اکسترودرهای صنایع

غذایی

سرشناسه : بلوری، بهداد، ۱۳۵۲ -
عنوان و نام پدیدآور : اکسترودرهای صنایع غذایی/ بهداد بلوری.
مشخصات نشر : مشهد:ارسطو،۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری : ،۳۲۵ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک : ۱۵۰۰۰۰ ریال: ۸-۵۱-۶۰۰۷۹۴۰-۹۷۸
یادداشت :پشت جلد به انگلیسی: *Extruders in food applications*
یادداشت : کتابنامه.
یادداشت : واژه‌نامه.
موضوع : مواد غذایی -- ماشین‌آلات آماده‌سازی
موضوع : مواد غذایی-- صنعت و تجارت
رده بندی کنگره : ۱۳۹۴ ۷الف۸ب/TP۳۷۳
رده بندی دیویی : ۶۶۴
شماره کتابشناسی ملی : ۳۹۴۱۸۲۳

نام کتاب : اکسترودرهای صنایع غذایی
مولف : بهداد بلوری
ناشر : ارسطو (با همکاری سامانه اطلاع رسانی چاپ و نشر ایران)
صفحه آرایی، تنظیم و طرح جلد: پروانه مهاجر
تیراژ : ۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ : اول - ۱۳۹۴
چاپ : مدیران
قیمت : ۱۵۰۰۰ تومان
فروش نسخه الکترونیکی - کتاب‌رسان :
https://chaponashr.ir/ketabresan
شابک : ۸-۵۱-۷۹۴۰-۶۰۰-۹۷۸
تلفن مرکز پخش : ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵
www. chaponashr. ir

فهرست مطالب

فصل۱-کاربردهای اکسترودرها در صنعت غذا..... ۱

تعاریف اکستروژن..... ٤

کارکردهای یک اکسترودر..... ٥

مزایای اکستروژن..... ۷

انواع اکسترودرها..... ۹

طبقه بندی تک ماردونه ها..... ۱۰

اکسترودرهای دو ماردونه..... ۱۸

طبقه بندی اکسترودرهای دو ماردونه..... ۱۸

مزایای اکسترودرهای دو ماردونه..... ۲۱

اکسترودرهای نسل جدید..... ۲۳

منابع..... ۳۰

فصل۲-اکسترودرهای تک ماردونه..... ۳۱

خصوصیات مواد خام و انتخاب آن ها..... ۳۳

انتخاب ماشین آلات..... ۳٥

شرایط فرآیندی..... ٤٦

کاربردها..... ٥٤

منابع..... ۷٤

فصل۳-اکسترودرهای خشک..... ۷٥

اصول کار اکسترودرهای خشک..... ۷٥

طبقه بندی اکسترودرهای خشک..... ۷۶
اجزاء یک اکسترودر خشک تک ماردونه..... ۷۷
کاربردهای اکستروژن خشک..... ۸۰
مزایای تغذیه ای اکستروژن خشک..... ۸۱
منابع..... ۹۰
فصل٤-اکسترودرهای ماردونی منقطع (اکسپندرها)..... ۹۱
منشاء دنده های بریده..... ۹۳
تولید غذای سگ..... ۱۰۰
تولید انواع خوراک ماهی..... ۱۰۱
تولید سویا دارای چربی کامل..... ۱۰٤
اکستروژن پیش از استخراج با حلال..... ۱۰۷
اکسپندر های دارای دیواره مشبک..... ۱۰۹
اکستروژن پیش از خرد کردن..... ۱۱۰
خشک کردن لاستیک (کائوچو) مصنوعی با اکسترودر..... ۱۱۳
خلاصه..... ۱۱۵
منابع..... ۱۱٦
فصل۵-اکسترودرهای دو ماردونه..... ۱۱۷
پخت به روش اکستروژن..... ۱۱۹
مزایای اکستروژن..... ۱۲۰
مشکلات گذشته..... ۱۲۱
طبقه بندی اکسترودرها..... ۱۲۳

تشریح فرآیند..... ۱۲۵
توصیف اجزاء اکسترودر..... ۱۲۷
نواحی فرایندی در اکسترودرها..... ۱۳۳
طراحی نیروی محرکه در اکسترودرهای دو ماردونه..... ۱۳۶
طراحی بدنه اکسترودر و ماردون برای اکسترودرهای تک ماردونه..... ۱۴۰
طراحی ماردون و بدنه اکسترودر برای اکسترودرهای دو ماردونه..... ۱۴۲
طراحی ماردون..... ۱۴۳
بخشهای ورز دهنده..... ۱۴۵
گام معکوس..... ۱۴۸
اجزاء مخروطی..... ۱۵۰
محدودیت های طراحی..... ۱۵۴
متغیرهای فرآیند اکستروژن..... ۱۵۸
موازنه ماده و انرژی..... ۱۶۶
نتیجه گیری..... ۱۶۷
منابع..... ۱۶۸
فصل۶-مشروط سازی..... ۱۶۹
مزایای مشروط سازی..... ۱۷۲
دستگاه های مشروط ساز..... ۱۷۵
عملیات مشروط سازی..... ۱۷۹
منابع..... ۱۸۶
فصل۷-تغییرات شیمیایی و تغذیه ای غذا در طی فرآیند اکستروژن..... ۱۸۷

فاکتور های بحرانی..... ۱۸۸
نشاسته..... ۱۹۰
فیبرهای رژیمی..... ۱۹۵
پروتئین..... ۱۹۹
لیپیدها..... ۲۰۲
ویتامین ها..... ۲۰۵
مواد معدنی..... ۲۰۷
فیتوکمیکال ها..... ۲۰۹
سموم طبیعی..... ۲۱۰
ترکیبات عطر وطعم..... ۲۱٤
خطوط کاری آینده..... ۲۱۵
منابع:..... ۲۱۵
فصل۸–ملاحظات کاربردی در فرآیند اکستروژن..... ۲۱۹
زمان مناسب جهت خرید یک اکسترودر دو ماردونه..... ۲۲۲
مشکلات رایج در اکستروژن و راه حل آنها..... ۲۲۳
ترتیب راه اندازی اکسترودرها..... ۲۳۲
نکاتی تجربی در ارتباط با اکستروژن..... ۲۳۷
منابع:..... ۲٤٦
فصل۹–اکسترودر ها در صنایع غذایی..... ۲٤۷
تاریخچه و موارد استفاده از اکسترودرها در صنایع غذایی..... ۲٤۹
تولید پروتئین های گیاهی بافت دار شده..... ۲۵٤

