تجهیزات اختلاط پلیمرها

(Polymer mixing Tools)

گردآورنده : محمد احمدی

شماره دانشجویی: ۹۲۰۰۹۵۲۹۷

استاد مربوطه: جناب آقای دکتر اردشیر سعیدی

بهار ۱۳۹۳

پیشگفتار:

نیاز به استفاده از پلیمرهایی با ویژگی های جدید، دانشمندان علم پلیمر را بر آن داشت تا دست به ساختن موادی با ویژگی های جدید بزنند. ساخت مواد پلیمری جدید از طرفی نیاز به داشتن فناوری های نوین و از طرف دیگر هزینه بر بود. لذا دانشمندان و پژوهشگران علم پلیمر تصمیم گرفتند آمیزه هایی از پلیمرهای ساخته شده را تولید کنند تا ویژگی های مورد نظر را داشته باشد.

ساخت آمیزه های پلیمری، نیاز به استفاده تجهیزات اختلاط پلیمرها دارد و در این تحقیق به معرفی انواع تجهیزات اختلاط پلیمرها پرداخته شده است. البته با توجه به گستردگی انواع اختلاط پلیمرها و تجهیزات اختلاط، در اینجا فقط به معرفی تعدادی از تجهیزاتی می پردازیم که کاربرد بیشتری در صنعت آمیزه سازی دارند.

آشنایی با تجهیزات اختلاط برای افرادی که قصد ساخت و تولید آمیزه های پلیمری را دارند ضروری به نظر می رسد چرا که کاربر باید با توجه به توانایی ها، ویژگی ها، هزینه های ثابت و جاری و مزایا و معایب استفاده از تجهیزات مختلف، دستگاه مورد نظر خود را انتخاب نماید.

در اینجا قصد دارم از استاد محترم، جناب آقای دکتر اردشیر سعیدی، دوستان خوبم، مهندس بهزاد صادقی (پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران) و مهندس مهدی کامیاب و همچنین کارکنان محترم شرکت ایده صنعت آتبین کمال تشکر و قدردانی را انجام دهم.

محمد احمدی – تابستان ۱۳۹۳

فهرست مطالب:

مطلب صفحه

چکیده ۴

فصل اول – تجهیزات اختلاط فرآیند ناپیوسته ۵

۱-۱) تجهیزات اختلاط فرآیند ناپیوسته باز ۶

۱-۱-۱) غلتک دو محوری ۷

۱-۲) تجهیزات اختلاط فرآیند ناپیوسته بسته ۸

۱-۲-۱) مخلوط کننده های صنعتی ۹

فصل دوم – تجهیزات اختلاط فرآیند پیوسته ۱۵

۲-۱) تجهیزات اختلاط مارپیچ دار ۱۶

۲-۱-۱) اکسترودر تک پیچه ۱۷

۲-۱-۲) اکسترودر دو پیچه ۱۸

۲-۲) تجهیزات اختلاط روتور دار ۲۱

منابع ۲۴

فهرست شکل ها:

شکل	صفحه
۱	۶
۲	۷
۳	۹
۴	۱۰
۵	۱۱
۶	۱۱
۷	۱۱
۸	۱۲
۹	۱۲
۱۰	۱۲
۱۱	۱۳
۱۲	۱۳
۱۳	۱۴
۱۴	۱۷
۱۵	۱۸
۱۶	۱۹
۱۷	۲۰
۱۸	۲۰
۱۹	۲۱
۲۰	۲۲
۲۱	۲۳

چکیده:

تجهیزات اختلاط از نظر نوع فرآیند به دو دسته ی فرآیند پیوسته و فرآیند ناپیوسته تقسیم می شوند.

تجهیزات فرآیند ناپیوسته را می توان به تجهیزات فرآیند ناپیوسته ی باز و بسته تقسیم کرد که از تجهیزات فرآیند نا پیوسته ی باز می توان به غلتک ها اشاره کرد. تجهیزات فرآیند ناپیوسته ی بسته نیز شامل دسته ی گسترده ای از مخلوط کننده ها به نام مخلوط کننده های داخلی می باشند. مخلوط کننده های صنعتی گروهی از مخلوط کننده های داخلی هستند که کاربرد بسیاری در صنایع مختلف دارند. غلتک ها توانایی اختلاط متفرق کننده (Dispersive mixing) را دارند اما اختلاط توزیعی (Distributive mixing) خوبی ایجاد نمی کنند در صورتی که مخلوط کننده های داخلی می توانند اختلاط توزیعی خوبی را نیز در پی داشته باشند. درون مخلوط کننده های داخلی از پره هایی استفاده می شود که با توجه به کاربردشان، طراحی های مختلفی دارند.

تجهیزات فرآیند پیوسته به دو دسته ی مارپیچ دار و روتور دار تقسیم می شوند. تجهیزات فرآیند پیوسته ی مارپیچ دار، اکسترودرها هستند که می توانند تک، دو و یا چند پیچه باشند. اکسترودرهای دو پیچه نسبت به تک پیچه ها می توانند نیروی برشی بیشتری به مواد اعمال کنند و همچنین بازدهی بیشتری نسبت به اکسترودرهای تک پیچه دارند اما ارزان تر بودن اکسترودرهای تک پیچه نسبت به دو پیچه ها باعث شده است که کماکان این دسته از اکسترودرها مورد استفاده قرار گیرند. پیچ های اکسترودرهای دو پیچه بصورت تکه تکه هستند و این قطعات با توجه به منطقه ای که در آنجا بکار گرفته می شوند طراحی می شوند. در صورتی که هدف استفاده از اکسترودر دوپیچه تغییر کند، این امکان وجود دارد که با توجه به هدف جدید، جای قطعات پیچ با هم تعویض شود.

