فرایند تولید لوله های پلی اتیلنی و تشریح نقش اجزای آن در کیفیت لوله

دکتر حسین نازکدست
دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)
دانشکدهٔ مهندسی پلیمر

تکنولوژی تولید لوله‌های پلی اتیلنی

- اجزای بالادست تولید لوله‌های تحت فشار PE (Upstream)
- اجزای پائین‌دست تولید لوله‌های تحت فشار PE (Downstream)

نکته:

در تولید لوله‌های تک جداره یا دو جداره و بطور کلی تمامی فرآیندهای پلیمری مانند تزریق، تولید فیلم، ورق و ...، فرآیند اکستروژن قدم اول و مشترک بین تمامی فرآیندهایت. بطور کلی اکسترودر قلب تپندۀ فرآیند پلیمرهاست.

اجزای بالا دستی (Upstream)

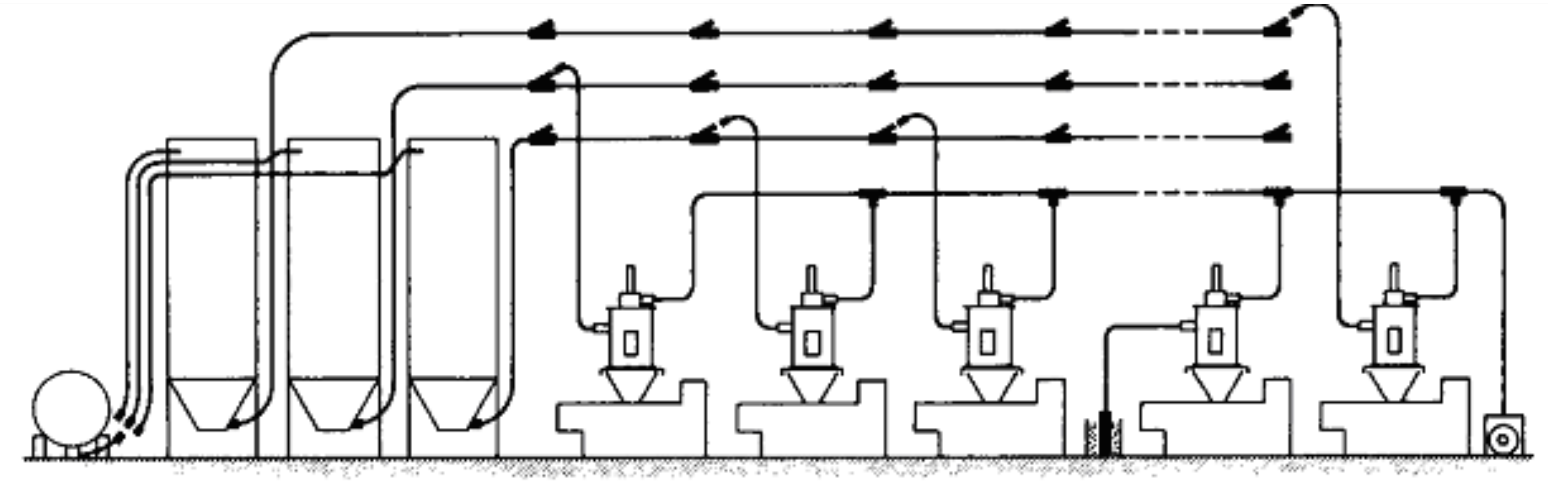
- سیستم خوراک دهی و انتقال مواد (Feeding and Conveying System):
  انتقال دهنده مواد از سیلو به اکسترودر
  - سیلو و انبارش مواد
  - سیستم اندازه گیری (Metering System)
  - خشک کن (Dryer)
  - پیمانه گیری (Dosing)
  - قیف (Hopper)
- اکسترودر (Extruder)
  - الکتروموتور (Electromotor) : تامین کننده انرژی
  - گیربکس (Gear Box) : انتقال دهنده انرژی الکتروموتور به ماردون
  - سیلندر (Barrel)
  - ماردون یا پیچ اکسترودر (Screw)
  - صافی (Screen Changer): حذف ناخالصی های جامد
  - کلگی (Die Head)

سیستم خوراک دهی و انتقال مواد
(Feeding and Conveying System)

- ✓ سیلو و انبارش مواد
- ✓ سیستم انتقال مواد (Conveying System)

الف - سیستم انتقال مواد از طریق پیچ (screw conveyor system)

ب- سیستم انتقال بادی (Pneumatic conveying system)

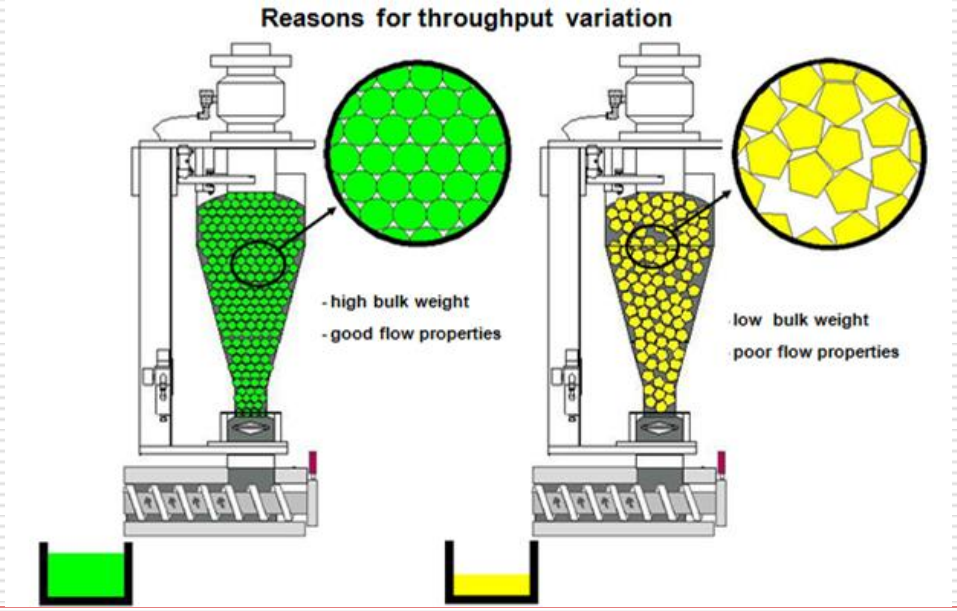


سیستم خوراک دهی و انتقال مواد
(Feeding and Conveying System)

