



Departamento de Engenharia de Materiais (SMM)
Escola de Engenharia de São Carlos (EESC)
Universidade de São Paulo (USP)

SMM0315 – Processamento de Materiais IX: Polímeros

Docente: Marcelo A. Chinelatto

Março – Julho de 2025

1

Extrusoras de Dupla Rosca

Nos últimos anos houve um crescimento constante no uso de extrusoras que têm duas roscas rotacionando em um barril aquecido. Estas máquinas permitem uma grande variação em termos de taxas de produção, eficiência de mistura, geração de calor, etc., comparada com extrusoras roscas únicas.

Correspondem a aproximadamente 10% dos processos de extrusão.

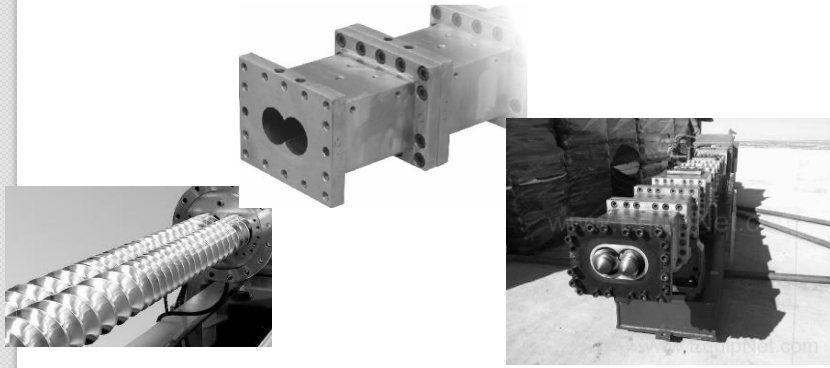
As extrusoras dupla rosca podem ser utilizadas no processamento de materiais termoplásticos de difícil manuseio como formulações poliméricas alimentadas na forma de pó de baixa densidade volumétrica (por exemplo, nanocompósitos), materiais de fácil degradação, compostos termoplásticos com reforços de materiais fibrosos ou de cargas minerais e de concentrados (masterbatch) de diversos aditivos e cores.

2

Extrusoras de Dupla Rosca

◦ A vazão final de uma extrusora dupla rosca é tipicamente três vezes maior que uma extrusora rosca simples de mesmo diâmetro e velocidade.

Neste tipo de extrusora, duas roscas giram lado a lado dentro de um barril de furo interno na forma de um “8” deitado.



3

Extrusoras de Dupla Rosca

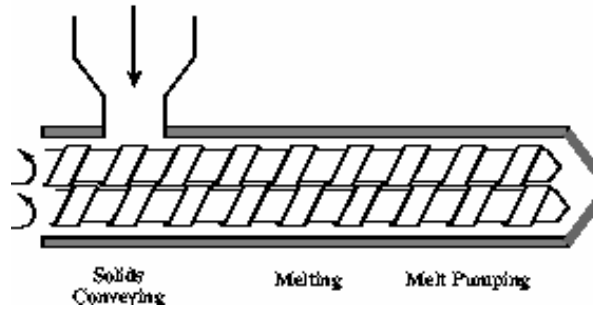


Roscas Duplas de 380 mm da Coperion
(Werner & Pfleiderer)

4

Extrusoras de Dupla Rosca

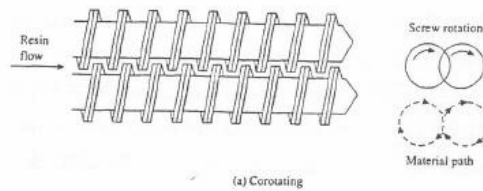
- As extrusoras dupla rosca também podem ser divididas em três regiões assim como as extrusoras de rosca simples: **alimentação, compactação e dosagem**



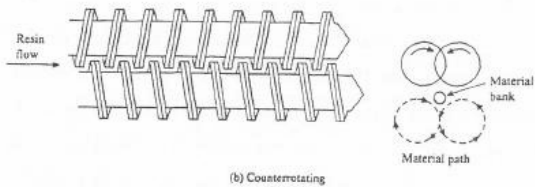
5

Extrusoras de Dupla Rosca

Co-Rotacional



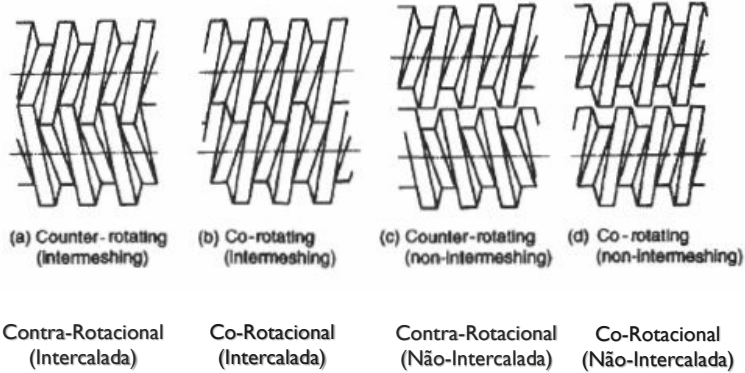
Contra-Rotacional



6

Extrusoras de Dupla Rosca

- Embora o termo “rosca dupla” seja utilizado para todas as extrusoras que apresentem duas roscas, os equipamentos podem ser diferentes.



R. J. Crawford – Plastic Engineering, 3rd Edition.

7

Extrusoras de Dupla Rosca

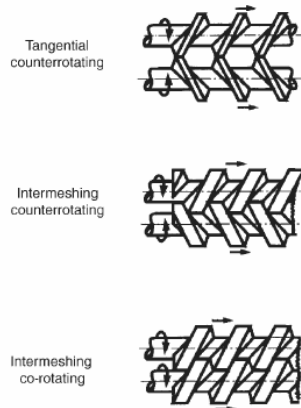
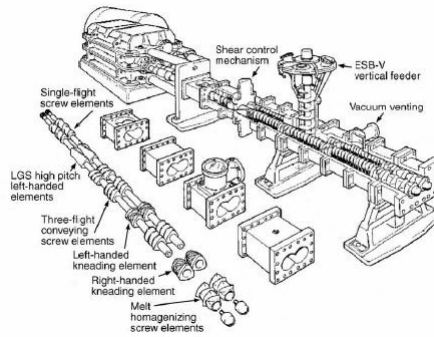


Fig. 10.2 Classification of TSEs. [Reprinted by permission from D. B. Todd, “Introduction to Compounding,” in *Plastics Compounding—Equipment and Processing*, D. B. Todd, Ed., Hanser, Munich, 1998.]

Z. Tadmor & C. G. Gogos – Principles of Polymer Processing, 2nd Edition.

8

Extrusoras de Dupla Rosca Modulares



9

Extrusoras de Rosca Simples vs Extrusoras de Rosca Dupla

I. O movimento relativo do filete de uma rosca dentro do canal da outra (portanto, estamos falando de roscas intercaladas) funciona como uma pá que empurra o material de forma positiva para frente. O material vai se alternando de uma rosca para outra e de um canal para o outro.

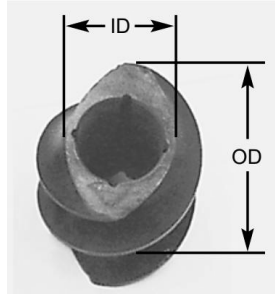


Este padrão de transporte contínuo e homogêneo permite que a extrusora de dupla rosca seja uma bomba de transporte mais positiva e eficiente em relação à extrusora de rosca simples.