فصل اول : تجهیزات اختلاط فرآیند نا پیوسته

این نوع تجهیزات بصورت ناپیوسته عمل اختلاط را انجام می دهند. در واقع تجهیزات اختلاط ناپیوسته در چند مرحله مواد را با هم مخلوط می کنند. تجهیزات اختلاط ناپیوسته عمدتا نسبت به تجهیزات اختلاط پیوسته ظرفیت کمتری دارند. این دسته از تجهیزات عمدتا مشکلاتی نظیر نظافت بعد از اختلاط، را برای کاربرها به همراه دارند.

تجهیزات اختلاط فرآیند ناپیوسته به دو گروه تقسیم می شوند:

تجهیزات اختلاط فرآیند نا پیوسته باز (Open Batch mixers)

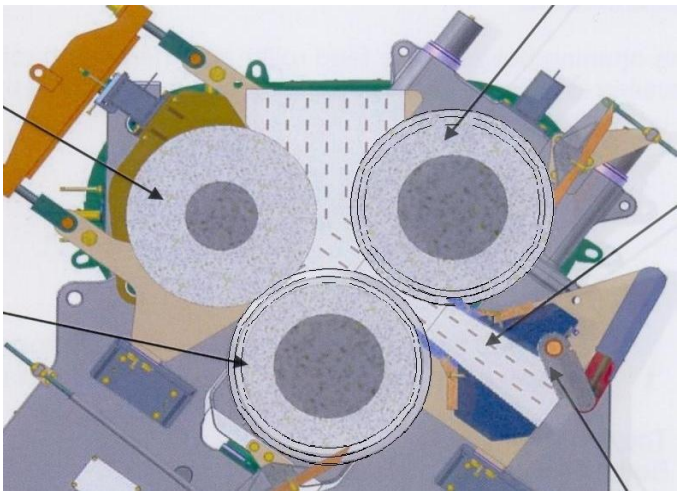
تجهیزات اختلاط فرآیند نا پیوسته بسته (Close Batch mixers)

در ادامه به توضیح و معرفی مختصر هر یک می پردازیم.

۱-۱) تجهیزات اختلاط فرآیند ناپیوسته باز

این دسته از تجهیزات شامل تجهیزات اختلاط ناپیوسته ای هستند که مواد در آن ها در یک سیستم باز با هم مخلوط می شوند. این دسته از تجهیزات بعضا برای پیش اختلاط در صنعت استفاده می شوند.

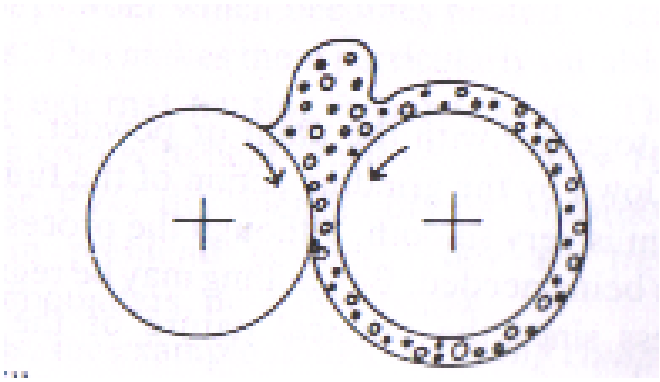
غلتک ها یکی از مهم ترین تجهیزات این دسته می باشند که در ابتدا بیشتر برای اختلاط لاستیک ها کاربرد داشتند اما امروزه کاربردهای بیشتری دارند.



شکل ۱-۱) نمایی از یک غلتک در حال اختلاط مواد

۱-۱-۱) غلتک دو محوری (two roll mill)

غلتک دو محوری یکی از ابتدایی ترین انواع غلتک ها می باشد که اولین بار حدودا در سال ۱۸۳۶ میلادی مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۲) نمای شماتیک غلتک دو محوری (مواد ممکن است به دلیل اختلاف دما یا هر دلیل دیگری به دور یکی از غلتک ها تجمع بیشتری داشته باشند)

در انتخاب غلتک ها برای اختلاط باید پارامترهایی مد نظر قرار داده شوند، مانند:

نسبت سایش (friction ratio) که با سرعت چرخش غلتک ها نسبت مستقیم دارد. هرچه سرعت چرخش غلتک ها بیشتر باشد، تنش برشی بیشتری به مواد وارد خواهد شد و در نتیجه اختلاط بهتری صورت خواهد گرفت.

فاصله بین غلتک ها (nip) که با توجه به اندازه ی ذرات و نوع ماده ی مورد نظر باید تنظیم شود. هرچه این فاصله کمتر باشد طبیعتا سرعت فرآیند اختلاط کمتر خواهد بود چرا که مدت زمان گذر مواد از میان غلتک ها بیشتر خواهد شد.

دمای غلتک ها که با می تواند با توجه به نوع اختلاط و یا چگونگی سازگاری بهتر مواد مورد نظر برای اختلاط تنظیم شود.

غلتک های عمدتا می توانند اختلاط متفرق کننده (dispersive mixing) خوبی ایجاد کنند ولی در عین حال اختلاط توزیعی (distributive mixing) چندان مناسبی را نشان نمی دهند. (با این توضیح که زمانی

می گوییم اختلاط متفرق کننده داریم که ذرات فاز متفرق بخوبی ریز شده باشند تا بتوانند ترکیب یکنواختی را با فاز زمینه در همان نقطه ی اختلاط ایجاد کنند در حالی که منظور از اختلاط توزیعی، همگن بودن کل ماده از نظر مخلوط شدن دو یا چند ماده با یکدیگر است. یعنی توزیع مواد در درون فاز زمینه یکسان باشد.)

از غلتک ها در ساخت آمیزه های الاستومری، صنعت اختلاط مواد معدنی و ... استفاده می شود.