- ✓ سیستم اندازه گیری (Metering System)

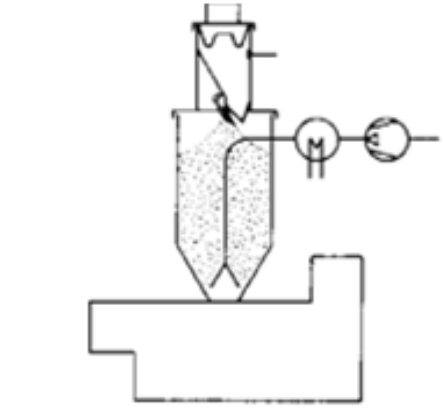
سیستم اندازه گیری حجمی (Volumetric metering system)

سیستم اندازه گیری وزنی (Gravimetric metering system)



سیستم خوراک دهی و انتقال مواد
(Feeding and Conveying System)

- ✓ خشک کن (Dryer)



سیستم خشک کن از نوع هوای تازه

سیستم خوراک دهی و انتقال مواد
(Feeding and Conveying System)

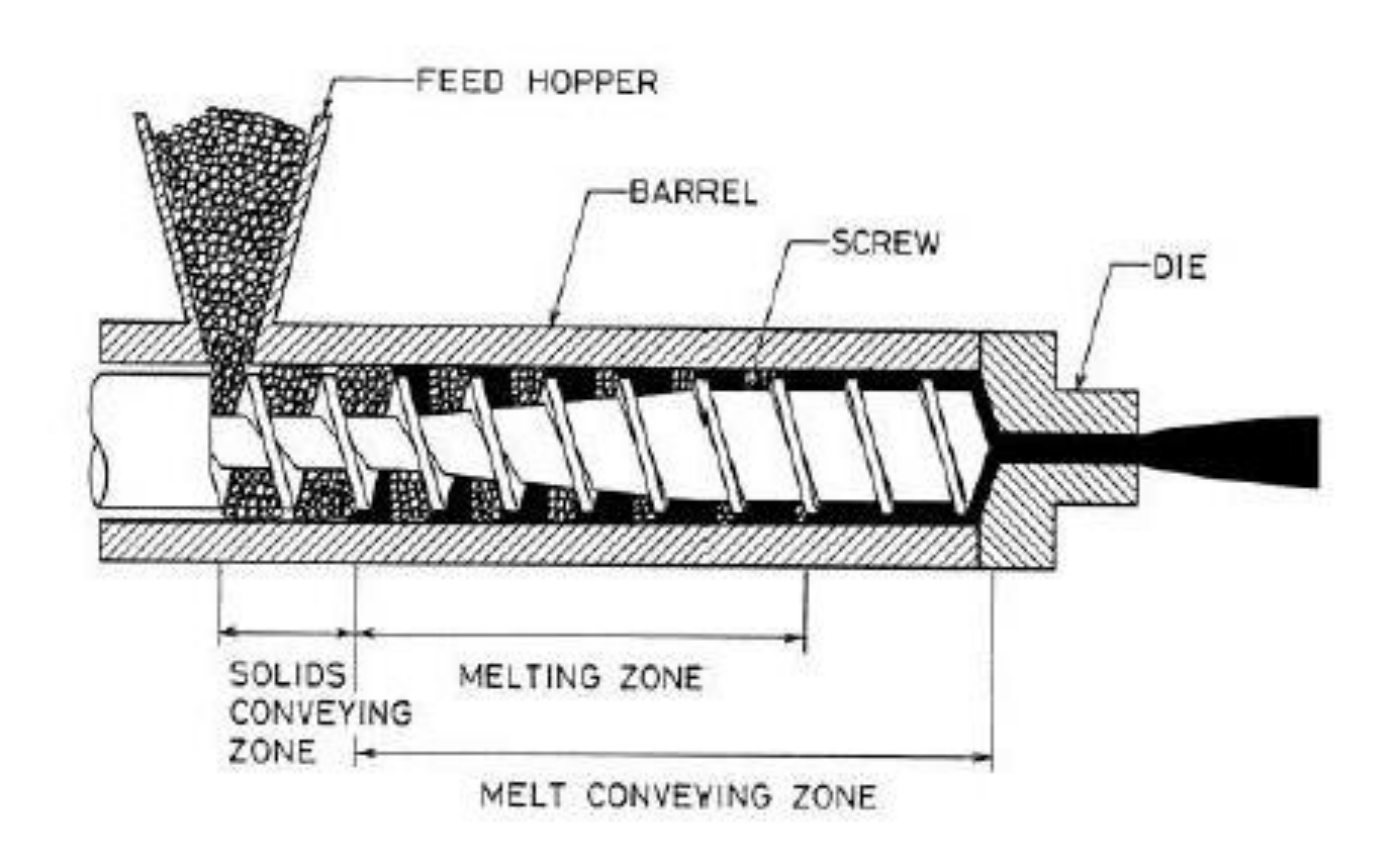
- ✓ پیمانه گیری (Dosing)
- ✓ قیف (Hopper)

اکسترودر (Extruder)