مواد خام مورد استفاده در تولید پروتئین های گیاهی بافت دار شده..... ۲۵۸
تغییرات در طی فرآیند تولید فرآورده های پروتئینی بافت دار شده در اکسترودرها..... ۲۶۱
عملیات اکستروژن پروتئین های گیاهی بافت دار شده..... ۲۶۲
افزودنیهای اضافه شده به پروتئین های گیاهی بافت دار شده..... ۲۶۵
تولید غلات صبحانه آماده مصرف..... ۲۶۷
مواد خام رایج برای تولید غلات صبحانه آماده مصرف..... ۲۷۲
عملیات تولید غلات صبحانه آماده مصرف به روش اکستروژن..... ۲۸۱
اسنک های منبسط شده به روش مستقیم (DX) و اسنک های نسل سوم..... ۲۸۸
اسنک نسل سوم..... ۲۹۳
فرمولاسیون برای تولید اسنک های نسل سوم..... ۲۹۶
منابع..... ۳۰۴
فصل۱۰-ارزیابی ماده وانرژی در سامانه های اکستروژن..... ۳۰۵
محاسبات موازنه ماده..... ۳۰۶
محاسبه موازنه انرژی..... ۳۱۱
پیوست واژگان فنی..... ۳۲۴

فصل ۱

کاربردهای اکسترودرها در صنعت غذا

مقدمه ای بر اکسترودرها و اصول فرآیند اکستروژن

اهداف این فصل مروری بر تاریخچه تکامل اکسترودرها، معرفی واژگان فنی مرتبط و مروری بر اصول فرآیند اکستروژن می باشد.

تاریخچه تکامل اکسترودرها

فرآیندهای اکستروژن و اکسترودرها در صنایع گوناگون در طی دو قرن گذشته تکامل یافته اند. (یانسن ، ۱۹۷۸؛هارپر، ۱۹۸۱) که توالی آن بشرح زیر می باشد :

۱۷۹۷ جوزف براما در انگلستان اولین فردی بود که اصول اکستروژن را از طریق تکامل پرس پیستونی دستی برای تولید لوله های قلعی بدون درز بکار گرفت. دستگاه مشابهی بعدا جهت فرآیند بدنه لوله های رسی ، کاشی ، صابون و پاستا مورد استفاده قرار گرفت.

۱۸۹۶ فلوز و بیتز در انگلستان اولین اکسترودر دوماردونه مداوم که برای اولین بار در تولید سوسیس مورد استفاده قرار گرفت را توسعه دادند .

۱۸۷۳ فونیکس گامی ورک آی، جی، اولین اکسترودرتک ماردونه را که در صنایع فرآیند لاستیک مورداستفاده قرار گرفت توسعه داد.

۱۹۳۰ پرس مداوم تک ماردونه برای پستا توسعه یافت.

۱۹۳۰ روبرتو کلومبو و کارلوپاسکوتی در ایتالیا طرح دو ماردونه را جهت تولیدانواع پلاستیک

الگو برداری کردند . شرکت جنرال میلز در مینیاپولیس برای اولین بار از یک اکسترودر تک ماردونه درتولید غلات آماده مصرف (RTE) استفاده کرد . در این فرآیند خمیر داغ و پیش پز شده پیش از مرحله خشک کردن و پرک سازی یا پف دار شدن در اکسترودر شکل داده می شد.

۱۹۳۹ برای اولین بار حلقه های حجیم شده ذرت اکسترود شدند. این فرآورده تا پس از جنگ جهانی دوم (۱۹٤٦) توسط شرکت آدامز در بلوآی ویسکانسین بازاریابی نشد .

۱۹٤۰ در دهه ۱۹٤۰ میلادی، پرس های تک ماردونه که روغن را از دانه روغنی خارج می کنند توسعه یافتند و جایگزین پرس های هیدرولیکی که کارآیی کمتری داشتند ،گردیدند.

اواخر ۱۹٤۰ تمایلی که در جهت بهبود ظاهر ، دلچسبی ، و قابلیت هضم غذای حیوانات خانگی وجود داشت منجر به توسعه اکسترودرهای پخت و با بازارآمدن "بلغور غله همگن شده" گردید که اولین غذای خشکی بود که جهت استفاده سگ به شکل گسترده ای مورد استفاده قرار گرفت .

۱۹۵۰ تولید غذای پخته شده حیوانات خانگی به روش اکستروژن ، حجیم شده و خشک که به سرعت در دهه ۵۰ میلادی تکامل یافت به شکل گسترده ای جایگزین روش های فرآیندی پخت بیسکویت که تا ان زمان جهت تولید غذای حیوانات مورد استفاده قرار می گرفت گردید. تکامل چند نوع اکسترودر تک ماردونه جدید دامنه کاربری آنها را در دهه ۵۰ میلادی به فرآورده هایی مانند غذای خشک حیوانات خانگی ، آرد غلات

پیش پز شده ، غلات و دانه های روغنی حرارت دیده برای بهبود ارزش غذایی آنها به عنوان اجزاء خوراک دام کشاند . حجم دهنده غله اندرسون در اواسط دهه ۵۰ میلادی به بازار عرضه شد که به اکسترودرهای ماردون بریده یا حجم دهنده ها معروف گردیدند .

اواخر ۱۹۵۰ شرکت اکسترودر سازی اسپروت- والدرون واقع در مونکی ، پنسیلوانیا پیش مشروط سازهای تحت فشار که پیش پخت اجزاء رادر دمای بیش از ۲۱۲°F پیش از ورود اجزاء به ماردون اکسترودر امکان پذیر میکند تولید کرد . عمل پیش پخت بار کاری اکسترودر را که هزینه بیشتری جهت ساخت آن شده است کاهش می دهد .