۱-۲) تجهیزات اختلاط فرآیند ناپیوسته بسته

این دسته از تجهیزات شامل مخلوط کننده های داخلی (internal mixers) می شوند. مخلوط کننده های داخلی عمدتا به شکل محفظه ای ثابت یا در حال چرخش هستند که پره (تیغه) ای درون آن ها به عمل اختلاط کمک می کند. مخلوط کننده های داخلی را می توان بر اساس نوع پره به انواع مختلفی دسته بندی کرد.

از متداول ترین پره (تیغه) هایی که در مخلوط کننده های داخلی کاربرد دارند می توان به پره های سیگما، کَم، بنبوری، رولر و ... اشاره کرد (Roller, Banbury, CAM, Sigma blades). لازم به ذکر است نوع تیغه هارا بر اساس شکل و توانایی آن ها در ایجاد عمل اختلاط، تعیین می کنند.

طراحی پره ها (تیغه ها) با توجه به هدف استفاده از آن ها در مخلوط کننده های داخلی انجام می گیرد. یکی از معیارهای مهم در طراحی، قدرت ایجاد نیروی برشی توسط پره می باشد. در برخی از فرآیندهای اختلاط، ما نیاز به نیروی برشی زیاد (جهت اختلاط مناسب دو فازی که به خوبی با هم مخلوط نمی شوند) و در برخی، نیاز به نیروی برشی کمتری (برای جلوگیری از تخریب ساختار مورد نظر) داریم.

پره ی رولر (Roller blades) می تواند نیروی برشی زیادی ایجاد کند در حالی که پره ی بنبوری (Banbury blades) نیروی برشی متوسطی ایجاد می کند و در اختلاط الاستومرها و مواد بازیافتی کاربرد عمده ای دارد. پره ی کَم (CAM blades) نیز نیروی برشی متوسطی ایجاد می کند و بیشتر برای آسیاب کردن استفاده می شود. پره ی سیگما (Sigma blades) نیروی برشی کمی به مواد وارد می کند و در خمیر سازی کاربرد دارد.

شکل ۳) تعدادی از پره های پر کاربرد در مخلوط کننده های داخلی

۱-۲-۱) مخلوط کننده های صنعتی:

از جمله مهم ترین مخلوط کننده های داخلی، مخلوط کننده های صنعتی هستند که در واقع طراحی های خاصی از مخلوط کننده های داخلی هستند که کاربرد فراوانی در صنعت دارند. این مخلوط کننده ها در صنایع غذایی، شیمیایی، دارویی، معدنی و همچنین به منظور اختلاط پلاستیک ها و ... استفاده می شوند.

در این مخلوط کننده ها، پره های مختلف برای ایجاد مخلوطی همگن درون دستگاه تعبیه می شوند. برخی از انواع مخلوط کننده های صنعتی دارای حرکت دورانی هستند که این مسئله می تواند اختلاط توزیعی (ditributive mixing) خوبی برای ما ایجاد کند. ضمنا این مخلوط کننده ها دارای قابلیت تنظیم فشار، دما، حرارت بیرونی و درونی می باشند.

ویژگی دیگر مخلوط کننده های صنعتی این است که برخی از این مخلوط کننده ها دارای سیستم آغاز و توقف (start & stop) هیدرلیکی یا الکتریکی هستند که می تواند اختلاط را رفته رفته افزایش دهد و در انتها به آرامی نیروی برشی وارد به مواد را ترجیحا کاهش دهد.

برای انتخاب یک مخلوط کننده ی صنعتی جهت ایجاد یک آمیزه ی خاص، ویژگی هایی از مخلوط کننده با توجه به هدف از ایجاد اختلاط و شرایط انجام عملیات اختلاط باید مد نظر قرار بگیرند که در ادامه به برخی از آن ها اشاره می کنیم.

D : بیشینه ی قطر محور چرخش

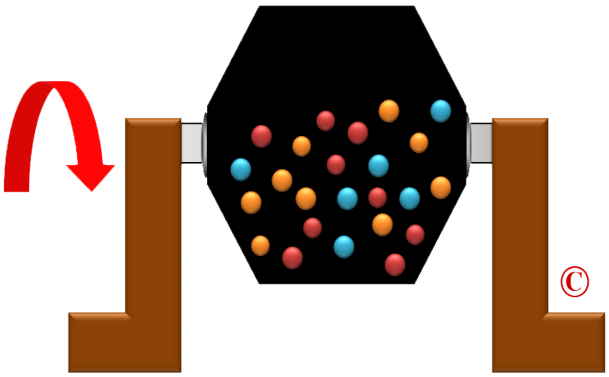
N : سرعت چرخش پره (دور بر دقیقه/ثانیه)

T : قطر مخزن (مخازن یا محفظه های مخلوط کننده های صنعتی بیشتر بصورت استوانه ای می باشند.)

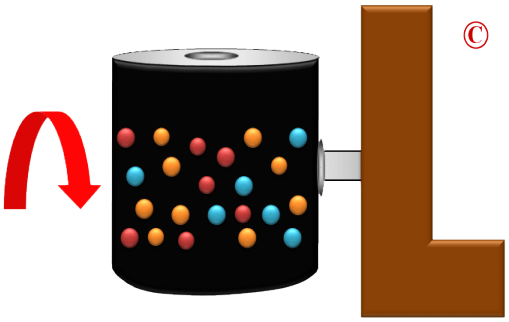
P : توان ورودی به موتور الکتریکی یا نیوماتیکی

Q : ظرفیت پمپ کردن پره (میزان ماده ای که پره در هر بار چرخش می تواند جابجا کند.)