10

Extrusoras de Rosca Simples vs Extrusoras de Rosca Dupla

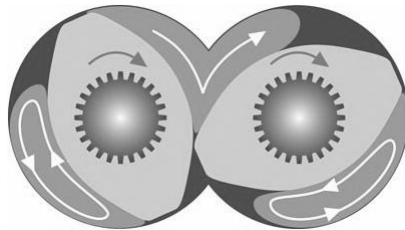
2. Na região de intercalação (junção) das roscas boa parte do fluxo do fundido polimérico é dividido e transferido de um canal da rosca para o canal da rosca adjacente



11

Extrusoras de Rosca Simples vs Extrusoras de Rosca Dupla

2. Na região de intercalação (junção) das roscas boa parte do fluxo do fundido polimérico é dividido e transferido de um canal da rosca para o canal da rosca adjacente



Nesta situação tem-se fluxo cisalhante e alongacional.

Esta ação de mistura é mais eficiente no caso de roscas co-rotacionais que roscas contra-rotacionais.

12

Extrusoras de Rosca Simples vs Extrusoras de Rosca Dupla

3. Maior quantidade de polímero é exposta às paredes aquecidas do barril em função do polímero fundido contornar todo o canal da rosca de um lado e para depois alternar da mesma forma no canal da rosca adjacente.



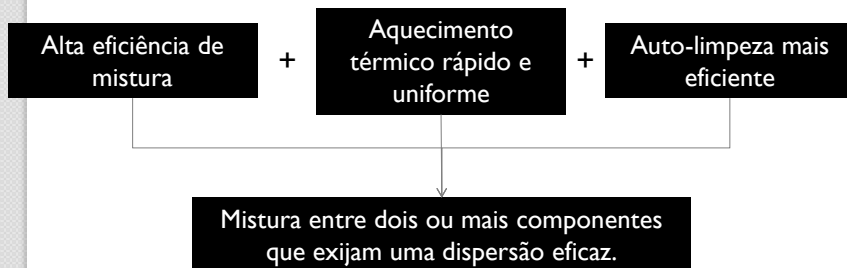
Assim é fornecido um maior aquecimento térmico em relação à extrusora de rosca simples e da extrusora de dupla rosca contra-rotacional.

13

Extrusoras de Rosca Simples vs Extrusoras de Rosca Dupla

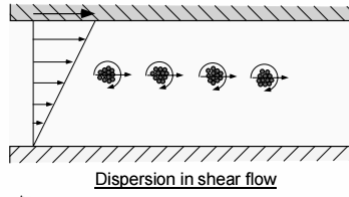
4. A natureza auto-limpante das extrusoras de rosca dupla contribui para reduzir a probabilidade de estagnação do polímero, sendo esta característica mais acentuada que nas roscas co-rotacionais que nas roscas contra-rotacionais.

Extrusoras de Rosca Dupla Co-Rotacionais

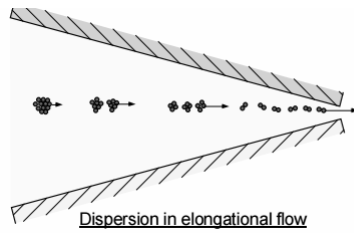


14

Extrusoras de Rosca Simples vs Extrusoras de Rosca Dupla



Pobre dispersão



Boa dispersão

15

Extrusoras de Rosca Simples vs Extrusoras de Rosca Dupla

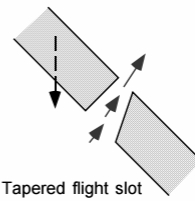
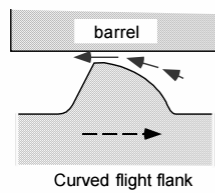
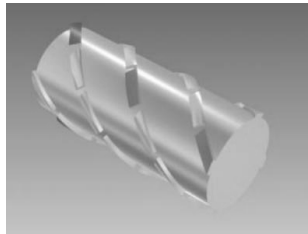


Figure 2, Two methods of creating elongational flow in the CRD mixer



16

Extrusoras de Rosca Simples vs Extrusoras de Rosca Dupla

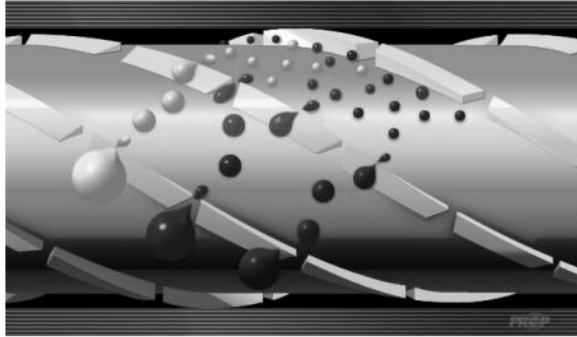
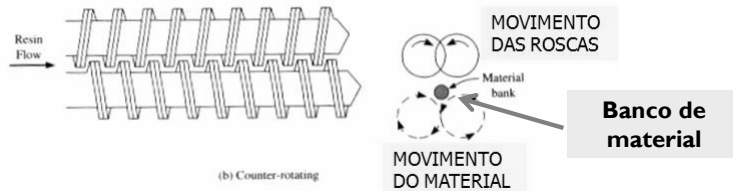


Figure 2, Illustration of the dispersive mixing action in the CRD mixer

17

Extrusoras de Rosca Dupla Contra-Rotacionais

O material polimérico fundido é conduzido para a região de intercalação das roscas e vai se acumulando nesta região de intercalação formando um banco de material (material bank) no topo da junção, o qual é empurrado para frente ao longo da extrusora pelo movimento relativo dos filetes da rosca.



Este material (material bank) é empurrado para frente com mínima ação de mistura, história de aquecimento e cisalhamento não uniforme.

18

Extrusoras de Rosca Dupla Contra-Rotacionais

De acordo com a explicação anterior, as extrusoras de dupla rosca contra-rotacionais apresentam uma maior capacidade de bombeamento que as co-rotacionais.


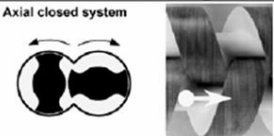
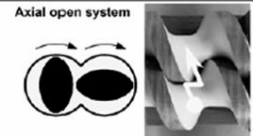



A maior parte do material neste banco de junção é deslocado para frente sem passar ao redor de cada rosca. Com a intercalação total das roscas, apenas uma quantidade de material passa no meio das roscas sob alto cisalhamento.

A maior parte avança na direção da saída sob baixo cisalhamento. Isto resulta em baixa contribuição de calor por aquecimento térmico e viscoso, portanto, em baixa temperatura do fundido.

Por isso são pouco utilizadas no processo de mistura. Mas são boas para a extrusão de polímeros sensíveis a temperatura, como no caso do PVC.

19

Extrusoras de Rosca Simples vs Extrusoras de Rosca Dupla

Single screw extruder	Twin-screw extruder	
	Counter-rotating	Co-rotating
Axial open system 	Axial closed system 	Axial open system 
		
Product conveying depends on the difference of friction of the polymer to the screw and polymer to the barrel wall. • low friction to the screw (crome plating) • high friction to the barrel wall (grooved inner surface) Melt conveying by drag flow.	Closed chamber in the intermeshing area of the screws. "Single screw conveying" in the other parts of the screw. Good conveying Good pressure build-up Reduced longitudinal mixing	Open intermeshing area of the screws. "Single screw conveying" in the other parts of the screw. Reduced conveying Reduced pressure build-up Good longitudinal mixing

20

Extrusoras de Rosca Simples vs Extrusoras de Rosca Dupla

I. Tipo de Transporte

Extrusoras de Rosca Simples: é induzido por fluxo de arraste devido ao movimento relativo entre rosca e barril, ou seja, arraste sob fricção do polímero e fluxo devido à existência da queda de pressão ao longo do canal da rosca.