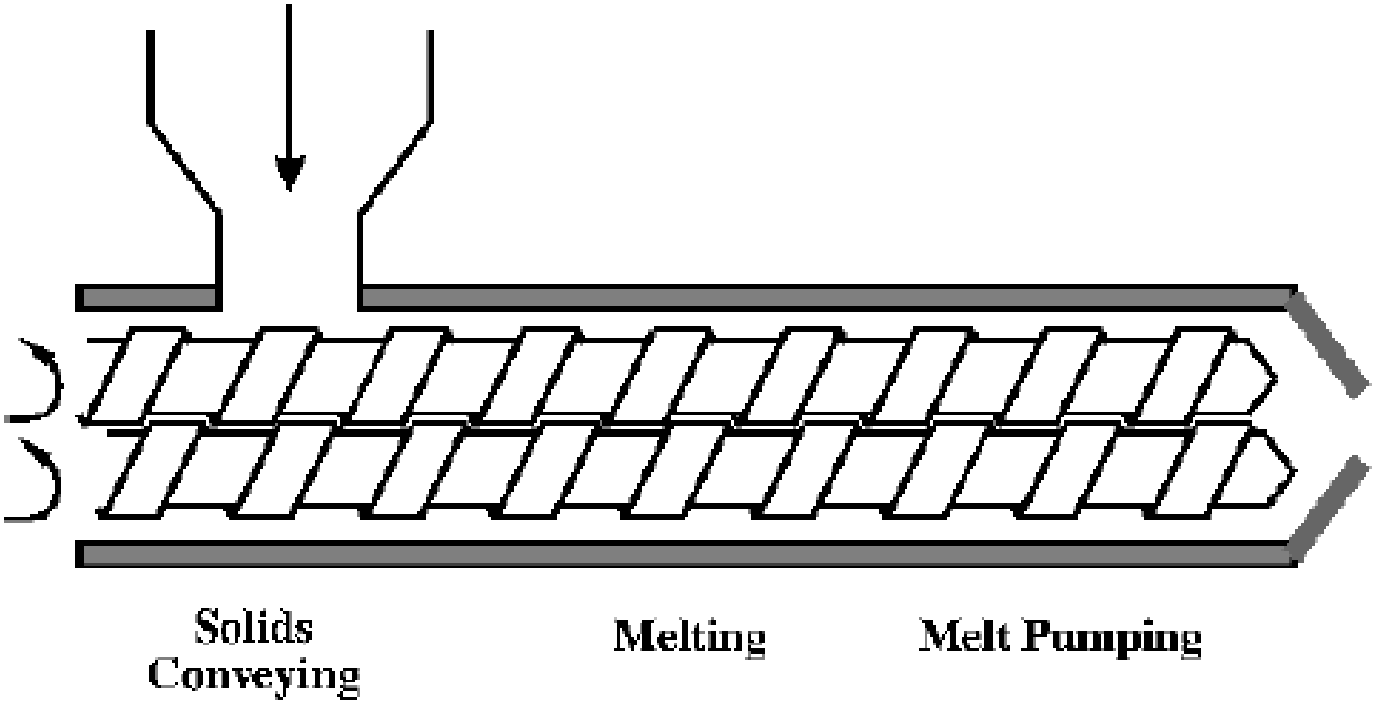
انواع اکسترودر

- تک پیچه
  - ساده
  - مانع دار (Barrier Screw)
- دوپیچه
  - همسوگرد
  - نا همسوگرد
    - موازی
    - ناموازی یا مخروطی