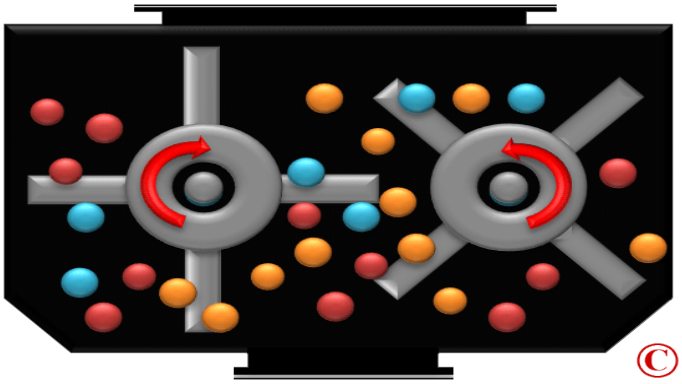
مخلوط کننده های صنعتی بر اساس نوع عملکرد دارای انواع گوناگونی هستند که در این بخش تصاویر شماتیک تعدادی از این مخلوط کننده ها آورده شده است.



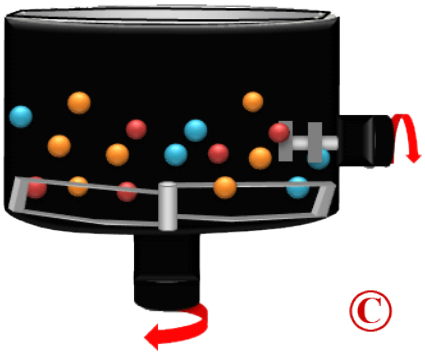
شکل ۴) Double – cone blender



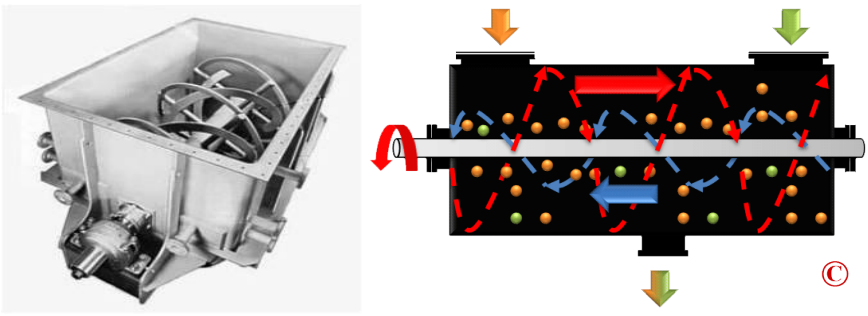
شكل ٥) Drum blender



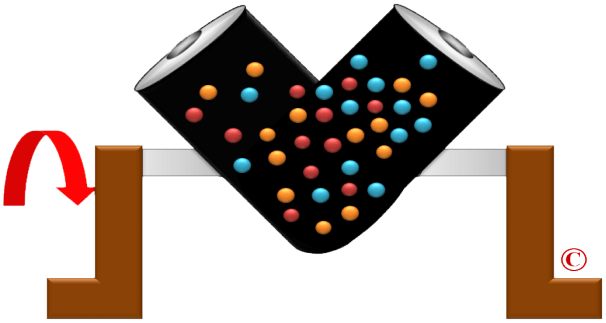
شكل ٦) Paddle mixer



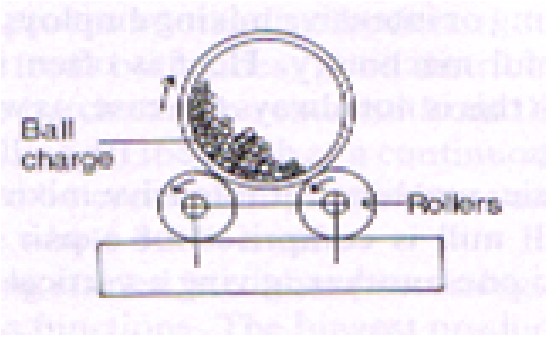
شكل ٧) High shear mixer – Granulator



شكل ٨) Ribbon blender



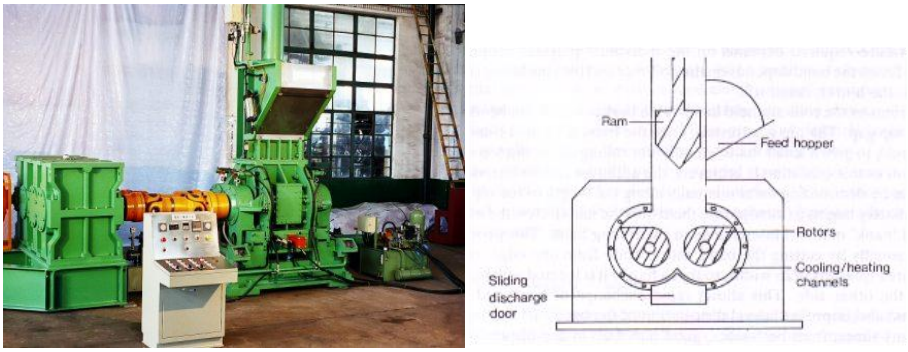
شكل ٩) V- blender



شكل ١٠) Ball mill

شکل ۱۱) Planetary mixer

مخلوط کننده ی سیاره ای (Planetary mixer) برای اختلاط مواد دارویی، غذایی، شیمیایی، پلاستیکی و بخصوص چسب ها بکار می رود. دارای ظرفیت متغیر (از ½ پینت تا ۷۵۰ گالن) ، توانایی ایجاد سرمایش و گرمایش، مکش و فشار می باشد . و به دلیل اینکه پره های این مخلوط کننده می توانند در مسیرهای مختلف حرکت کنند، مخلوط کننده ی سیاره ای توانایی ایجاد اختلاط در کمترین زمان ممکن را دارا می باشد.