دهه ۱۹۶۰ پخت وشکل دهی مداوم غلات آماده مصرف به عنوان یک فرآیند تک مرحله ای جهت اکسترودرهای پخت توسعه پیدا کرد . غذای حیوانات خانگی به صورت نیمه مرطوب و اجزاء غذایی تولیدی از غلات پیش پز شده مانند نشاسته های پیش ژلاتینه و بلغورهای انواع کراکر وارد بازار گردید . همچنین آرد بافت دار شده لوبیای سویا یا فرآورده های تغلیظ شده با ظاهر گوشت مانند تکامل یافتند. این فرآورده ها در صنعت، پروتئین های گیاهی بافت دار شده (TPD) و پروتئین سویای بافت دار شده (TSP) نامیده می شوند . TPD و TSP علائم تجاری به ثبت رسیده می باشند . فرآیند اکستروژن خشک توسط شرکت تریپل اف در اواسط دهه ۶۰ میلادی توسعه پیدا کردو تولیدکنندگان غرب میانه ایالات متحده با استفاده از آن لوبیای سویای کامل را به گونه ای فرآیند کردند که مستقیما توسط دام ها و ماکیان قابل استفاده گردید .

اولین اکسترودر خشک در سال ۱۹۶۹ به بازار معرفی گردید و بخش اینستاپرو شرکت تریپل اف اصطلاح "Insta pro" را از این جهت به کار برد که فرآیند به سرعت در عرض چند ثانیه انجام می گردید.

دهه ۱۹۷۰ نسل دوم ماردون های قطعه بندی شده و سلول – لوله اکسترودرهای تک ماردونه و دو ماردونه به بازار معرفی گردیدند.

۱۹۹۰ مشروط سازها، لوله ونت دار و نسل سوم اکسترودرهای دنده عمیق کاهنده گرما برای تولید خوراک دام توسعه پیدا کردند.

۱۹۹۸ اکسترودرهای نسل جدید توسط شرکت ونگر به ثبت انحصاری رسید.

تعاریف اکستروژن :

اکستروژن عبارت است از مجموعه عملیات شکل دهی یک ماده خمیری از طریق عبور دادن آن از میان یک قالب. از لحاظ تاریخی می توان تولید انواع رشته، خمیرهای شیرینی و گوشت های چرخ شده را گوشه ای از کاربردهای اکستروژن به روش دستی نام برد . از جمله دستگا های اکستروژن مکانیکی میتوان به تقسیم کننده های خمیر شیرینی ، پرس های پاستا، سامانه توزین و اختلاط مداوم مورد استفاده در نانوایی های خودکار، پرکن های سوسیس وشکل دهنده های انواع همبرگر اشاره نمود .

طبق تعریف روزن ومیلر (۱۹۷۳)؛ اکستروژن یک ماده غذایی، فرآیندی است که در آن ماده غذایی تحت حداقل یکی از شرایط اختلاط، حرارت دهی، و برش وادار به عبور از میان قالبی می شود که برای شکل دهی و یا حجم دهی به همراه خشک کردن طراحی شده است .

یک اکسترودر دستگاهی است که فرآیند شکل دهی وایجاد ساختار مجدد ماده غذایی را سرعت می بخشد. اکستروژن عملیات واحد چند کاره ای است که می تواند جهت انواع فرآیندهای غذایی بکار برود. اکسترودرها را می توان به منظور پخت، شکل دهی، اختلاط، بافت د هی و ایجاد ظاهر در فرآورده های غذایی تحت شرایطی که منجر به ثبات کیفیت، بهره وری بالا و هزینه های پایین شود بکار گرفت . استفاده از اکسترودرهای پخت در صنایع غذایی در طی سالیان گذشته گسترش چشمگیری پیدا کرده است.

کارکردهای یک اکسترودر

شرایط ایجاد شده توسط اکسترودر کارکردهای متنوعی را ایجاد می کند که اجازه می دهد جهت گستره وسیعی از کاربردهای غذایی و صنعتی مورد استفاده قرار بگیرد . برخی از این کارکردها عبارتند از:

کلوخه ای کردن : اجزاء ترکیب را می توان توسط اکسترودر به صورت قطعات جداگانه فشرده و کلوخه ای کرد.

گاز زدایی : اجزاء ترکیب که حاوی کیسه های هوایی هستند را بوسیله فرآیند اکستروژن گاز زدایی می کنند.

آبگیری : در طی فرآیند اکستروژن، افت رطوبتی معادل ۵-٤ درصد اتفاق می افتد.

انبساط : دانسیته فرآورده را می توان بوسیله شرایط عملیاتی و پیکربندی اکسترودر کنترل نمود.

ژلاتینه کردن : پخت به روش اکستروژن سبب ژلاتینه شدن نشاسته می شود.

آسیاب کردن : اجزاء ترکیب می توانند در داخل بدنه اکسترودر (barrel) اکسترودر در طول فرآیند آسیاب شوند.

همگن سازی : یک اکسترودر قادر است باساختار دهی مجدد اجزاء ترکیب سبب همگن سازی و در نتیجه افزایش جذابیت محصول شود.

اختلاط : انواع ماردون های موجود سبب عمل اختلاط به میزان دلخواه درداخل بدنه اکسترودر می شوند.

پاستوریزه و استریلیزه کردن : اجزاء غذایی را می توان با استفاده از فناوری اکستروژن به منظور اهداف گوناگون پاستوریزه یا استریلیزه نمود.

دناتوره شدن پروتئین ها : پروتئین های گیاهی یا حیوانی را می توان از طریق پخت به روش اکستروژن دناتوره نمود.

شکل دهی : با تعویض قالب انتهای بدنه اکسترودر محصول را به هر شکل دلخواهی تولید می کنند.

برش : با انواع پیکربندی ها در داخل بدنه اکسترودر می توان عمل برش مد نظر را جهت یک فرآورده ایجاد کرد .