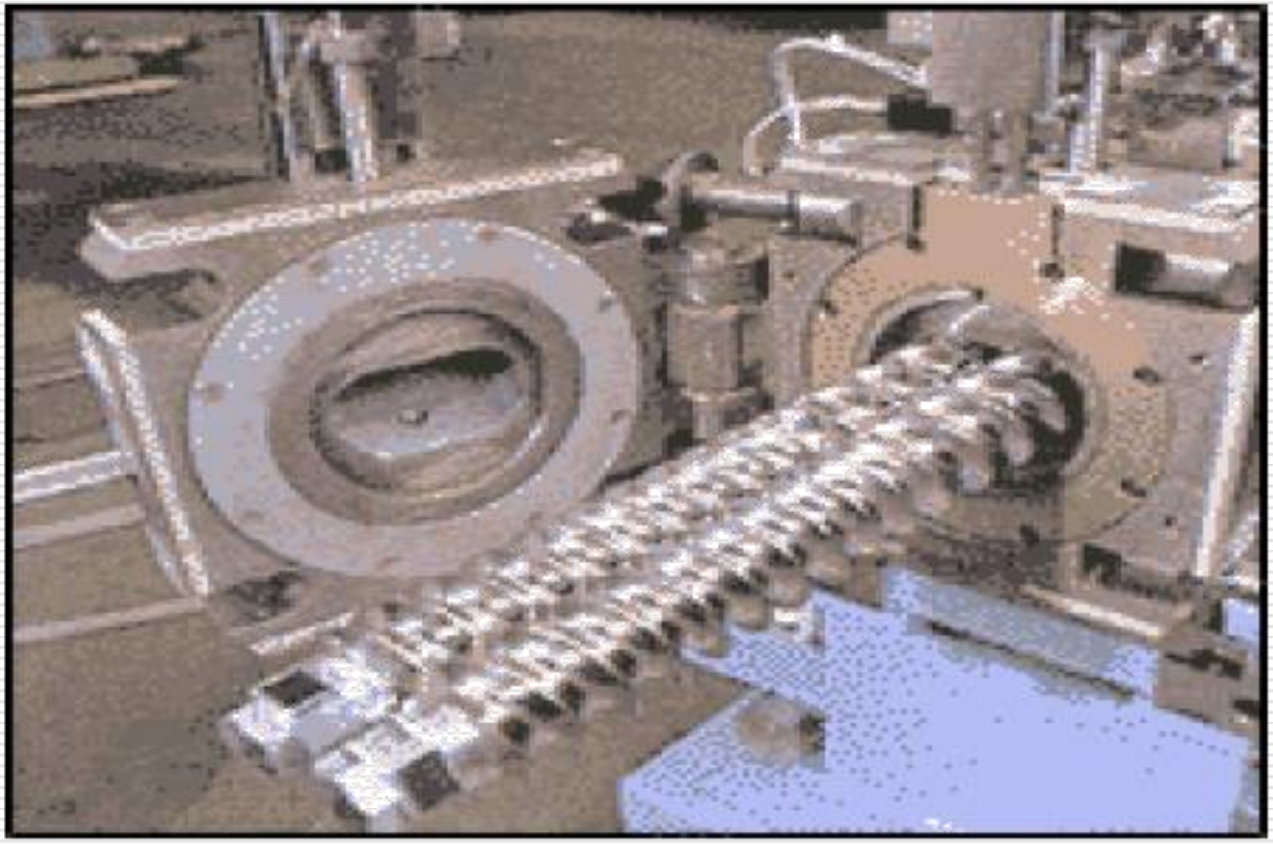
اکسترودر تک پیچه



اکسترودر دو پیچه همسوگرد



اکسترودر ۲ پیچه



اکسترودر ۲ پیچه ناهمسوگرد موازی

اکسترودر ۲ پیچه ناهمسوگرد موازی

اجزاء اکسترودر

- الکتروموتور (Electromotor) : تامین کننده انرژی
- گیربکس (Gear Box) : انتقال دهنده انرژی الکتروموتور به ماردون
- سیلندر (Barrel): ایجاد سطح انتقال حرارت
- ماردون یا پیچ اکسترودر (Screw): ذوب کردن و جلو راندن پلیمر مذاب که برحسب ماده مورد استفاده متفاوت است.
- صافی (Screen Changer): حذف ناخالصی های جامد
- کلگی (Die Head): شکل دهی

اکسترودر (Extruder)

- ✓ الکتروموتور (Electromotor)

  نوع AC

  نوع DC

تناسب توان الکتروموتور با ظرفیت و دبی اکسترودر

نوع اکسترودر	ظرفیت موتور (KW)	سرعت پیچ (min^{-1})	حداکثر دبی خروجی برای HDPE (Kg/h)
1-45-30B	۶۴	۳۰۰	۱۸۰–۲۰۰
1-60-30B	۶۸	۲۳۰	۳۰۰–۳۵۰
1-75-30B	۱۴۰	۱۸۰	۴۲۰–۵۰۰
1-90-30B	۱۸۰	۱۵۸	۶۰۰–۷۰۰
1-120-30B	۳۰۰	۱۱۰	۹۰۰–۱۰۰۰
1-150-30B	۴۳۰	۹۹	۱۲۵۰–۱۵۰۰
1-220-30B	۷۰۰	۶۷	۲۰۰۰–۲۳۰۰

اکسترودر (Extruder)

- ✓ گیربکس (Gear Box)

  مستقیم (بدون واسطه)

  غیر مستقیم (با استفاده از جعبه دنده یا تجهیزات مشابه)

اکسترودر (Extruder)

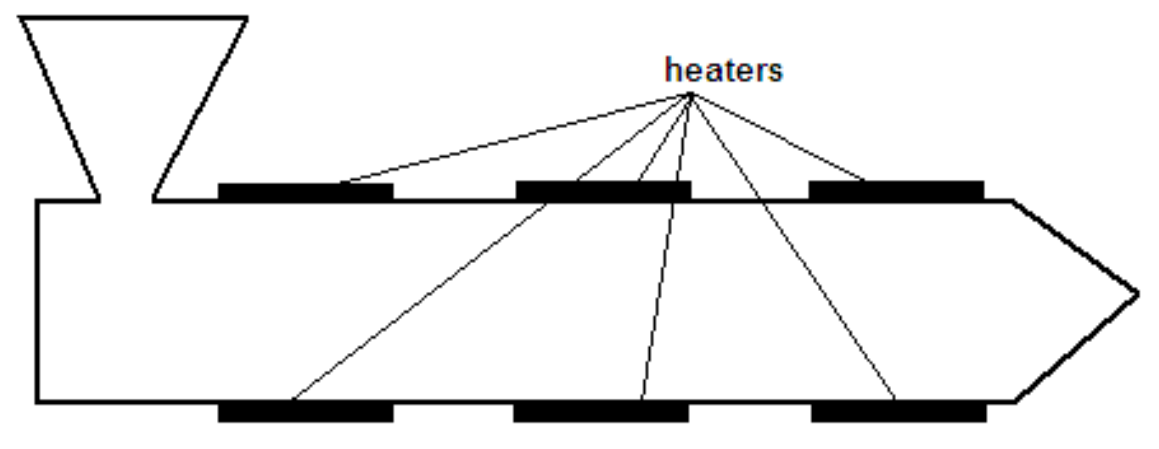
- ✓ سیلندر (Barrel)

انواع روشهای انواع حرارت‌دهی در اکسترودر:

- هدایتی: بیشتر برای راه‌اندازی و Start-Up
- Shear Viscous Heat (S.V.H.): شیوه مطلوب حرارت‌دهی

گرادیان دما

کنترل دما

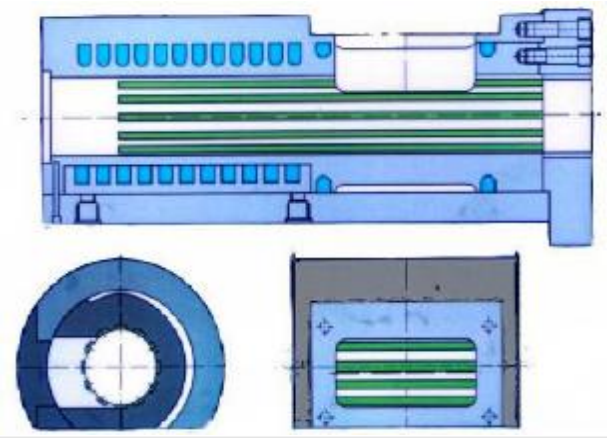


اکسترودر (Extruder)

- سیلندر (Barrel)

سیلندرهای شیار دار (Grooved Barrel):

جهت یکنواختی در خوراک دهی



اکسترودر (Extruder)

- ✓ ماردون یا پیچ اکسترودر (Screw)

در فرآیند اکستروژن ترموپلاستیک ها، پیچ دارای سه وظیفه اصلی می باشد:

۱- انتقال گرانول های جامد به جلو (Solid conveying)
۲- ذوب کردن گرانول های جامد (Plasticating)
۳- متراکم کردن مواد مذاب و پمپ نمودن مذاب (Metering)

اکسترودر (Extruder)

- ماردون یا پیچ اکسترودر (Screw)

ناحیه اختلاط و همگن سازی:

برای اطمینان از خروج یک مذاب یکنواخت از اکسترودر معمولاً نواحی اختلاط شدید در بعضی نقاط پیچ تعبیه می گردد. هندسه این نواحی خاص بوده و به صورت های مختلفی می باشد.