شکل ۱۲) Banbury mixer

بنبوری نام تجاری یک نوع مخلوط کننده ی صنعتی می باشد که به شرکت فارل (Farrel) تعلق دارد. این مخلوط کننده توسط فارنلی بنبوری در سال ۱۹۱۶ برای اولین بار ساخته شد.

این مخلوط کننده معمولا دارای دو روتور که هرکدام دارای دو یا چهار پره ی حلزونی چرخشی (پره هایی از نوع بنبوری) که در یک پوسته ی استوانه ای قرار دارند، می باشد. مخلوط کننده ی بنبوری برای اختلاط انواع لاستیک ها، پلاستیک ها، تقویت استحکام پرکننده در رزین و ... کاربرد دارد.

در صورتی که از بنبوری برای اختلاط لاستیک ها استفاده شود، قبل از این مخلوط کننده، ابتدا مواد را در یک مخلوط کننده ی غلتکی لاستیکی (Roller-milling Rubber) می ریزند تا یک اختلاط اولیه صورت گیرد.

شکل ۱۳) پره ی بنبوری (Banbury blades)

مقایسه مخلوط کننده ی غلتکی و مخلوط کننده ی بنبوری:

بنبوری، به عنوان یک مخلوط کننده ی فرآینده ناپیوسته ی بسته، توانایی ایجاد اختلاط توزیعی بهتری نسبت به غلتک دو محوری (two roll mill) به عنوان یک مخلوط کننده ی فرآیند ناپیوسته ی باز دارد. همچنین سرعت خروجی محصول در این دو مخلوط کننده متفاوت است به طوری که غلتک دو محوری می تواند ۲۰۰ کیلوگرم مواد لاستیکی را در حدود ۲ ساعت مخلوط نماید در حالی که نوعی مخلوط کننده ی بنبوری می تواند ۳۵۰ کیلوگرم لاستیک را در حدود ۱۵ دقیقه یا کمتر مخلوط نماید.

فصل دوم: تجهیزات اختلاط فرآیند پیوسته

تجهیزات اختلاط فرآیند پیوسته، تجهیزاتی هستند که در آن ها طی یکی یا چند مرحله مواد به داخل دستگاه ریخته شده و سپس در طی یک فرآیند پیوسته با هم مخلوط می شوند. این دسته از مخلوط کننده ها امروزه کاربردهای فراوانی دارند.

تجهیزات اختلاط فرآیند پیوسته به دو دسته ی کلی روتور دار و مارپیچ دار تقسیم می شوند.

۲-۱) تجهیزات اختلاط مارپیچ دار

این دسته از تجهیزات اختلاط شامل انواع اکسترودرها می باشند. اکسترودرها را می توان به سه دسته ی کلی یک پیچه، دو پیچه و چند پیچه تقسیم کرد. همچنین از منظری دیگر می توان اکسترودرها را به دو دسته ی شکل دهنده و مخلوط کننده تقسیم کرد، که در اینجا اکسترودر مخلوط کننده مورد بحث است.

اکسترودر می تواند به عنوان گرانول ساز مورد استفاده قرار گیرد و پس از مخلوط کردن مواد، آن را بصورت گرانول هایی از آمیزه مورد نظر در بیاورد.

از اکسترودرها می توان برای اختلاط پلاستیک ها، مواد ضایعاتی و مخلوط موادی مانند پایدار کننده های اکسیداسیونی، جاذب های پرتو فرابنفش، مستربچ رنگ مناسب با مواد مورد نظر استفاده کرد.

پس از مخلوط کردن مواد می توان از طریق فرآیند های دمش، تزریق و ... به محصول نهایی مورد نظر رسید. البته برای انجام این فرآیندها باید اطلاعات گوناگونی در مورد آمیزه ی نهایی موجود باشد تا بر اساس آن ها تصمیم گیری شود. معمولا در ابتدا آمیزه را بصورت گرانول در آورده و سپس در دستگاه دیگری به تولید محصول مورد نظر پرداخته می شود.

در تمامی اکسترودرها پارامتر نسبت طول به قطر (L/D) از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

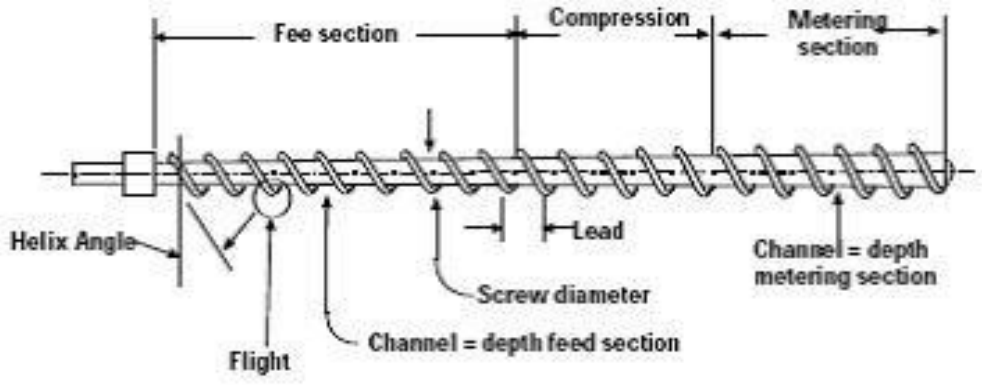
۲-۱-۱) اکسترودر تک پیچه (single screw extruder)

اکسترودر تک پیچه معمولا از نظر ایجاد نیروی برشی، دارای محدودیت هایی می باشد. در واقع این نوع از اکسترودر ممکن است نتواند نیروی برشی مناسبی اعمال کند. ضمنا در نواحی مختلف اکسترودر تک پیچه، تنش های مختلفی به مواد اعمال می شود و تنش بطور یکسان به مواد مورد استفاده وارد نمی شود. همچنین مذاب، در بخش های مختلف دچار تغییرات دمایی زیادی می شود.