Extrusoras de Dupla Rosca Intercaladas: é sempre positivo para qualquer tipo de material. A eficiência de transporte depende somente de como o filete de uma rosca fecha o canal da outra rosca. Nas extrusoras de dupla rosca contra-rotacionais intercaldadas, o transporte é ainda mais positivo

21

Extrusoras de Rosca Simples vs Extrusoras de Rosca Dupla

2. Perfil de velocidade

Extrusoras de Rosca Simples: o perfil de velocidade na extrusora de rosca simples é mais simples, sendo que o polímero fundido faz um movimento em zigue-zague (ou helicoidal) dentro do canal na zona de dosagem, em direção à saída da rosca.

Extrusoras de Dupla Rosca Intercaladas: a situação é mais complexa e algumas vezes difícil de descrever. A região de intercaldagem é a mais difícil de ser visualizada devido ao vazamento do fluxo, o que interfere no perfil de velocidade de transporte positivo.

Por outro lado, os padrões de fluxo mais complexos são responsáveis por uma série de vantagens: boa qualidade de mistura, boa transferência de calor, maior capacidade de fusão, boa capacidade de devolatilização e bom controle de temperatura do material dentro da extrusora.

22

Extrusoras de Rosca Simples vs Extrusoras de Rosca Dupla

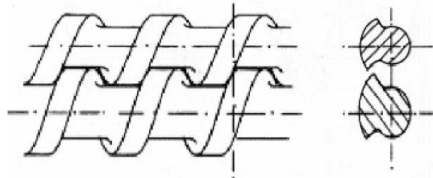
2. Perfil de velocidade

A **única desvantagem** é a dificuldade de se descrever o fluxo, o que dificulta a análise durante, por exemplo, a simulação. Esta **desvantagem faz com que seja difícil projetar um conjunto completo de duplas roscas.**

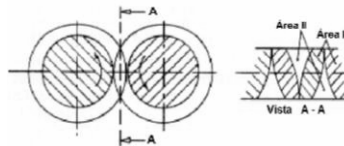
23

Extrusoras de Rosca Dupla Co-Rotacionais Completamente Intercaladas

A figura abaixo mostra roscas de uma extrusora de dupla rosca co-rotacional completamente intercalada.



O ajuste do filete no canal parece formar uma região completamente vedada, impedindo qualquer vazamento. Por outro lado a seção transversal da região intercalada revela a presença de grandes aberturas entre os canais das duas roscas.

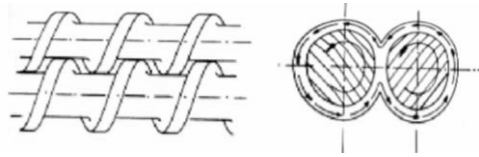


Área I: área
obstruída
Área II: área
aberta

24

Extrusoras de Rosca Dupla Co-Rotacionais Completamente Intercaladas

Estas **aberturas diminuem a eficiência de transporte positivo** deste tipo de extrusora. As velocidades das roscas na região intercalada estão em direções opostas. O material entrando na região intercalada apresentará pouca tendência em se mover por meio da região toda, a menos que existam espaços significativos entre os filetes e canais.

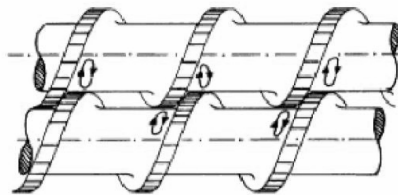


Devido as aberturas entre canais, o material que entra na região de intercalação tenderá a fluir no canal da rosca adjacente. O material fluirá percorrendo seu caminho em oito e simultaneamente na direção axial.

25

Extrusoras de Rosca Dupla Co-Rotacionais Completamente Intercaladas

O material próximo ao flanco do filete não poderá fluir para o canal da rosca adjacente, pois este espaço foi obstruído pelo topo da rosca adjacente. **Este material se movimentará como um fluxo oscilatório local.**

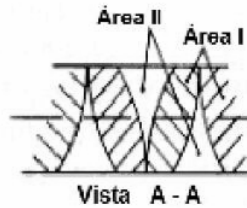


A fração de material obstruído contribuirá para o transporte positivo. Se a **área obstruída for larga em relação à área aberta**, as características do **transporte das roscas se tornaram positivas.**

26

Extrusoras de Rosca Dupla Co-Rotacionais Completamente Intercaladas

◦ A fração que corresponde a parte obstruída da rosca contribuirá para o transporte positivo. Se a **área obstruída (Área I) for larga em relação à área aberta (Área II)**, as características do **transporte das roscas se tornaram positivas**.



Se a área aberta for larga em relação a área obstruída, as características de transporte serão reduzidas.



- alargamento do tempo de residência;
- vazão ficará dependente da pressão.

27

Extrusoras de Rosca Dupla Co-Rotacionais Completamente Intercaladas

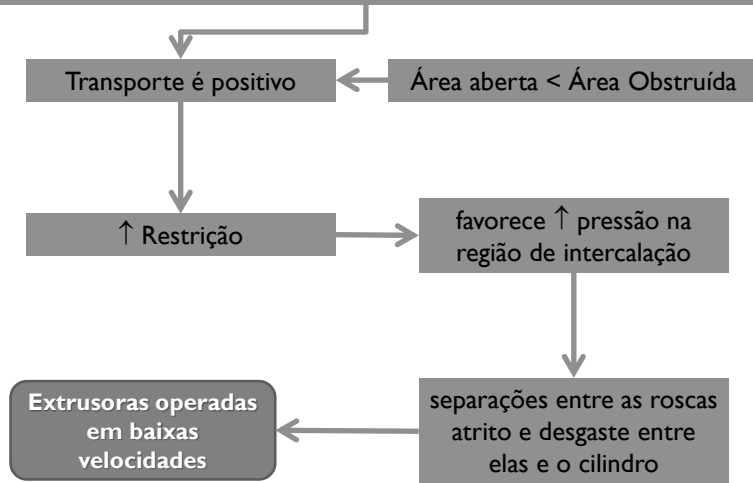
◦ O aumento da restrição de espaço (obstrução) favorece ao **aumento de pressão na região de intercalação**, que por sua vez **proporciona uma separação entre as roscas**.

Grandes separações podem gerar desgaste entre as roscas e o cilindro. Portanto, as extrusoras co-rotacionais completamente intercaldadas deverão ser operadas em baixas velocidades para ser evitado grandes picos de pressão na região de intercalação.

28

Extrusoras de Rosca Dupla Co-Rotacionais Completamente Intercaladas

Extrusora de Rosca Dupla Co-Rotacional Completamente Intercalada



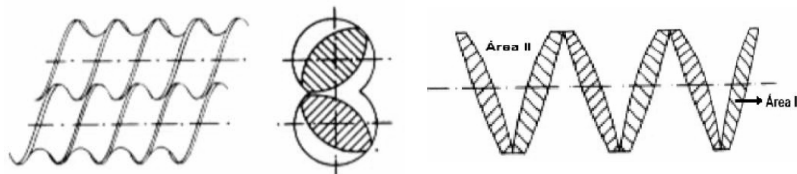
29

Extrusoras de Rosca Dupla Co-Rotacionais Completamente Intercaladas

Se o inverso acontecer, ocorrerá o alargamento da distribuição do tempo de residência.

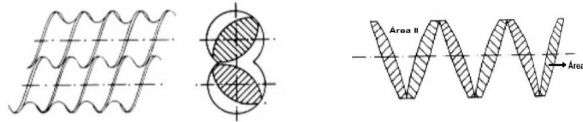
Auto-limpantes

Apresentam perfil de rosca alterado em relação aos vistos até aqui. Este perfil de rosca apresenta uma área de abertura na região de intercalação significativa, entre o canal de uma rosca e o canal da rosca adjacente. Podem ser operadas em **elevadas velocidades**.