تغییر بافت : با فرآیند اکستروژن بافت مورد نظر را ایجاد میکنند.

پخت حرارتی : در اکسترودر می توان به میزان پخت مطلوب دست یافت.

یکپارچه سازی : با استفاده از اکسترودر اجزاء حاصل ازخطوط مختلف را به منظـور تولیـد محصـولی یکپارچه بکار می برند.

مزایای اکستروژن

مزایای اصلی فناوری اکستروژن در مقایسه با روش های سنتی تولید شامل موارد زیر می باشد :

تطابق پذیری : از طریق تغییرات کوچکی در فرمولاسیون وشرایط عملیـاتی، تولیـد طیـف وسـیعی از فرآورده ها امکان پذیر است . فرآیند اکستروژن قادر به برآورده کـردن خواسـته هـای مصـرف کننـده جهت فرآورده های جدید می باشد.

خصوصیات فرآورده : با این فناوری ، تولید اشکال ، بافت ها ، رنگ ها و ظواهر گوناگونی که با سایر روش های تولید به سادگی قابل اجرا نیست امکان پذیر است.

کارآیی انرژی : از آنجائیکه در اکسترودرهای پخت برای تولید محصول از مـواد غـذایی کـه رطوبـت نسبی پایینی دارند استفاده می شود برای خشک کردن نهایی انرژی کمتری مورد نیاز خواهد بود.

هزینه پایین : هزینه فرآیند در اکستروژن نسبت به سایر فرآیندهای پخت و شکل دهی پـایین تـر مـی باشد. پژوهشگری به نام دارینگتون (۱۹۸۷) صرفه جویی هایی به میزان ۱۹٪ جهت مواد خـام، ۱٤٪در نیروی کار و ٤٤ ٪ در سرمایه گذاری را گزارش کرده است . همچنین فرآیند اکستروژن نیازمند فضای کمتری در هر واحد عملیاتی نسبت به سایر روش های پخت سنتی می باشد.

غذاهای جدید : اکستروژن می تواند پروتئین های حیوانی و گیاهی ، نشاسته ها و سایر مواد غذایی را به منظور تولید انواع اسنک های جدید و منحصر به فرد تغییر دهد.

بهره وری بالا و کنترل خودکار: از اکسترودرها می توان به صورت فرآیندی مداوم با ظرفیت بالا و کاملا خودکار استفاده نمود.

کیفیت بالای محصول : از آنجائیکه اکستروژن یک فرآیند حرارت دهی دما بالا – زمان کوتاه است، تجزیه مواد مغذی را در عین بهبود قابلیت هضم پروتئین ها (از طریق دناتوره کردن) و نشاسته ها (از طریق ژلاتینه کردن) به حداقل می رساند. همچنین پخت به روش اکستروژن در دماهای بالا ترکیبات ضد تغذیه ای مانند ممانعت کننده های تریپسین و آنزیم های نا مطلوب مانند لیپازها، لیپواکسیدازها و میکروارگانیسم ها را تخریب میکند.

فاضل آب اندک : اکستروژن تقریبا فاضلابی تولید نمی کند که این موضوع با توجه به مقررات جدید زیست محیطی که سخت و هزینه بر می باشند مزیت بسیار مهمی در صنعت غذا محسوب می شود.

افزایش مقیاس فرآیند : داده هایی که از پژوهش های نیمه صنعتی به دست می آید را به سهولت جهت افزایش مقیاس به سطح صنعتی بکار می گیرند.

افزایش ایمنی مواد غذایی : اکسترودرها به عنوان راکتورهای مداوم در بسیاری کشورها جهت غیر فعال کردن افلاتوکسین در کنجاله بادام زمینی و تخریب آلرژن ها و ترکیبات سمی در کنجاله دانه کرچک وسایر گیاهان روغنی مورد استفاده قرار می گیرند.

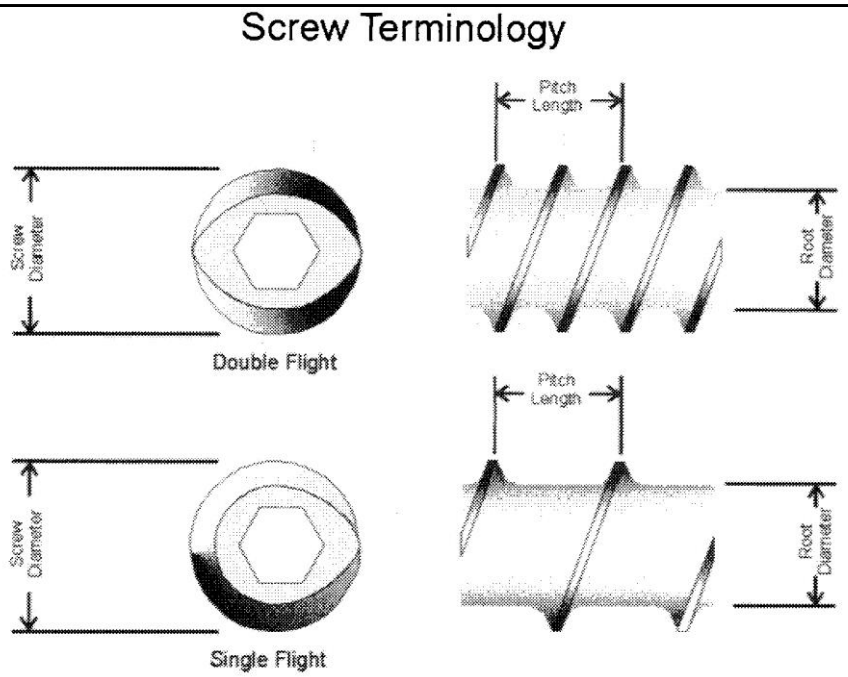


Figure 1 Screw terminology (courtesy of Wenger Manufacturing Co., Sabetha, KS).