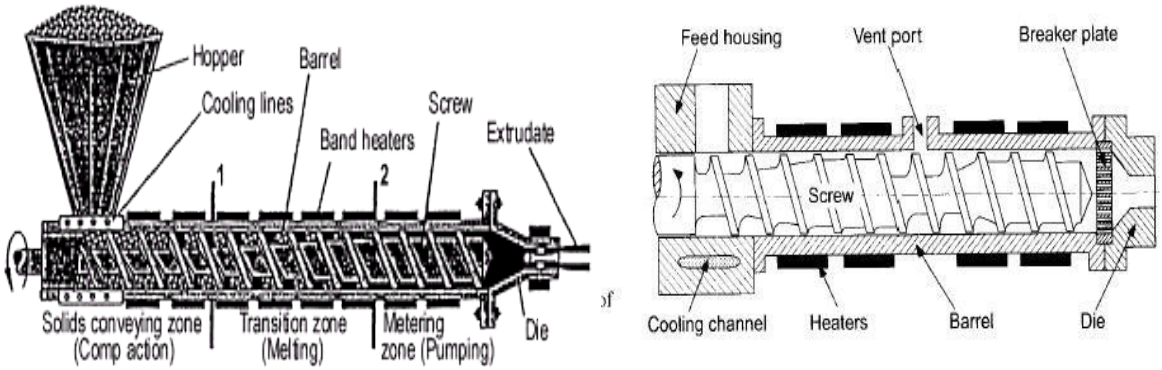
اکسترودر تک پیچه نسبت به دو پیچه توانایی ایجاد نیروی برشی بالایی ندارد اما به دلیل ارزان بودن و داشتن طراحی ساده کماکان برای فرآیندهای اختلاط مورد استفاده قرار می گیرد.

نوعی از اکسترودرهای تک پیچه به نام باس اکسترودر وجود دارند که دارای تیغه روی پوسته (Barrel) هستند و پیچ (screw) در آن ها قابلیت جلو و عقب رفتن دارد که در نتیجه اختلاط بهتری را می تواند ایجاد کند.

برای بهتر شدن کارایی اکسترودر تک پیچه می توان طول پیچ (نسبت طول به قطر) را افزایش داد و یا برای پیچ سیستم خنک سازی تعبیه کرد. همچنین در نظر گرفتن قسمت هایی برای اختلاط توزیعی و متفرق کننده می تواند آمیزه ی همگن تری برای ما ایجاد کند.



شکل ۱۴) نمایی از پیچ یک اکسترودر تک پیچه و قسمت های مختلف آن



شکل ۱۵) نماهای کلی از اکسترودر تک پیچه و قسمت های مختلف آن

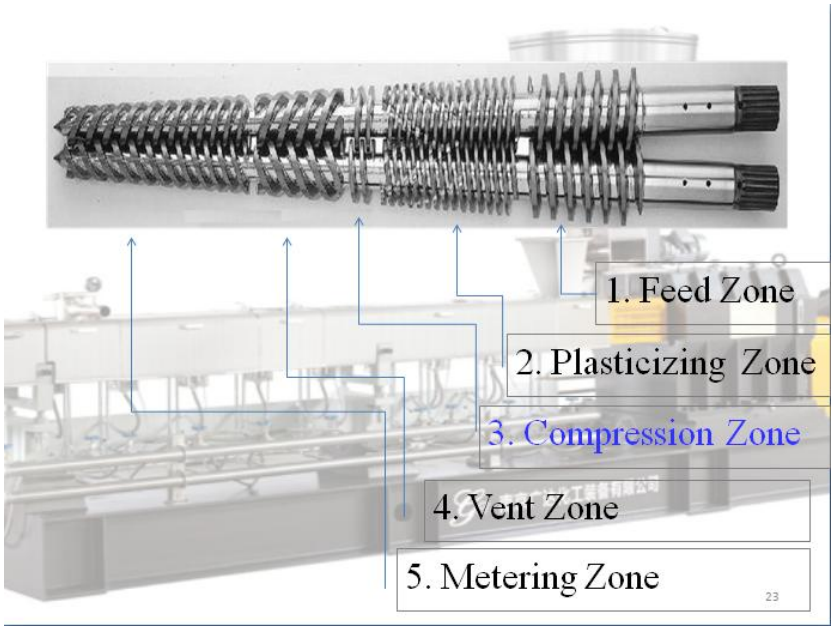
۲-۱-۲) اکسترودر دو پیچه (twin screw extruder)

این نوع از اکسترودرها دارای مزایای بیشتری نسبت به اکسترودرهای تک پیچه هستند. در صنعت آمیزه سازی (Compounding) این نوع اکسترودرها معمولا بصورت همسوگرد (Co - Rotating) استفاده می شوند و عموما بصورت قطعه قطعه یا مدولار هستند.

از مزایای این نوع از اکسترودرها نسبت به اکسترودر تک پیچه می توان به زمان اقامت کمتر، اختلاط همگن تر، قابلیت خود پاک کن بودن (self-cleaning) و فضای مرده (dead zone) کمتر اشاره کرد.

البته اکسترودرهای دو پیچه معمولا گرانقیمت هستند و طراحی پیچیده تری نسبت به تک پیچه ها دارند.