30

Extrusoras de Rosca Dupla Co-Rotacionais Completamente Intercaladas

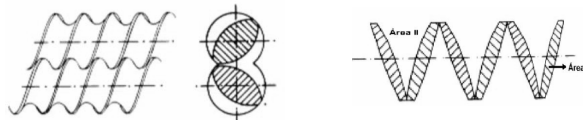


Nesse tipo de extrusora (ou rosca):

- tendência mínima para a ocorrência de grandes picos de pressão na região de intercalação.
- roscas projetadas com espaços pequenos entre elas são auto-limpantes;
- extrusora pode ser operada à altas velocidades.
- características de transporte são essencialmente não positivas;
- boas para processos de mistura

31

Extrusoras de Rosca Dupla Co-Rotacionais Completamente Intercaladas



Desvantagens:

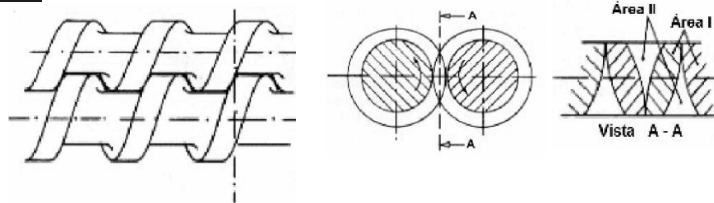
- ❑ características de transporte são essencialmente não-positivas;
- ❑ distribuição de tempo de residência muito larga;
- ❑ alta sensibilidade da vazão em relação à pressão gerada no interior do barril.

São mais adequadas para processos de mistura

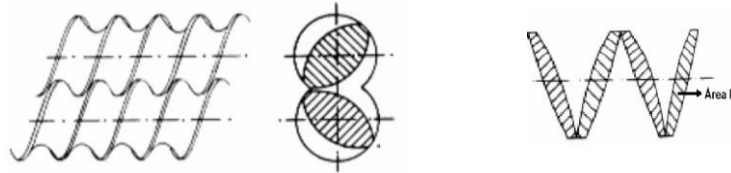
32

Extrusoras de Rosca Dupla Co-Rotacionais Completamente Intercaladas

□ Extrusora Dupla Rosca Co-Rotacional Completamente Intercalada "Normal"

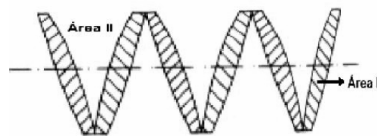


□ Extrusora Dupla Rosca Co-Rotacional Completamente Intercalada Auto-Limpante



33

Extrusoras de Rosca Dupla Co-Rotacionais Completamente Intercaladas



Área de abertura II é mais larga que a área obstruída I.

As roscas podem ser projetadas com espaços relativamente pequenos entre elas, tornando-as completamente auto-limpantes.

Por outro lado as características de transporte são essencialmente não-positivas, com correspondentes amplas distribuições de tempos de residência. **São adequadas para processos de mistura.**

34

Extrusoras de Rosca Dupla Co-Rotacionais Intercaladas Auto-limpante

Este tipo de extrusora possui pouca tendência em desenvolver picos de pressão elevados na região de intercalação, ela pode ser operada em altas velocidades, atingindo valores próximos a 600 rpm.

Suas características de **transporte são essencialmente não-positivas** com correspondente curvas largas de distribuição de tempo de residência (RTD), alta sensibilidade da vazão em relação a pressão.

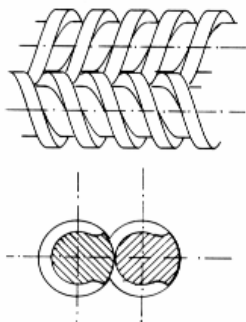
Estas extrusoras não são adequadas para fabricação de perfis.

A característica de transporte não-positivo de extrusoras de rosca dupla pode fazer com elas venham a trabalhar parcialmente cheias. As extrusoras de rosca simples e as extrusoras de rosca dupla com característica de transporte positivo sempre trabalham completamente cheias.

35

Extrusoras de Rosca Dupla Contra-Rotacionais Intercaladas

As extrusoras de rosca dupla contra-rotacionais também podem ser completamente intercaladas, entretanto sua geometria de rosca é um pouco diferente das co-rotacionais.

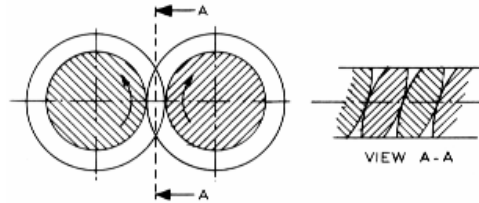


36

Extrusoras de Rosca Dupla Contra-Rotacionais Intercaladas

◦ A seção transversal da região de intercalação mostra as aberturas entre os canais das duas roscas muito pequenas.

As extrusoras contra-rotacionais intercadas apresentam características essencialmente positivas de transporte.

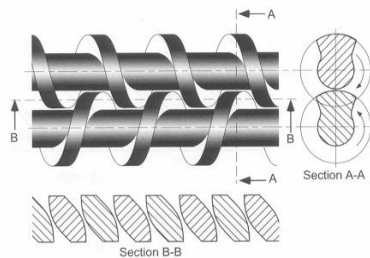


As velocidades das roscas na região de intercalação são na mesma direção. Portanto, o material entrando na região de intercalação apresentará uma forte tendência para fluir através desta região, diferente do caso das extrusoras de dupla rosca co-rotacionais intercadas.

37

Extrusoras de Rosca Dupla Contra-Rotacionais Intercadas

◦ Se os espaços entre as roscas forem significativamente pequenos, o fluxo através da região de intercalação será razoavelmente pequeno.



Existe a formação de um depósito (banco) de material acumulado na entrada da região de intercalação. Este material exercerá uma pressão considerável entre as duas roscas. **Geralmente são operadas em baixas velocidades (entre 20 rpm e 40 rpm).**

38

Extrusoras de Rosca Dupla Contra-Rotacionais Intercaladas

Em uma extrusora dupla rosca contra-rotacional intercalada, o material apresentará alta tendência para fluir entre os dois parafusos.



Essa tendência de fluxo exercerá uma pressão considerável, podendo causar deflexões



Portanto, esse tipo de extrusora funciona em baixas velocidades, visando evitar o desenvolvimento de pressões excessivas na região de intercalação

40

Extrusoras de Rosca Dupla Contra-Rotacionais Intercaladas

Ao projetar os parafusos com folgas maiores, as velocidades de operação podem também aumentar, mas à custa das características do transporte positivo.



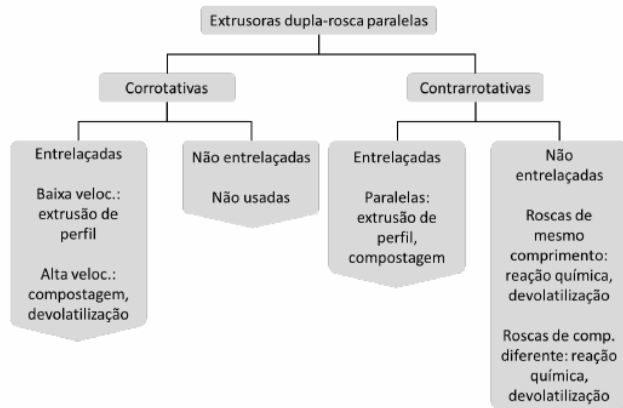
Assim, a velocidade máxima de trabalho permitida em uma extrusora de rosca dupla contra-rotacional é frequentemente uma boa indicação das características de transporte da máquina.