اکسترودر (Extruder)

- ماردون یا پیچ اکسترودر (Screw)

نسبت طول به قطر پیچ (L/D):

نسبت مناسب طول پیچ به قطر برای فرآیند پلی اولفین ها بین ۲۸-۳۴ می باشد. هرچه این نسبت بیشتر باشد مذاب یکنواخت تری بدون نوسانات تولید می گردد. قطر پیچ نیز باید متناسب با سایز لوله تولیدی باشد.

تناسب قطر خارجی لوله با قطر پیچ اکسترودر

قطر خارجی لوله (میلیمتر)	قطر پیچ (میلیمتر)
۱۶-۶۳	۴۵
۵۰-۲۵۰	۶۰
۲۵۰-۶۳۰	۹۰
۴۵۰-۱۲۰۰	۱۲۰

اکسترودر (Extruder)

- ماردون یا پیچ اکسترودر (Screw)

  پیچ های مانع دار (Barrier Screw)

  مزایای پیچ های مانع دار عبارتند از:

۱- کنترل مذاب سازی گرانول ها

۲- تولید مذاب همگن بدون گرانول های ذوب نشده

۳- کاهش دمای مذاب

۴- افزایش خروجی اکسترودر با کنترل و بهینه سازی مذاب

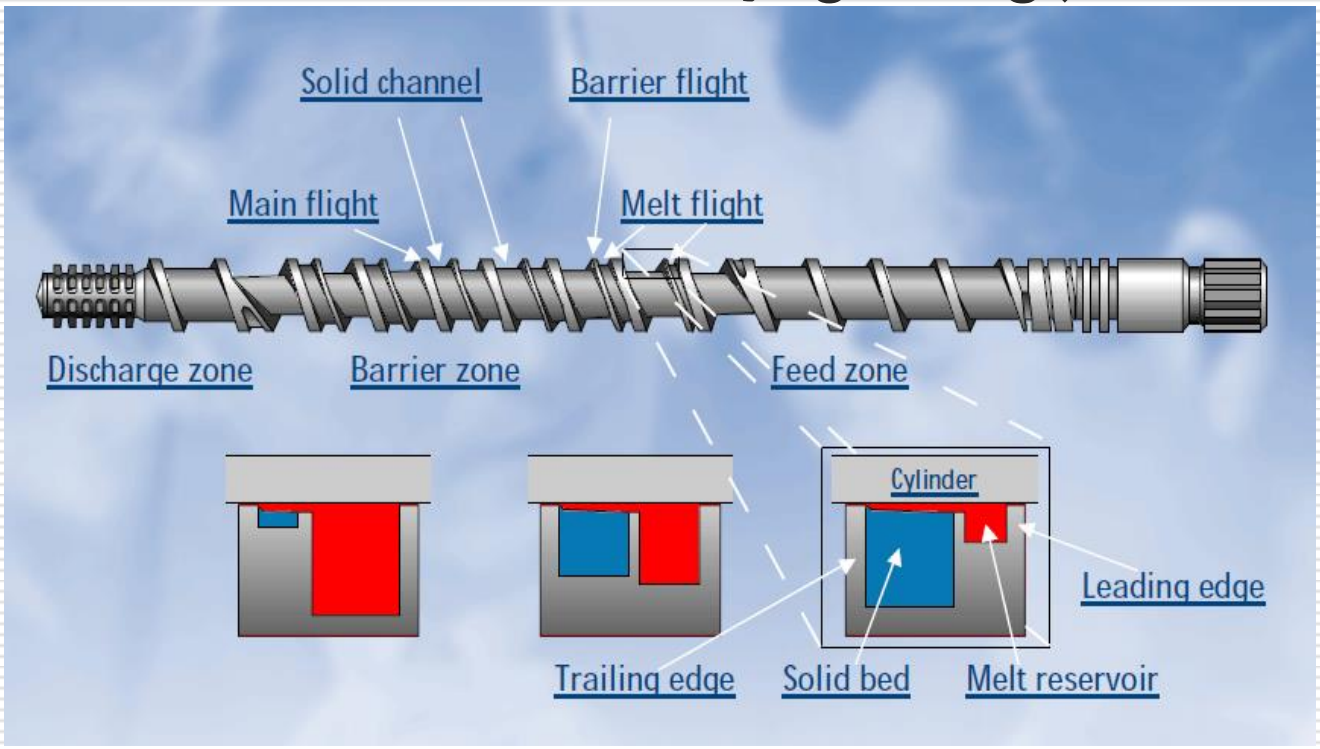
۵- همگن کردن مذاب به علت برش بسیار زیاد

۶- امکان فرآیند مواد با خواص مختلف، افزایش دامنه تولید محصول با مواد اولیه مختلف

اکسترودر (Extruder)

- ماردون یا پیچ اکسترودر (Screw)

پیچ های مانع دار (Barrier Screw)



پیچ مدوک

اکسترودر (Extruder)

- صافی (Screen Changer):

برای جلوگیری از خروج مواد کاملاً مذاب نشده ، تجمع های ناشی از وجود مستربچ نامناسب یا ژل های پلیمری تشکیل شده حین فرآیند اکستروژن از یک صفحه مشبک و یک قاب فلزی استفاده می گردد.این صفحه مشبک بعد از یک مدت زمان تولید به دلیل عوامل ذکر شده دچار گرفتگی خواهد شد که می بایست با یک صفحه مشبک نو جایگزین گردد.