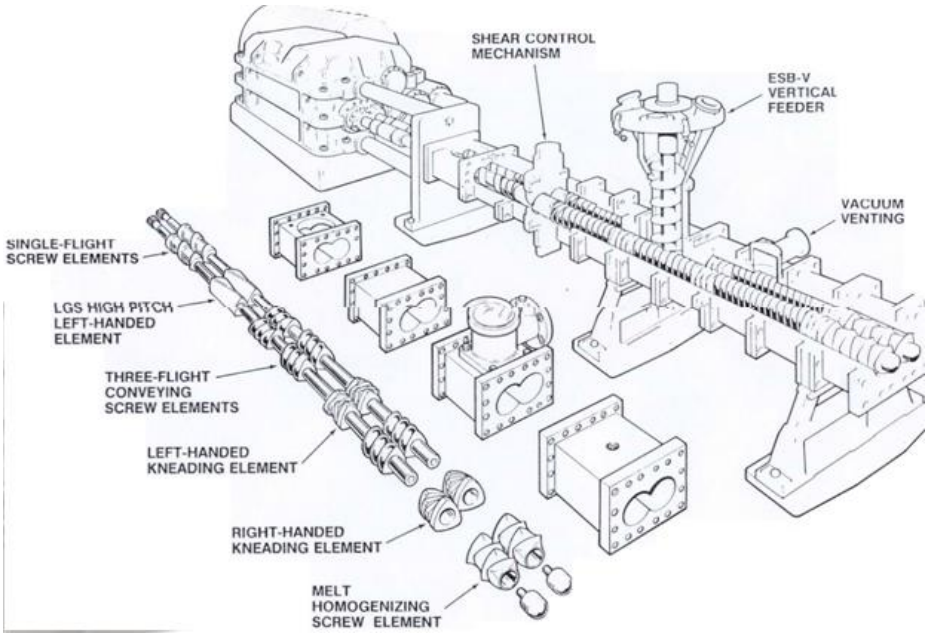
اکسترودر دو پیچه بر اساس نحوه ی قرار گیری پیچ ها در کنار هم می تواند به دو دسته ی درهم رونده و غیر درهم رونده تقسیم شود. همچنین می توان از دیدگاهی دیگر ، بر اساس نوع حرکت پیچ ها نسبت به یکدیگر ، اکسترودرهای دو پیچه را به دو نوع همسو گرد (Co-Rotating) و غیر همسو گرد (Counter Rotating) طبقه بندی نمود (البته همانطور که گفته شد در صنعت آمیزه سازی بیشتر از اکسترودرهای همسو گرد استفاده میشود)



شکل ۱۶) نمایی از قرار گیری دو پیچ در کنار هم و قسمت های مختلف عملیاتی

همانطور که در شکل بالا دیده می شود، طراحی قرار گیری دو پیچ در کنار هم به گونه ای انجام می شود که مراحل مورد نیاز در طول فرآیند اختلاط ایجاد شود. این مراحل به شرح زیر هستند:

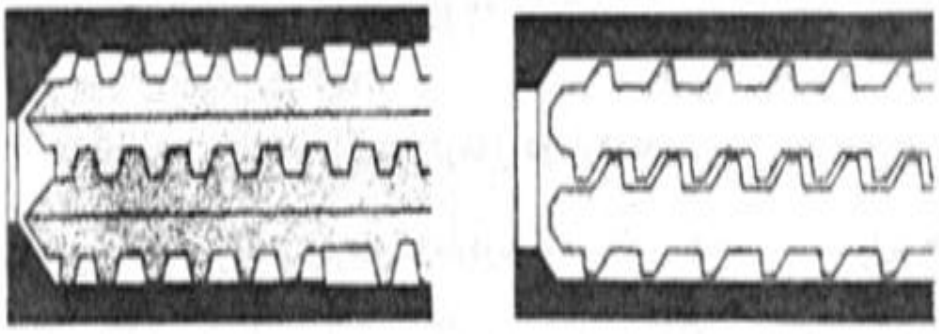
۱- خوراک دهی (Feeding) و پیش گرمایش
۲- گرمایش و تراکم (کلوخه شدن مواد)
۳- جدا کردن نواحی دو و چهار
۴- گاز گیری (Degassing)
۵- تکمیل فرآیند مذاب کردن، اختلاط، همگن سازی و خارج کردن محصولات (پمپ کردن)



شکل ۱۷) نمایی کلی از یک اکسترودر دو پیچه

بازدهی اکسترودرهای دو پیچه ۳ برابر اکسترودر تک پیچه بوده و می تواند بصورت خود پاک کن باشد که این مزیت باعث می شود تا کاربری آسان تری نسبت به مخلوط کننده های داخلی داشته باشد.

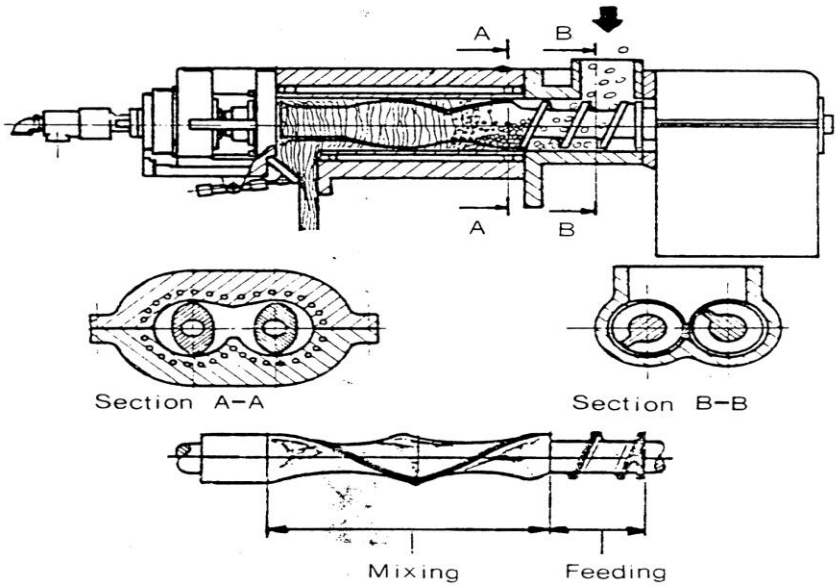
اکسترودرهای دو پیچه می توانند دارای فیدر های جانبی باشند که این فیدر ها باعث می شوند اختلاط مناسب تر و همگن تری ایجاد شود. مثلا وقتی میخواهیم نشاسته را به عنوان یه عامل زیست تخریب پذیر به یک ماتریس پلاستیکی بیفزاییم، می توانیم ۳۰ درصد کل نشاسته را از فیدر اصلی همراه با ماده ی پلاستیکی و بقیه را از دو فیدر جانبی اضافه کنیم.