شکل ۱- بعضی واژگان فنی مرتبط با ماردون

انواع اکسترودرها

امروزه در صنایع غذایی، واژه اکسترودر به معنای ماشینی دارای پیچ ارشمیدس می باشد (پیچ دنده ای دوار قرار داده شده در داخل استوانه برای حمل یک سیال) که بطور مداوم فرآورده ای را فرآوری می کند. اکسترودرها می توانند به منظور انجام علمیات آسیاب کردن، اختلاط، همگن سازی، پخت، سردکردن، ایجاد خلاء، شکل دهی، برش زنی و پرکردن طراحی شوند . اکسترودرهای متنوعی در بازار وجود دارد اما تمامی آن ها از نوع پخت کننده – بافت دهنده نمی باشند . تعدادی از آن ها عبارتند از : اکسترودرهای خشک، اکسترودرهای ماردون بریده، اکسترودرهای تک ماردونه و دو ماردونه.

اکسترودرهای تک ماردونه در اندازه ها و اشکال گوناگونی موجودهستند و پیکربندی ماردون، بدنه اکسترودر و قالب آن ها را به گونه ای تغییر می دهند که با خصوصیات خاص هر فرآورده تطابق می یابد.

طبقه بندی تک ماردونه ها :

اکسترودرهای تک ماردونه را بر اساس خصوصیات گوناگونی مانند مرطوب در برابر خشک ، چند قسمتی در برابر یکپارچه ، مقدارنیروی برش تولیدی توسط اکسترودر و منبع تولید گرما طبقه بندی می کند . ازدیدگاه کاربردی طبقه بندی اکسترودرها براساس تنش و گرما اهمیت دارد.

طبقه بندی براساس میزان برش:

شکل دهی سرد : دستگاه هایی هستند با میزان برش کم ، واجد بدنه های صاف ، دنده های عمیق ، و سرعت ماردون کم که معمولا جهت کار بر روی آرد سمولینای مرطوب شده و پرس آن از میان قالب همراه با کمی فرآیند پخت مورد استفاده قرار گرفته اند (چنین اکسترودرهایی به عنوان مخلوط کننده و شکل دهنده مداوم جهت تولید خمیرهای پاستا، شیرینی جات ، گوشت های فرآیند شده و بعضی آب نبات ها مورد استفاده قرار می گیرند.)

شکل دهی با فشار بالا :

دستگاه هایی هستند بامیزان برش کم، واجد بدنه های شیاردار و ماردون های فشاردهنده که نوعا جهت اکسترودر غلات ژلاتینه شده و سایر خمیرها به جهت ساخت پلیت هایی که بعدا خشک ، پف داده ، یا سرخ می شوند بکار می روند (دمای محصولات به منظور جلوگیری از افزایش حجم

ناخواسته در داخل قالب پایین نگه داشته می شود، غلات صبحانه و اسنک های سرخ شده با این دستگاه ها تولید می شوند.)

پخت با برش کم :

دستگاه هایی هستند با برش متوسط دارای ماردون های تراکم بالا و بدنه های شیاردار به منظور تشدید عملیات اختلاط که برای پخت فرآورده می توان حرارت را به بدنه اکسترودر یا ماردون اعمال کرد . این پخت به منظور پاستوریزه کردن باکتری ها ، غیر فعال سازی آنزیم ها ، دناتوره کردن پروتئین ها و ژلاتینه کردن نشاسته می باشد ، اما پف دهی در قالب انجام نمی شود . جهت تولید غذاهای مرطوب نرم و اسنک های گوشت مانند پس از اختلاط اولیه اجزاء و ایجاد قوام خمیری ازاین دستگاه ها استفاده می شود.

تهیه پلت : دستگاه هایی هستند دارای بدنه های شیاردار و ماردون هایی با دنده های کم عمق چندگانه که به منظور تولید اسنک های پف داده شده از بلغور ذرت چربی گرفته مورد استفاده قرار می گیرند . دمای اجزاء نسبتا خشک با رطوبت ۱۲٪ به سرعت به بیش از ۱۷۵°C افزایش می یابد و نشاسته ، دکسترینه و بطور نسبی ژلاتینه می شود . توده ایجاد شده رطوبت را از دست می دهد و به محض خروج از قالب به جهت تشکیل یک چیپس ، حلقه های منبسط شده یا پلت افزایش حجم می یابند ، دستگاه های ابتدایی از این نوع دارای ماردون بسیار کوتاه با نسبت (۱: ۳ = قطر/طول) بودند اما بعدها دستگاه هایی با نسبت (۱: ۱۰=قطر/طول) که تکیه بر حرارت تولیدی توسط اصطکاک جهت تولید پلت ها را دارند تکامل یافتند .

پخت با برش بالا :

دستگاه هایی هستند با تولید برش بالا ، دارای ماردون هایی با عمق دنده متغیر و یا گام ماردون متغیر که توانایی ایجاد نسبت های بالای تراکم ،دماهای بالا ، و درجات متنوع حجم دهی را دارا می باشند این اکسترودرهای بدنه طویل (۲۵:۱ –۱۵=قطر/طول) در ابتدا در صنعت پلاستیک استفاده شده است که با اصطلاحاتی در طراحی جهت فرآوری مواد غذایی عرضه شده است . گستره وسیعی از طرح های ماردون و بدنه اکسترودر و گزینه های متنوعی برای حرارت دهی به این دستگاه ها وجود دارد. برخی از این دستگاه ها مجهز به محفظه های مشروط کردن به منظور حرارت دهی و رطوبت زنی اولیه خوراک می باشند .

از کاربردهای این اکسترودرها می توان به تهیه غلات صبحانه ، اسنک ها ، آب نبات ، بلغور سورگوم و ذرت ژلاتینه شده ، آرد ذرت ژلاتینه شده ، مخلوط های سوپ خشک ، پودرهای نوشیدنی فوری ، ویفرها و کراکرها ، شبه مغزها و پروتئین سویای بافت دهی شده اشاره کرد .