41

Extrusoras de Rosca Dupla Contra-Rotacionais Intercaladas

Velocidade Máxima de Máquina (rpm)	Característica do Transporte	Aplicação
20 a 40	Positiva	Extrusão de Perfis
100 a 200 ou superior	Menos Positiva	Preparação de compostos, reações químicas e outras operações

42



↑
muito parecidas com extrusoras de rosca simples

43

Extrusora de Rosca Dupla Modular

O avanço tecnológico no desenvolvimento das extrusoras de dupla rosca levou a modulação (“personalização”) das roscas e barris. A configuração da rosca pode ser alterada de acordo com a aplicação, mudando a sequência, tipo e quantidade de elementos ao longo da rosca.

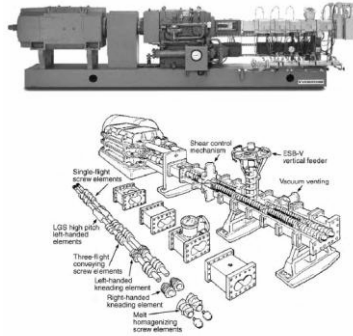
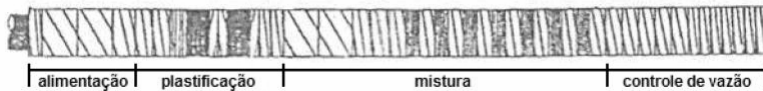


Fig. 10.1 Photograph and schematic representation of the modular screw-element sequences and barrel sections of an intermeshing, co-rotating TSE. [Courtesy of Coperton Werner and Pilsinger Corp.]

44

Extrusora de Rosca Dupla Modular

Em uma extrusora de dupla rosca modular, a configuração do perfil das roscas irá depender da função de cada uma das regiões e das características intrínsecas do material a ser processado.

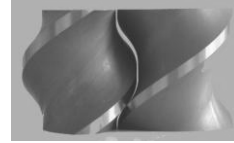


45

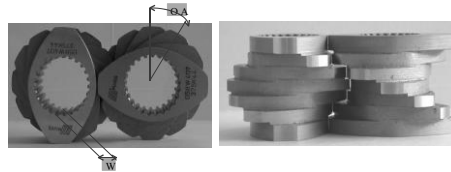
Extrusora de Rosca Dupla Modular

▪ Tipos de Elementos.

1. Transporte (com passos ou ângulos de hélices diferentes)



2. Mistura e Amassamento - Malaxagem (largura e ângulo)



46

Extrusora de Rosca Dupla Modular

I. Elementos de Transporte

Os elementos de condução são utilizados com diferentes **passos** ou **ângulos de hélice**.

Passo: é definido com a distância entre duas hélices;

Ângulo de hélice: é o ângulo que a hélice faz com o eixo perpendicular ao diâmetro do elemento de rosca.

47

Extrusora de Rosca Dupla Modular

I. Elementos de Transporte

O **passo da rosca** é usado para **controlar o grau de enchimento** com uma vazão e uma velocidade constantes. Um **passo largo** gera **baixo grau de enchimento na região de alimentação ou de degasagem**, porém tempo de residência pequeno.

Passo curto é usado para gerar **alto grau de enchimento, maximizando a área de contato do material com a superfície do barril, favorecendo o processo de transferência de calor e a capacidade de bombeamento.**

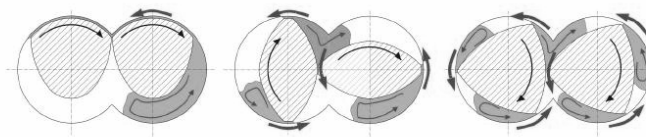
48

I. Elementos de Transporte

O número de filetes pode variar de um a três. Entretanto, as extrusoras dupla-rosca corrotativas autolimpantes apresentam geralmente elementos de dois filetes.

$$CP = (2Z - 1)$$

onde: CP é o número de fluxos parciais e Z o número de filetes.



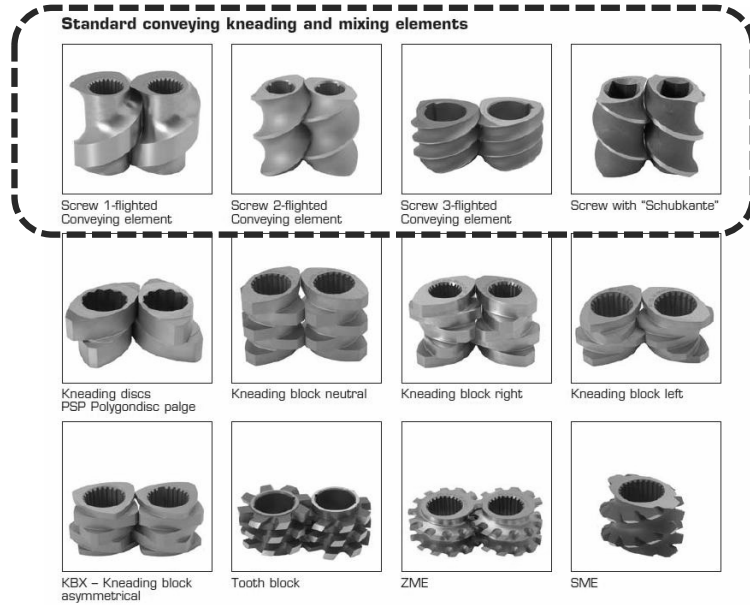
Filete único: 1 fluxo parcial

Dois filetes: 3 fluxos parciais

Três filetes: 5 fluxos parciais

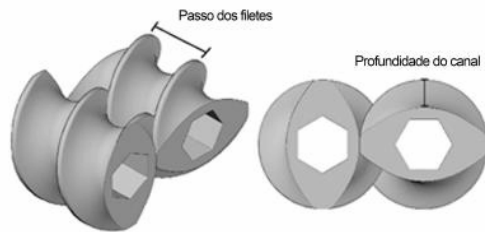
49

Número de Filetes



50

I. Elementos de Transporte



A direção da hélice da rosca determina a direção de transporte dos elementos. Quando a hélice é contrária à direção de rotação dos eixos, os elementos transportam material para frente, em direção à matriz.

51

Extrusora de Rosca Dupla Modular

I. Elementos de Condução

O elemento de rosca de passo reverso ou esquerdo gera **fluxo contrário à direção da matriz**. Entretanto, o passo de fluxo para frente deve se sobrepor à resistência imposta pelo passo reverso.

O elemento de rosca de passo reverso cria um aumento de pressão localizado.

52

Extrusora de Rosca Dupla Modular

I. Elementos de Condução

Elemento de rosca de passo reverso ou esquerdo

Consequências:

- o grau de enchimento do passo chega a um valor máximo na região imediatamente anterior a esse elemento de rosca;
- pode ser usado como barreira de separação entre regiões de degasagem ou para melhorar mistura (quando combinado com elementos de mistura)
- aumento o tempo de residência e cisalhamento.

53

I. Elementos de Transporte

São os componentes básicos utilizados nas extrusoras dupla rosca para carregar o polímero que entra sob as mais diferentes formas (grânulos, pós, produtos moídos, etc.) ao longo das zonas de processamento rumo à matriz.

Nomenclatura:

□ Passo/Comprimento

Um elemento 60/60

- significa que é um elemento de passo de 60 mm e 60 mm de comprimento.

54

I. Elementos de Transporte

Se a hélice acompanha a rotação dos eixos, **ela é dita passo esquerdo ou LH**. O elemento produzirá um efeito de transporte reverso.

O passo geralmente está relacionado com o diâmetro da rosca (DE), de modo que na zona de alimentação é comum usar elementos de passo grande, com 1,5DE a 2DE, proporcionando transporte mais rápido e menor porcentagem de preenchimento.