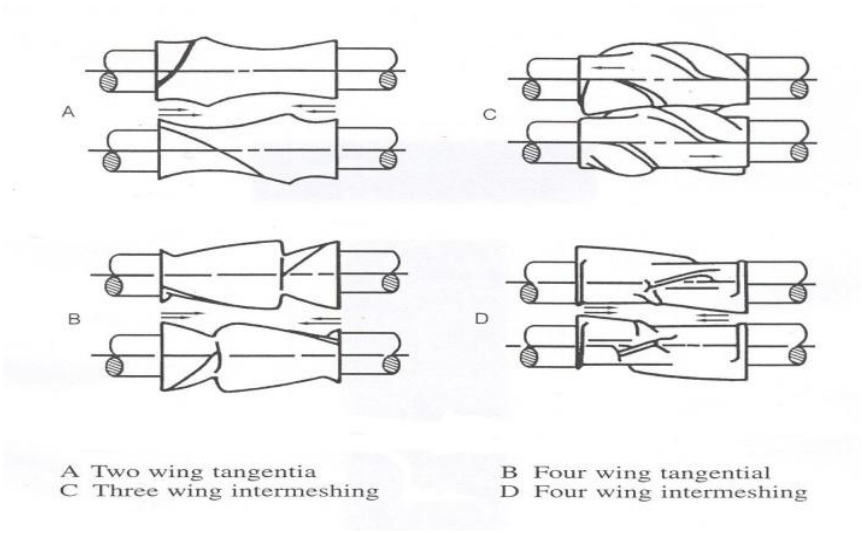
شکل ۱۸– وضعیت قرارگیری پیچ ها نسبت به هم. سمت راست با فاصله و سمت چپ بدون فاصله

۲-۲) تجهیزات اختلاط روتور دار

این دسته از مخلوط کننده ها معمولا شامل دو روتور هستند که در کنار هم قرار می گیرند و حرکت دورانی آن ها در کنار هم باعث ایجاد اختلاط می شود. در روتورها شکل و طراحی پره ها و در هم فرو رفتگی و یا مماس بودنشان کاربرد آن ها را تعیین می کند.



شکل ۱۹) نمای کلی یک مخلوط کننده ی روتوردار (Farrel continous mixer) مقطع A-A مربوط به بخش اختلاط و مقطع B-B مربوط به بخش خوراک دهی (Feeding) می باشد.



شکل ۲۰) انواع پره ها و روتورها بر اساس نوع قرارگیری آن ها نسبت به هم.

A: روتور دو پره ای مماسی – B: روتور چهار پره ای مماسی – C: روتور سه پره ای در هم رونده – D: روتور چهار پره ای در هم رونده

Comparison of Single- and Multiscrew Mixing Devices[a]

Machine type	High screw speed	Self-cleaning action	Pressure-generating capability	High filler content	Feeding capability		Dispersive mixing: Special mixing elements		Distributive mixing: special mixing elements	
					Powder feed	Sticky feed	Without	With	Without	With
Single-screw extruder	+	−	0	−	0	−	−	0	0	−
Pin barrel extruder	+	0	0	+	0	−	+		+	
Ko-Kneader	0	+	−	+	+	+	+		+	
Planetary gear extruder	−	+	−	−	0	−	+		0	
Corotating disk processor	+	+	+	0	0	−	0	+	0	+
Counterrotating twin-screw extruders										
Intermeshing	−	+	+	0	+	+	0	+	−	0
Tangential	+	−	−	+	+	+	−	0	0	+
With distance	+	−	−	+	+	+	−	0	0	+
Corotating twin-screw extruders										
Intermeshing	+	+	0	+	+	0	0	+	0	+
Tangential	+	−	−	+	+	+	−	0	0	+
With distance	+	−	−	+	0	−	−	0	0	0
High-intensity internal mixers										
Batch mixer	+	−	−	+	+	+	+		+	
Continuous mixer	+	−	−	+	+	+	+		+	

[a] +, good; 0, adequate; −, poor.

شکل ۲۱) مقایسه ی تجهیزات گوناگون با یکدیگر (از نظر مزایا و معایب)

در شکل بالا مزایا و معایب تجهیزات اختلاط مختلف با یکدیگر مقایسه شده است. همانطور که مشخص است یکی از بهترین تجهیزات اختلاط (بطور کلی)، اکسترودر دو پیچه ی همسو گرد با پیچ های در هم رونده (Intermeshing) می باشد که مزایای بسیاری نسبت به سایر مخلوط کننده ها دارد.

پایان

منابع:

1- Polymer Blend Compounding and Processing, James L. White and Sug Hun Bumm
2- Single Screw Compounding And Venting, Keith Luker
3- Two roll mill A Revolution in cane milling, Ubaid-ur-Rahman & Sikandar khan
4- Comparison of Flow in Co-Rotating and counter-Rotating Twin-screw Extruder, A. Shah and M. Gupta
5- Mixing Devices in polymer processing, I. Ghasemi