اکسترودر (Extruder)

- کلگی (Die Head):

برای تولید لوله های پلی اولفین از چهار نوع کلگی مختلف استفاده می شود:

۱- کلگی اسپایدر (Spider)

۲- کلگی اسپیرال (Spiral)

۳- کلگی سبدی (Lattice basket)

۴- ترکیبی (Combination)

اجزای پایین دستی (Downstream)

- دای (Die)
- کالیبراتور (Calibrator)
- تانک خلاء (Vacuum Tank)
- تانک های خنک کننده (Cooling Tank)
- کنترل ضخامت و ابعاد (دستگاه اولتراسونیک)
- نشانه گذاری (Marking)
- کشنده (Haul-off)
- واحد برش (Cutting Unit)
- جمع کننده (Roller)

اجزای پایین دستی (Downstream)

- ✓ دای (Die)

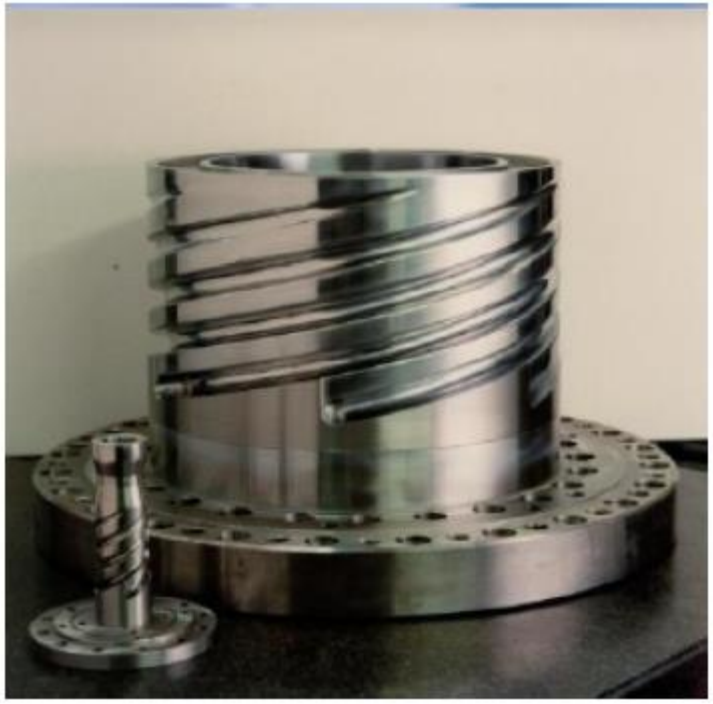
دو ویژگی عمده دای عبارتند از :

۱- دای باید هماهنگ با خواص ویژه ماده مورد فرآیند (پایداری حرارتی ، میزان چسبندگی به دیواره) ساخته شود.

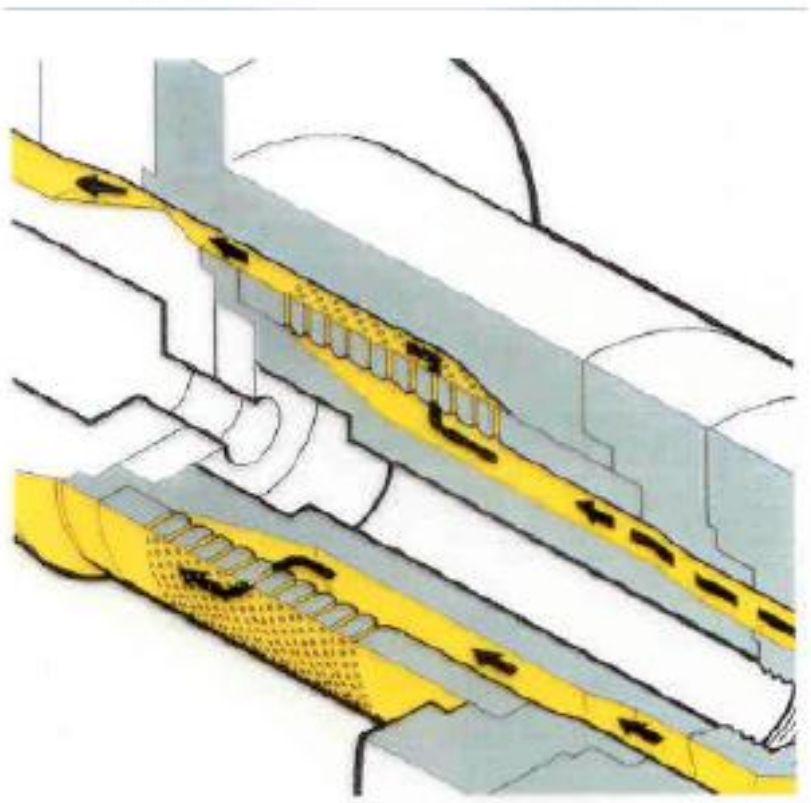
۲- دای می بایست به نحو صحیح و با توجه به دبی اکسترودر و سایز لوله طراحی شود.

نمایی از یک دای و نواحی مختلف آن

کلگی اسپیرال



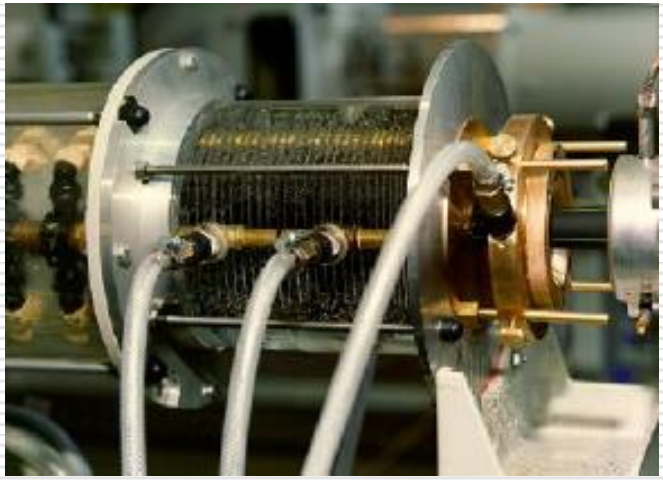
کلگی سبدی یا بسکت



اجزای پایین دستی (Downstream)