طبقه بندی بر اساس ایجاد حرارت :

اکسترودرهای آدیاباتیک تنهاتوسط اصطکاک ناشی از حرکت مواد تولیدگرما میکنند و حرارت کمی هم از طریق بدنه اکسترودر از دست می رود. از این دسته به اکسترودرهای خشک و اکسترودرهای تولید کننده پلت می توان اشاره کرد. بعضی انواع اکسترودرها را ابتدائا توسط منابع کمکی حرارت می

دهند اما بعدا به طور آدیاباتیک ، عملیات ادامه پیدا می کند . اکسترودرهای آدیاباتیک در گستره محتوای رطوبتی (٪۱٤–۸) عمل میکنند.

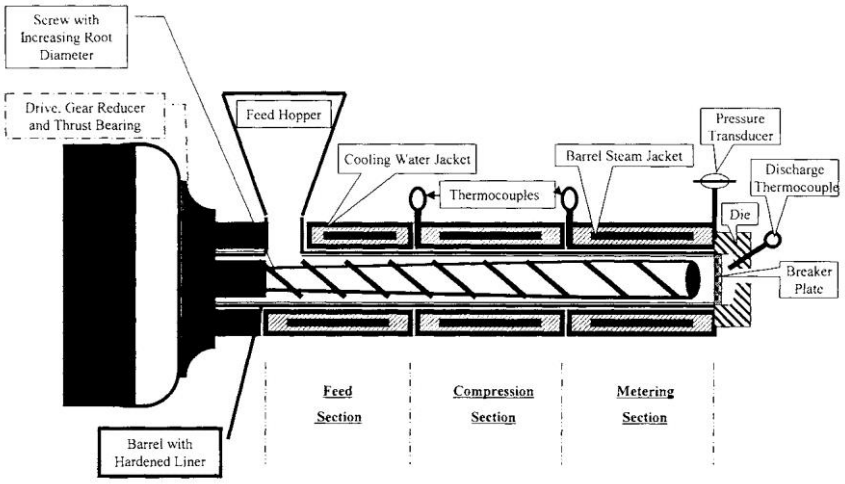
اکسترودرهای ایزوترمال دمای فرآورده را درتمام طول بدنه اکسترودر ثابت نگه می دارند و معمولا برای شکل دهی استفاده می شوند.

اکسترودرهای پلی تروپیک دارای تجهیزاتی هستند که حرارت رابسته به نیازهای فرآیند اضافه و یا کم می کند . ازاین نوع اکسترودرها می توان به انواع اکسترودرهای پخت اشاره کرد که دارای بخش های گرم کننده وسرد کننده خارجی می باشند (با وجودی که بخشی از حرارت توسط اصطکاک تولید می شود) .

همانطور که گفته شد اکسترودرهای تک ماردونه را می توان براساس طراحی آنها طبقه بندی کرد. در ادامه سه طرح متداول مورد استفاده در صنایع غذایی توضیح داده می شوند که هریک مزایایی بسته به نوع طراحی دارند.

اکسترودرهای تک ماردونه یکپارچه :

طرح کلاسیک اکسترودر تک ماردونه یکپارچه در شکل ۲ نشان داده شده است که می تواند جهت توضیح اصول کارکرد یک اکسترودر بکار برود .سطح حجم فرآورده ازانتهای خوراک تا انتهای خروجی ماردون از طریق افزایش قطر ماردون که منجربه عمیق تر شدن دنده با گام ثابت می شود کاهش می یابد.

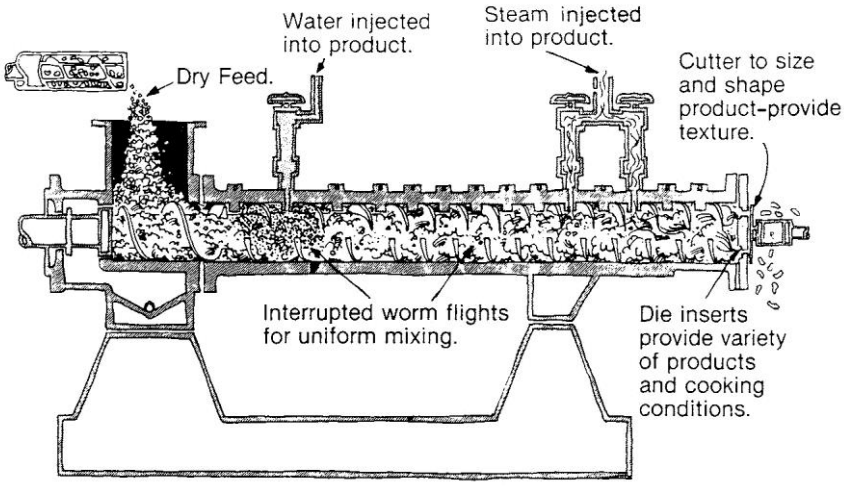


شکل ۲- اجزای اصلی اکسترودرهای تک ماردونه یکپارچه

در صورتیکه مواد قبلا پیش مشروط نشده باشند ، اجزاء خشک در اولین بخش مرطوب و مخلوط شده و سپس در بخش انتقالی فشرده می شوند ، در بخش میترینگ پخته شده و از طریق یک قالب شکل دهی تخلیه و به قطعات دلخواه از طریق یک کارد دوار متناسب بریده می شوند . تراکم در ناحیه انتقالی می تواند تا نسبت ۵:۱ برسد . اکسترودر نشان داده شده در شکل ۲ نیز دارای چندین ژاکت می باشد که برای سرد کردن وگرم کردن بدنه اکسترودر استفاده می شود به عنوان مثال در عمل ، بخش مجاور انتهای خوراک می تواند سرد شود تا ویسکوزیته محصول را تامین کند و از برگشت بخار از بخش پخت جلوگیری کند. در صورتیکه تولید فرآورده حجیم مد نظر باشد ، بدنه اکسترودر درمجاورت انتهای قالب داغ نگه داشته می شود و در صورتیکه انبساط مورد نظر نباشد سرد نگه داشته می شود (جهت کاهش دمای محصول به زیر نقطه جوش آب). عمل برش به موازات اینکه فرآورده فشرده می شود و به دیواره بدنه اکسترودر تماس می یابد و در مقابل فشار برگشت تولیدی توسط صفحه قالب به جلو رانده می شود اتفاق می افتد.