55

I. Elementos de Transporte

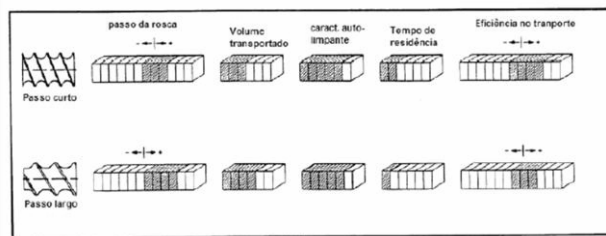
Elementos de passo médio completam uma volta a cada IDE e são usados na zona de plastificação.

Os elementos considerados de passo pequeno, que apresentam passo de $0,25DE$ a $0,75DE$, possibilitam a maior porcentagem de preenchimento sem gerar aumento significativo na pressão e são utilizados nas zonas aquecimento e de dosagem.

56

Extrusora de Rosca Dupla Modular

I. Elementos de Condução



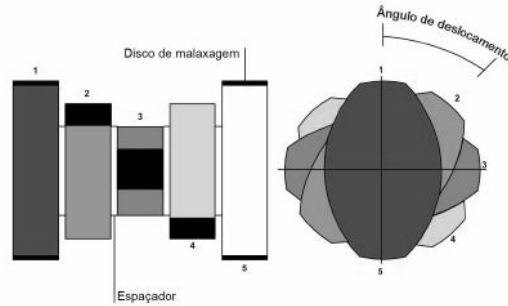
Elementos	Característica	Capacidade de Transporte
	Passo direito e largo	Alta e rápida
	Passo direito e curto	Alta e lenta

	Passo esquerdo	Componente de contra-pressão
--	----------------	------------------------------

57

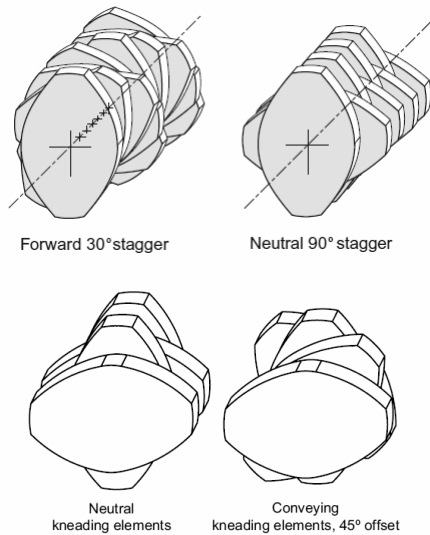
2. Elementos de Mistura

- Os elementos de mistura mais utilizados são os blocos de malaxagem que consistem em discos prismáticos, com seção igual ao perfil autolimpante de Z filetes, empilhados segundo ângulos de defasagem específicos.



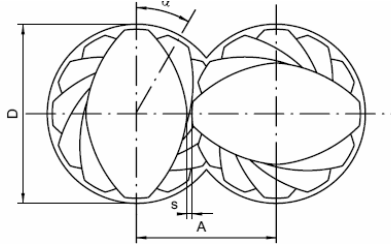
58

2. Elementos de Mistura



59

2. Elementos de Mistura



A nomenclatura segue a seguinte ordem:

ângulo de defasagem/número de discos/comprimento do elemento

45/5/60

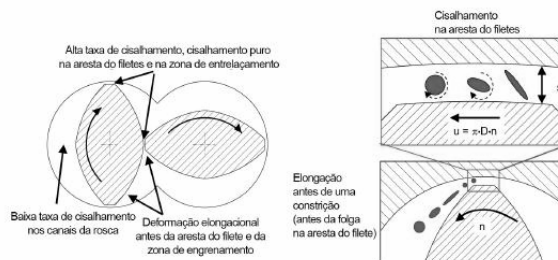
5 discos defasados de 45° uns em relação aos outros e comprimento total de 60 mm.

60

2. Elementos de Mistura

□ Mistura Dispersiva

- **elementos de malaxagem** criam zonas de fluxo altamente cisalhantes nas arestas dos filetes e outras zonas predominantemente alongacionais antes das arestas dos filetes, responsáveis por quebrar aglomerados ou dispersar gotículas líquidas.

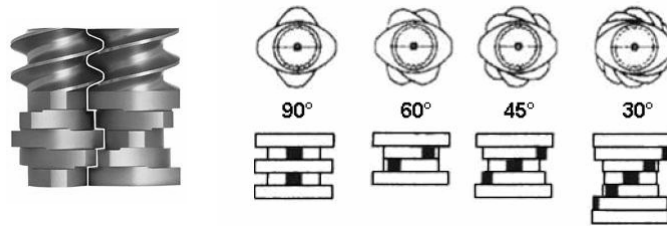


61

Extrusora de Rosca Dupla Modular

2. Elementos de Malaxagem

Os **elementos de malaxagem** são constituídos por **discos adjacentes, defasados em certos ângulos que proporcionam altas tensões de cisalhamento e melhor mistura.**

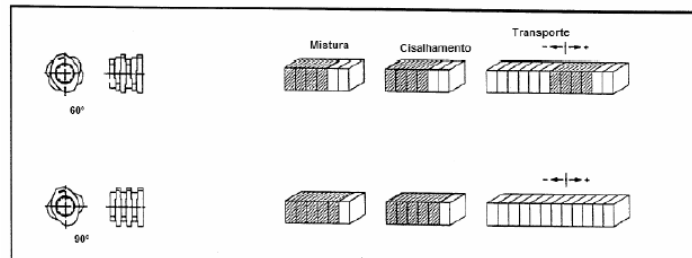


62

Extrusora de Rosca Dupla Modular

2. Elementos de Malaxagem

Os **sucessivos discos permitem a mudança do material para canais adjacentes.** A abertura do canal na direção axial é dependente do ângulo entre os sucessivos discos. **Aumentando-se o ângulo, melhora-se o desempenho na mistura axial.**



63

Extrusora de Rosca Dupla Modular

2. Elementos de Malaxagem




Da mesma forma que os elementos de passo reverso, há também **elementos de malaxagem esquerdos**.

Elementos	Característica	Mistura	Capacidade de transporte
	Neutro (90°)	Alta	Baixa
	Passo direito (30°)	Média	Alta
	Passo esquerdo (30°)	Média (poço fundo)	Componente de contra-pressão