- کالیبراتور (Calibrator):

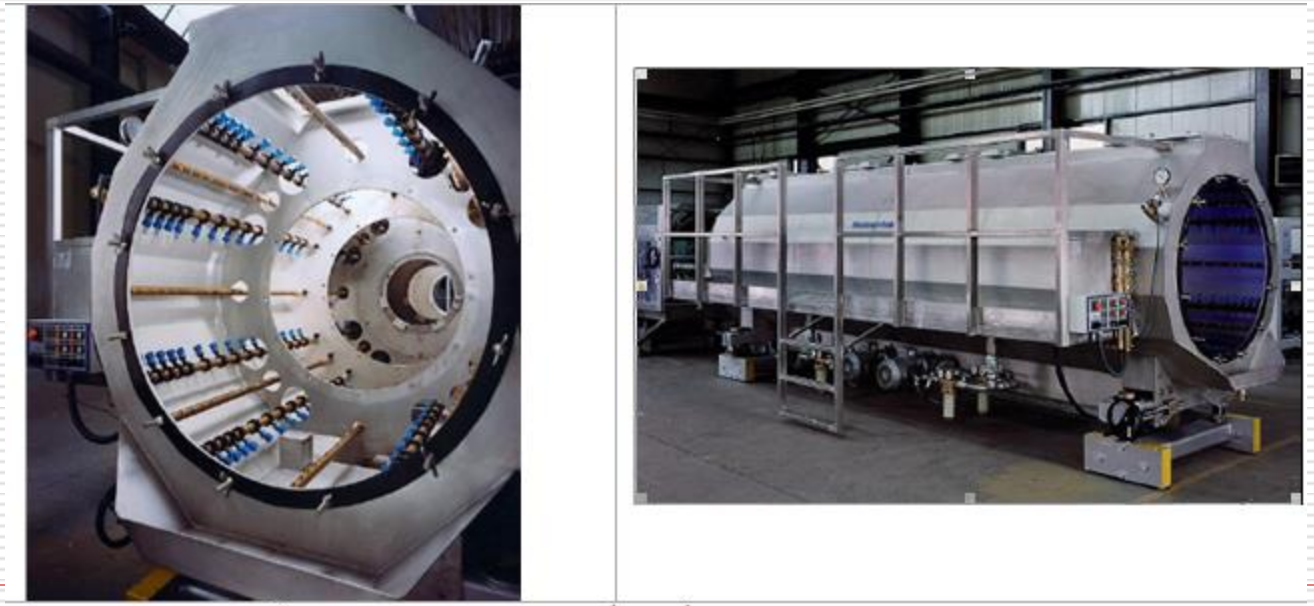
به منظور تنظیم و تثبیت دقیق قطر و ابعاد لوله خروجی از دای از وسیله ای به نام کالیبراتور استفاده می گردد .



اجزای پایین دستی (Downstream)

- تانک خلاء (Vacuum Tank):

به منظور ایجاد خلاء در اطراف کالیبراتور و نیز خنک کردن اولیه لوله از یک محفظه کاملاً ایزوله با فشاری کمتر از اتمسفر محیطی، به نام تانک خلا استفاده می گردد.



نمایی از یک تانک خلاء و نواحی مختلف آن

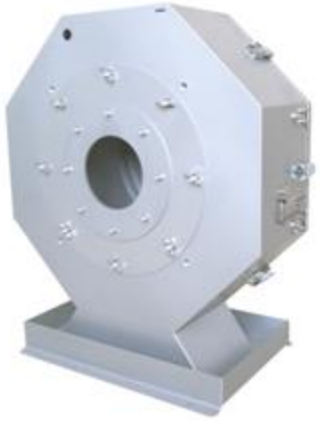
اجزای پایین دستی (Downstream)

- تانک های خنک کننده (Cooling Tank):

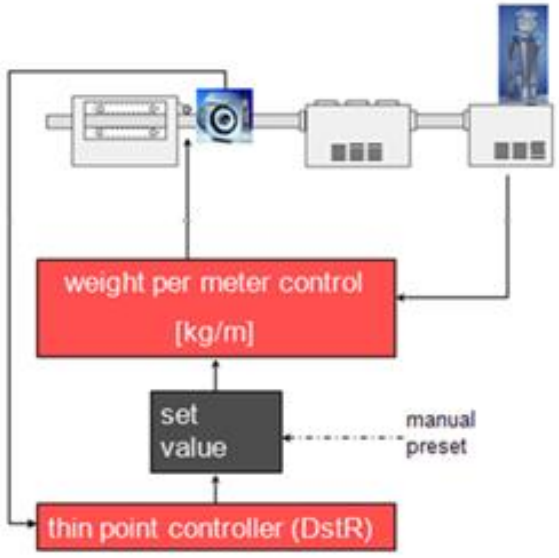
لوله در تانک خلاء شکل و ابعاد نهایی خود را گرفته سپس وارد تانک های خنک کننده می شود تا کاملاً به صورت جامد تبدیل شود. عملکرد تانک های خنک کننده به صورت مستقیم بر خواص فیزیکی مکانیکی لوله تولیدی تاثیرگذار است.

اجزای پایین دستی (Downstream)

- ✓ کنترل ضخامت و ابعاد (دستگاه اولتراسونیک):



نمایی از یک دستگاه اندازه گیری ضخامت اولتراسونیک



نمایی از یک حلقه بسته کنترلی

اجزای پایین دستی (Downstream)

- نشانه گذاری (Marking):

نشانه گذاری به منظور ثبت اطلاعات اولیه بر روی لوله می باشد. مطابق استاندارد ملی ۱۳۳۱ این اطلاعات باید شامل موارد زیر باشد :

نام شرکت تولید کننده، کد کارخانه، ابعاد اسمی (قطر × ضخامت) ، نوع ماده اولیه مصرفی ، فشار اسمی ، نسبت ابعاد استاندارد ، تاریخ تولید ، شماره دستگاه، شیفت تولید ، علامت استاندارد ، شماره استاندارد ، نوع مصرف.