اکسترودرهای حجم دهنده ماردون بریده :

شکل ۳ یک اکسترودر حجم دهنده ماردون بریده را نشان می دهد .دنده بطور مداوم نمی باشد اما در بخش های بریده شده برآمدگی هایی روی دیواره ژاکت وجود دارد که باعث افزایش میزان برش می شود . اصطکاکی که هنگام عبور فرآورده توسط ماردون از محل این برآمدگی ها ایجاد می شود باعث تولید حرارت می گردد . فشار برگشتی در ماشین توسط موانعی در قالب ایجاد می شود. جهت جزئیات بیشتر به فصل ٤ مراجعه کنید.



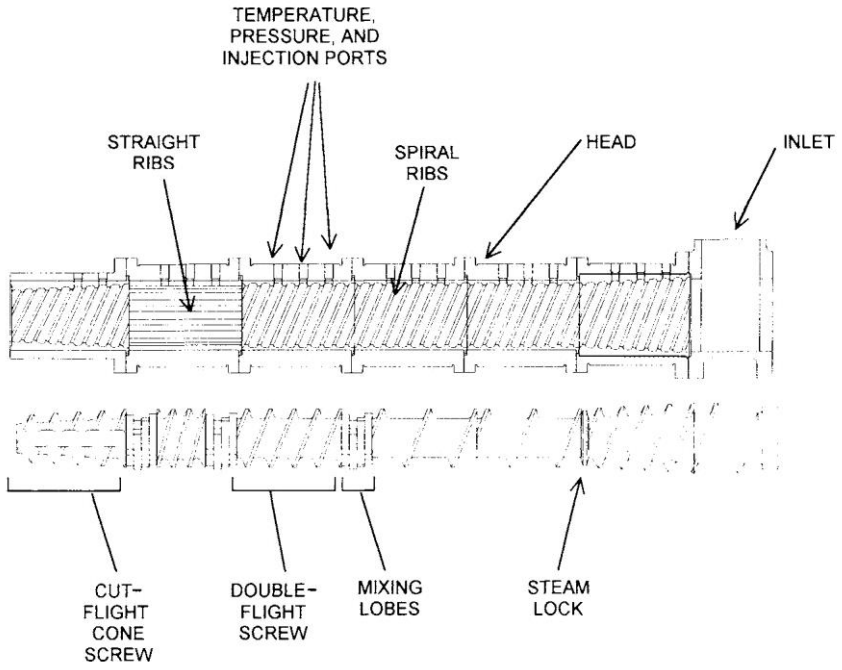
شکل ۳- برش عرضی اکسترودرهای حجم دهنده ماردون بریده

اکسترودرهای تک ماردونه قطعه بندی شده :

مقطع طولی یک اکسترودر تک ماردونه که دارای ماردون حلزونی قطعه بندی شده و بدنه اکسترودر می باشد در شکل ٤ نشان داده شده است . توجه کنید که قطر محور ماردون ثابت می باشد و عمل

تراکم از طریق تغییر گام ماردون ایجاد می شود . در این مورد بخش گام کامل ماردون باعث حرکت فرآورده بر روی یک حلزونی دارای دنده های مارپیچی دوگانه با نیم گام جهت ایجاد تراکم می شود. میزان برش را به دو روش می توان تغییرداد : از طریق استفاده از موانع برشی که قطرهای آن ها به تدریج افزایش می یابد . این امر سبب فشارهای افزایشی جهت به حرکت درآوردن فرآورده به بخش های حلزونی هم جوار می شود که می تواند از طریق انتخاب بین یک بدنه واجد دیواره دنده دار و یا یک بدنه واجد دیواره مارپیچی باشد . اختلاط و برش بیشتر در بدنه اکسترودر شیاردار به علت وجود لقی بیشتر بین دنده ماردون و دیواره های بدنه اکسترودر می باشد. دیواره های مارپیچی و مستقیم در شکل ٤ نشان داده شده اند . جهت جزئیات بیشتر به فصل ۲ بخش اکسترودرهای تک ماردونه مراجعه شود.

غالبا اکسترودرهای تک ماردونه ظرفیت بالا ، از طراحی بدنه اکسترودر و ماردون از نوع قطعه بندی شده برخوردارند. اهمیت طرح ماردون قطعه بندی شده و بدنه اکسترودر در این است که هر بخش بین دو مانع برشی، خود تبدیل به یک سلول واکنش گر می شود در حالیکه اکسترودرهای تک ماردونه و اکسترودرهای ماردون بریده که قبلا تشریح شد خود به تنهایی یک سلول واکنشگر می باشند.



شکل ٤- برش عرضی اکسترودرهای تک ماردونه قطعه بندی شده

طول تنها پارامتری می باشد که تعداد سلول های متوالی که می تواند بر روی یک ماردون قرار بگیرد راتعیین میکند . از طرح های رایج ، ٥ خانه ای ، ٧ خانه ای و ٩ خانه ای می باشند . در هر خانه یک عملیات منحصر بفردانجام می شود که شامل تراکم ، حرارت دهی به روش تزریق بخار یا ژاکت های حرارتی ، برش ، تخلیه بخار و سردکردن فرآورده ، تراکم مجدد ، اضافه کردن اجزاء حساس به گرما و سردسازی با استفاده از ژاکت میشود. اکسترودرهای ماردونی یکپارچه را هنوز جهت کاربری های خاص شکل دهی وپخت در فشار پایین می سازند . امابا تغییر قطعات حلزون های مارپیچی و تغییر تعداد بخشهای بدنه اکسترودر تنوع قابل ملاحظه ای جهت اختصاص سازی طرح ماردون – بدنه اکسترودر ارائه میشود که برای اکسترودرهای تک ماردونه و دو ماردونه مورداستفاده قرار می گیرند.