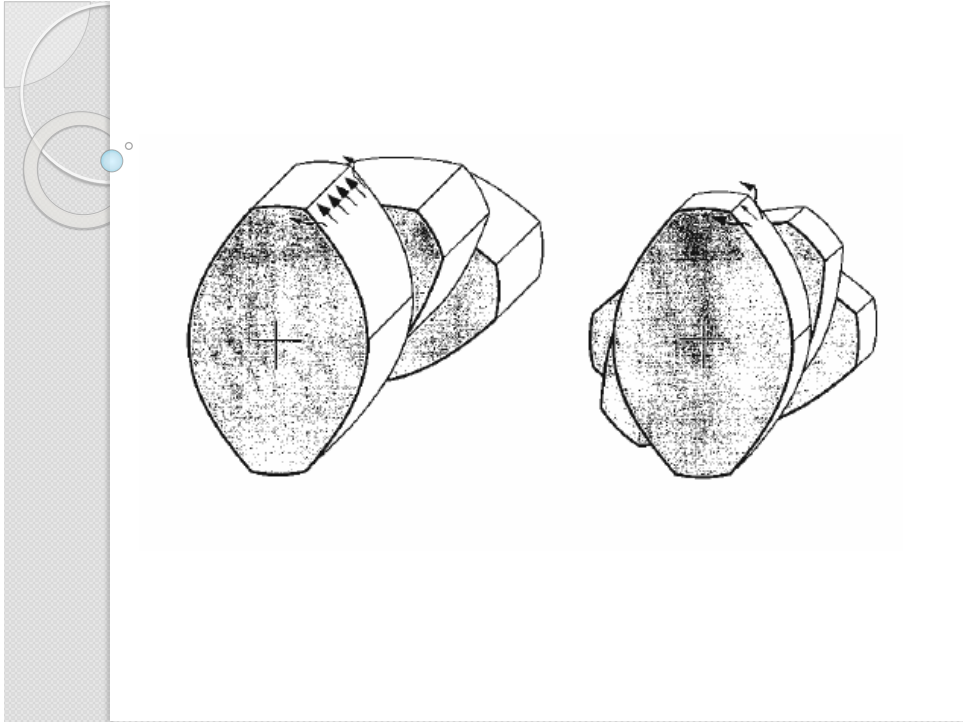
64

Extrusora de Rosca Dupla Modular

2. Elementos de Malaxagem

Elementos	Característica	Mistura	Deformação de cisalhamento	
	Discos largos	Baixa	Alta	↘ Favorecem a dispersão
	Discos médios	Média	Média	
	Discos estreitos	Alta	Baixa	↘ Favorecem a distribuição

65



66

Extrusora de Rosca Dupla Modular

2. Elementos de Malaxagem

Portanto, a **mistura dispersiva ou distributiva** são introduzidas no processo de extrusão por meio dos elementos de **malaxagem**.

Elemento	Mistura Distributiva	Mistura Dispersiva

Efeito da largura nas misturas dispersiva ou distributiva

Efeito do ângulo de escalonamento nas misturas dispersiva ou distributiva

67

Extrusora de Rosca Dupla Modular

Tipos de Elementos

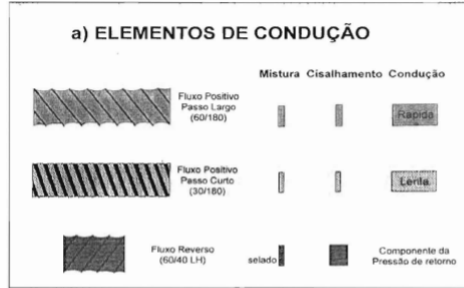


Figura 2.10 Influência das variáveis geométricas dos elementos de condução de uma extrusora rosca dupla co-rotacional e interpenetrante sobre as funções de mistura (distribuição), dispersão (cisalhamento) e condução [25]

CARDINALI, D.A. – Análise da Influência das Condições de Processamento na Morfologia e nas Propriedades de Blendas Poliméricas PBT/ABS Moldadas por Injeção, Tese de Doutorado, Orientador: Prof. Elias Hage Jr., UFSCar (2011).

68

Extrusora de Rosca Dupla Modular

Tipos de Elementos



Figura 2.11 Influência da largura dos discos misturadores de uma extrusora rosca dupla co-rotacional e interpenetrante sobre as funções de mistura (distribuição), dispersão (cisalhamento) e condução [25].

CARDINALI, D.A. – Análise da Influência das Condições de Processamento na Morfologia e nas Propriedades de Blendas Poliméricas PBT/ABS Moldadas por Injeção, Tese de Doutorado, Orientador: Prof. Elias Hage Jr., UFSCar (2011).

69

Extrusora de Rosca Dupla Modular

Tipos de Elementos

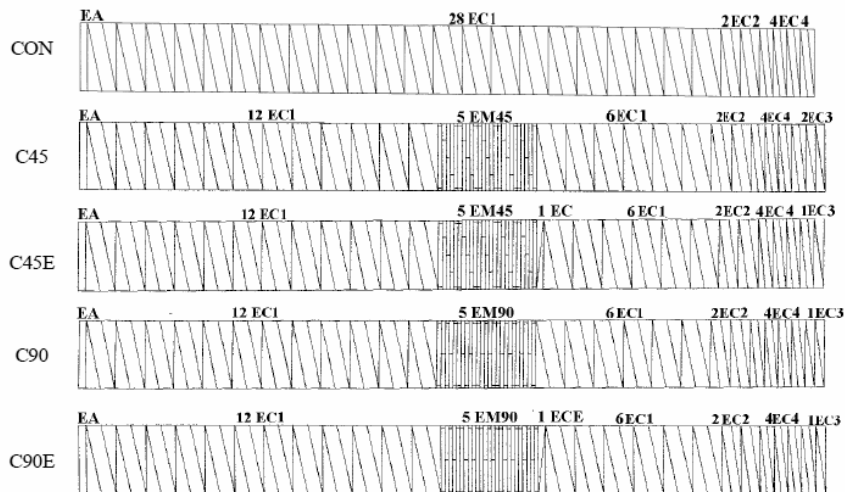


Figura 2.12 Influência da largura dos discos misturadores de uma extrusora rosca dupla co-rotacional e interpenetrante sobre as funções de mistura (distribuição), dispersão (cisalhamento) e condução [25].

CARDINALI, D.A. – Análise da Influência das Condições de Processamento na Morfologia e nas Propriedades de Blendas Poliméricas PBT/ABS Moldadas por Injeção, Tese de Doutorado, Orientador: Prof. Elias Hage Jr., UFSCar (2011).

70

Interprete as configurações de rosca utilizadas



71



Tabela 1. Tipos de elementos de rosca utilizados.

Tipo de elemento de rosca	Especificação
EA	Apoio, 10 mm de comprimento
EC1	Condução direito, filete simples, 42 mm de passo e 42 mm de comprimento
EC2	Condução direito, filete simples, 28 mm de passo e 28 mm de comprimento
EC3	Condução direito, filete simples, 28 mm de passo e 14 mm de comprimento
EC4	Condução direito, filete simples, 20 mm de passo e 20 mm de comprimento
ECE	Condução esquerdo, filete simples, 20 mm de passo e 10 mm de comprimento
EM45	Mistura, 5 discos bi-lobulares, diferença angular 45° e 28 mm de comprimento
EM90	Idem anterior com diferença angular 90° e 28 mm de comprimento