اجزای پایین دستی (Downstream)

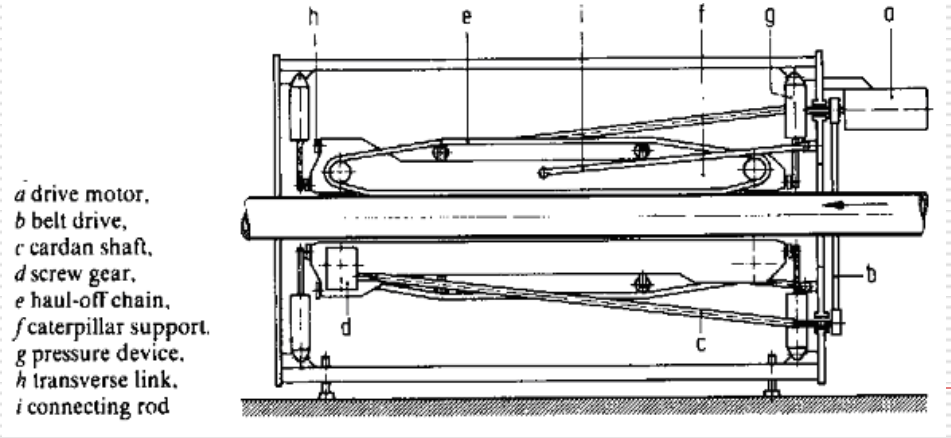
- کشنده (Haul-off):

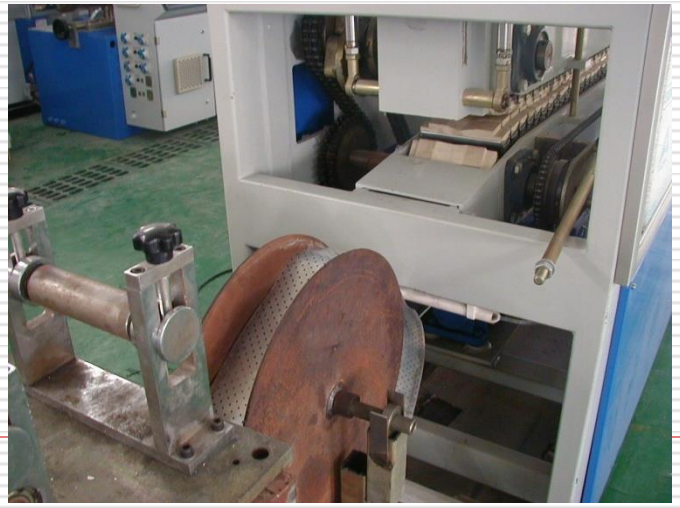
عوامل موثر در انتخاب و تنظیم کشنده عبارتنداز:

۱- قطر لوله: میزان بازشوندگی فک های کشنده بایستی ۵۰ میلیمتر بیشتر از قطر بزرگترین لوله ای باشد که خط قابلیت تولید آن را دارد.

۲- ضخامت دیواره و سختی سطح لوله: فک ها باید به صورت متقارن در محیط لوله قرار گیرند.

۳- سرعت و توان کشنده: کشنده نباید بیش از ۸۰٪ توان خود را برای کشیدن لوله مصرف کند.





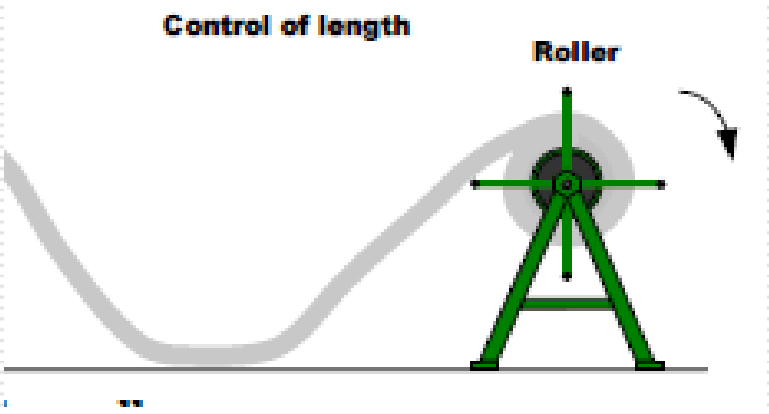
اجزای پایین دستی (Downstream)

- ✓ واحد برش (Cutting Unit)

اجزای پایین دستی (Downstream)

- جمع کننده (Roller):

برای لوله های تا سایز ۷۵ میلیمتر می توان آنها را بصورت کلاف های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ متری بسته بندی نمود. برای این منظور از جمع کننده های پنوماتیک استفاده می کنند. پارامترهای موثر در هنگام کلاف شدن عبارتند از: سرعت جمع کننده، قطر جمع کننده و دمای لوله در حال جمع شدن. لازم به ذکر است قطر جمع کننده معادل ۲۴ برابر قطر لوله می باشد.



نقیصه، عوامل نقیصه‌زا و روشهای اصلاح آنها

- **عوامل موثر در تغییر رفتار از چغرمه به شکننده**
  - عوامل مربوط به مواد اولیه
  - عوامل مربوط به طراحی شکل هندسی فرایند:
    - نسبت طول به قطر پیچ (L/D)
    - نوع پیچ (Screw)
    - نوع کلگی

نقیصه، عوامل نقیصه‌زا و روشهای اصلاح آنها

- **عوامل موثر در تغییر رفتار از چغرمه به شکننده**
  - عوامل مربوط به شرایط عملیاتی:
    - دمای مذاب
    - زمان اقامت
    - دور پیچ و قدرت موتور
    - دمای آب حمام خنک کن
    - سرعت کشش
  - عوامل مربوط به شرایط نصب، بهره برداری و مصرف

با تشکر از توجه شما