gamma}$ = shear rate
- η = shear viscosity
- ξ = coordinate in direction of manifold

REFERENCES

1. F. Röthemeyer, *Maschinenmarkt*, 76, 2 (1970).
2. Z. Tadmor and C. G. Gogos, "Principles of Polymer Processing," J. Wiley & Sons, New York (1979).
3. H. H. Winter and E. Fischer, *Polym. Eng. Sci.*, 21, 366 (1981).
4. H. H. Winter, *Adv. Heat Trans.*, 13, 205 (1977).
5. J. Wortberg, Dr.-Ing. Thesis, RWTH Aachen, 1978.
6. S. Middleman, "Fundamentals of Polymer Processing," McGraw Hill, New York (1977).
7. Y. Matsubara, *Polym. Eng. Sci.*, 20, 212 (1980).
8. R. Röthemeyer, *Kunststoffe*, 56, 561 (1966).
9. J. R. A. Pearson, *Trans. J. Plast. Inst.*, 31, 125 (1963); 32, 239 (1964).
10. K. Ito, *Japan Plast.*, 8, 21 (1974); 9, 21 (1975).
11. E. H. Gormar, Dr.-Ing. Thesis, RWTH Aachen, 1968.
12. W. Knappe and H. Schönewald, *Kunststoffe*, 61, 497 (1971).
13. J. McKelvey and K. Ito, *Polym. Eng. Sci.*, 11, 258 (1971).
14. I. Klein, Technical Papers, Annual Technical Confer-

Design of Dies for the Extrusion of Sheets and Annular Parisons

- ence, Society of Plastics Engineers, 19, 51 (1973).
15. K. Itoh, *Japan Plast.*, 10, 14 (1976).
16. H. Schönwald, *Kunststoffe*, 68, 238 (1978).
17. W. Michaeli, "Extrusionswerkzeuge für Kunststoffe," Hanser, München (1979).
18. B. Vergnes, P. Saillard, and B. Platamura, *Kunststoffe*, 70, 750 (1980).
19. B. Vergnes, P. Saillard, and J. F. Agassant, *Polym. Eng. Sci.*, 24, 980 (1984).
20. H. H. Winter and H. G. Fritz, Masseeinlauf- und Verteil-Element für Extrusionswerkzeuge, DOS 2933025 (1979).
21. H. G. Fritz, Proc. 7th Stuttgarter Kunststoffkolloquium, (April 1981).