72

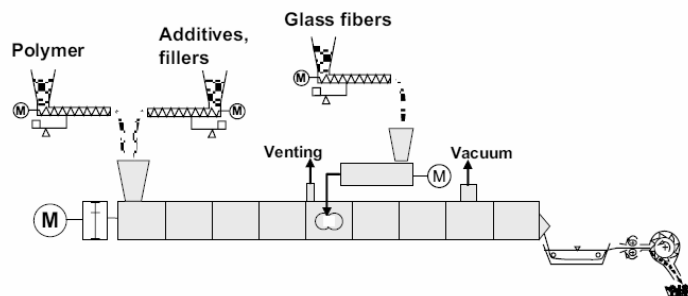


Figure 4.25: Schematic representation of the process of reinforcing polymers

73

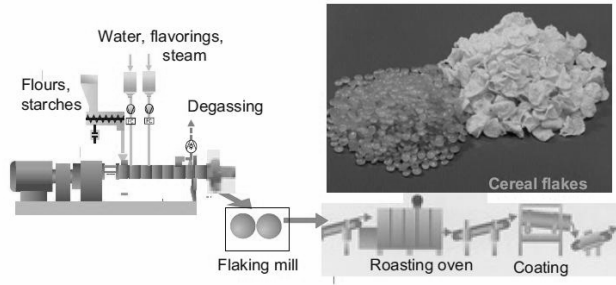


Figure 14.26: Example of a line for cooking-extrusion of cereal flakes

74



Figure 14.27: Example of a line for cooking-extrusion of dry pet and fish food

75

Desenvolvimento de Blendas Poliméricas

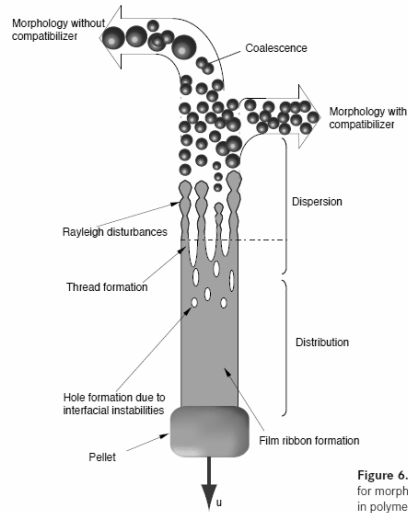
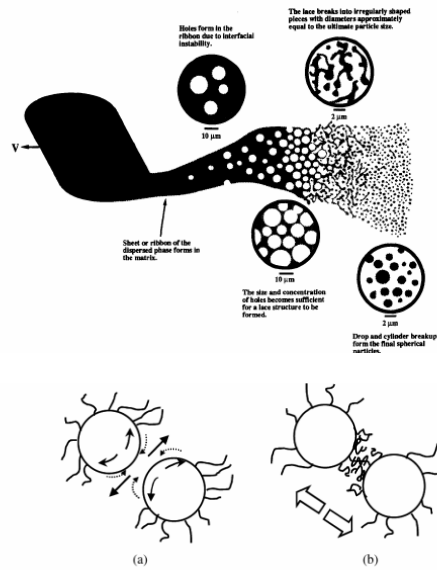


Figure 6.23 Mechanism for morphology development in polymer blends

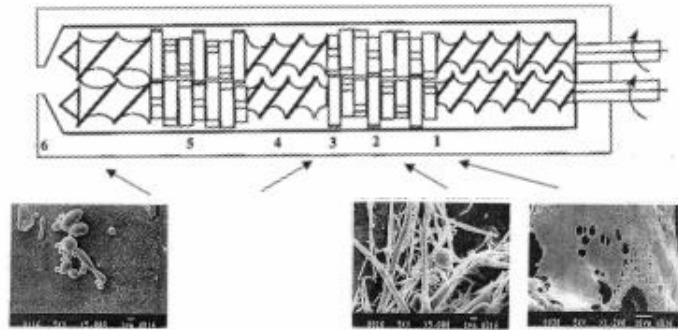
76

Desenvolvimento de Blendas Poliméricas



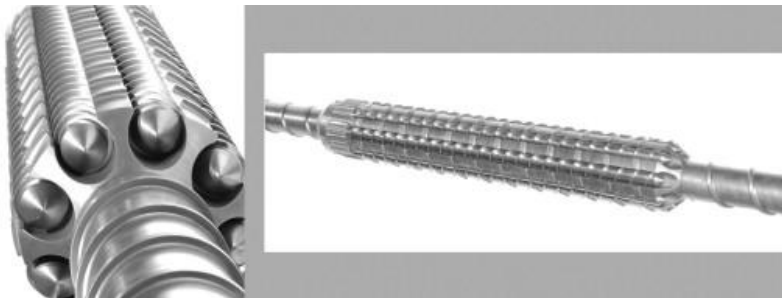
77

Desenvolvimento de Blendas Poliméricas



78

Extrusoras Multirrosca Planetary Roller Extrusion Process (PRE)

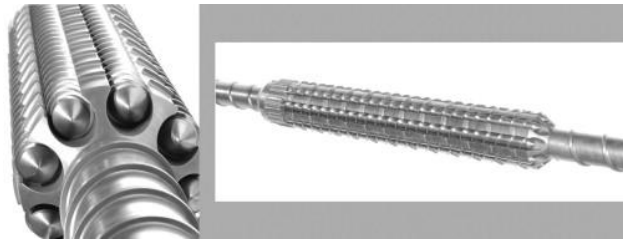


- ❑ Eficiente devolatização ou degasagem do polímero fundido.
- ❑ Usada para processamento de polímeros altamente contaminados, tais como pós-consumo (PET).

79

79

Extrusoras Multirroscas Planetary Roller Extrusion Process (PRE)



- ❑ Os parafusos satélites giram na direção oposta ao parafuso principal enquanto giram em torno do eixo do parafuso.
- ❑ as temperaturas de todas as superfícies em contato com o fundido podem ser controladas com precisão

80

80

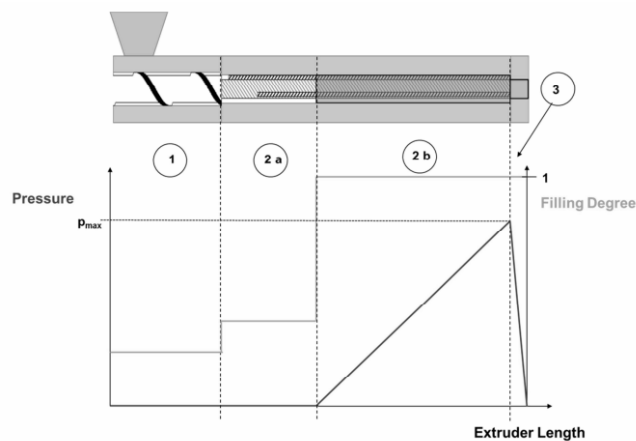
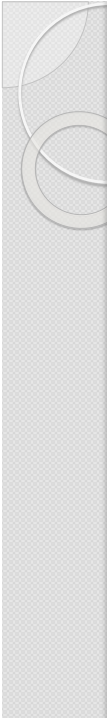


Figure 1: Schematically view of a PRE processing unit with feeding section (1), partial filled planetary roller section (2a), fully filled planetary roller section (2b) and die (3)

Rudloff Johannes, Lang Marieluise, Kretschmer Karsten, Heidemeyer Peter, Bastian Martin, Koch Michael. *ANALYSIS OF THE PROCESS BEHAVIOR FOR PLANETARY ROLLER EXTRUDERS* (2014). 81

81

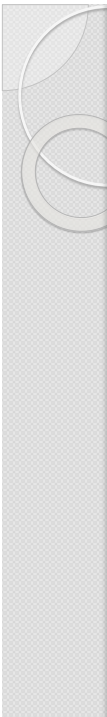


O material passa pelo funil de alimentação e entra na seção de alimentação (1), que é basicamente semelhante a uma seção de transporte de sólidos do conceito de extrusora de parafuso único.

A principal diferença em relação às extrusoras de parafuso único é que as PRE geralmente operam em condições de alimentação insuficiente.

82

82




Esta seção de rolos planetários (2a) é semelhante as engrenagens planetárias, com um grande comprimento e um ângulo de engrenagem helicoidal de 45° . Ela consiste em um fuso central, um número variável de fusos planetários dentro de um cilindro com engrenagem interna.

O fuso principal, que é conectado à "rosca única" da seção de alimentação, é acionado pelo motor. Devido à engrenagem do fuso principal e à engrenagem interna do cilindro, a rotação e, portanto, o torque do fuso principal são distribuídos aos fusos planetários, fazendo-os girar.

83

83



A engrenagem helicoidal causa tanto um movimento de laminação semelhante ao de um laminador quanto o transporte axial do material.

No final de uma seção de rolos planetários, o material pode ser transportado para equipamentos posteriores, como, por exemplo, uma matriz, uma placa de extremidade aberta, uma unidade de peletização ou uma bomba de fusão (3).

O equipamento posterior gera uma pressão que precisa ser fornecida pela extrusora. Isso resulta em uma seção totalmente preenchida no final da seção de rolos planetários (2b). A pressão depende, por exemplo, dos parâmetros do material, da temperatura da massa, da vazão e da geometria dos canais de fluxo posteriores.

84