با کنترل شرایط فرآیندی در اکسترودرهای تک ماردونه اثرات متنوعی را می توان ایجاد کرد . برای مثال ، دمای پخت در بدنه اکسترودر را می توان بین ۸۰-۲۰۰°C از طریق ترکیب ماردون های تولید کننده برش بالا و موانع برشی ، تزریق مستقیم بخار ، حرارت دهی بدنه اکسترودر از طریق گردش بخار یا روغن حرارت دهنده ، افزایش سرعت محور ، وکاهش سطح باز قالب تغییر داد. همچنین زمان اقامت دربدنه اکسترودر می تواند بین ۱۵ تا ۳۰۰ ثانیه از طریق افزایش یا کاهش سرعت محور متغیر باشد . عموما، اکسترودرهای تک ماردونه توانایی اختلاط ضعیفی دارند ، بنابراین ماده می بایست از قبل مخلوط شود و یا اینکه از پیش مشروط ساز جهت اختلاط مناسب اجزاء استفاده گردد . به عنوان نمونه یک اکسترودر تک ماردونه از سه ناحیه مختلف تشکیل می شود : ناحیه خوراک دهی ، ناحیه خمیر سازی ، و ناحیه پخت (هاک ۱۹۸۵) اطلاعات جزئی تر در مورد این نواحی در فصل دو ، اکسترودرهای تک ماردونه مورد بحث قرار می گیرد .

اکسترودرهای دو ماردونه :

باافزایش نیاز به تولید فرآورده های جدید و باکیفیت بالاتر که اکسترودرهای تک ماردونه قادر به تولید آن هانبودند اکسترودرهای دو ماردونه طراحی و وارد بازار گردید. این اکسترودرها دارای خصوصیات وقابلیت های مکانیکی و فرآیندی بسیار متفاوتی می باشند .

طبقه بندی اکسترودرهای دو ماردونه :

اکسترودرهای دو ماردونه را براساس جهت چرخش در دو گزینه زیر طبقه بندی میکنند:

۱) اکسترودرهای دو ماردونه خلاف گرد

۲) اکسترودرهای دو ماردونه هم گرد

این اکسترودرها را می توان بر اساس موقعیت ماردون ها نسبت به یکدیگر نیز در دو گروه متداخل و غیر متداخل طبقه بندی کرد .

اکسترودرهای دو ماردونه خلاف گرد

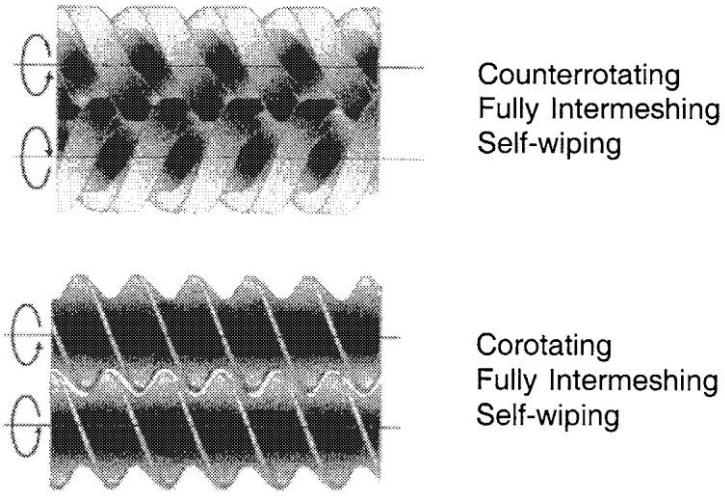
این نوع اکسترودرها اگرچه نقاله هایی بسیار عالی می باشند اما در صنایع غذایی کاربرد گسترده ای ندارند .این اکسترودرها در فرآیند مواد نسبتا غیر ویسکوز نظیر انواع آدامس ، ژله ها و فرآورده های قنادی حاوی مغزی روان (السنرو وایدمن ، ۱۹۸۵) که نیازمند شرایط فرآیندی باسرعت پایین و زمان های اقامت طولانی هستند مناسب می باشند.

اکسترودرهای دو ماردونه هم گرد

این اکسترودرها عموما در صنایع غذایی و صنایع اسنک مورد استفاده قرار می گیرند . اکسترودرهای دو ماردونه هم گرد نقش عمده ای درافزایش تنوع فرآورده های تولیدی بافناوری اکستروژن ایفا کرده اند .این نوع اکسترودرها جابجایی حرارتی زیادی ایجاد میکنند اما جابجایی اجباری حرارت ندارد (السنرو وایدمن ۱۹۸۵).

از مزایای این روش می توان به راندمان پمپ کردن بالا ، کنترل خوب بر توزیع زمان اقامت ، ساز و کار خود تمیز سازی ، و یکنواختی فرآیند اشاره کرد (شولر ۱۹۸٦)

همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است ، ماردون ها یا در جهت مخالف می چرخند (خلاف گرد) یادر همان جهت (هم گرد)



شکل ۵- ماردونهای متداخل هم گرد و خلاف گرد

ماردون های اکسترودرها را براساس موقعیت مکانی آن ها نسبت به یکدیگر به دو گروه زیر تقسیم میکنند :

۱- ماردون متداخل : دراین اکسترودرها ، دنده های یک ماردون با دنده های ماردون دیگر در گیر می شود این خصوصیات آن ها را از اکسترودرهای تک ماردونه ودو ماردونه غیر متداخل متمایز می سازد.

۲- ماردون غیر متداخل : دراین اکسترودر، ماردون ها با دنده های یکدیگر درگیر نمی شوند که این امر اجازه چرخش یک ماردون بدون هیچ تداخلی با ماردون دیگر را می دهد. کلارک(۱۹۷۸) اکسترودرهای ماردونی غیر متداخل را به صورت دواکسترودر تک ماردونه که درکنار یکدیگر قرار گرفته اند و فقط بخش کوچکی از بدنه اکسترودر بین آنها مشترک است توصیف کرد. همانند اکسترودرهای تک ماردونه، این اکسترودرها جهت فرآیند

اکستروژن بر اصطکاک تکیه دارند . این ماردون ها جهت پمپ کردن یا اختلاط طراحی نشده اند .

اکسترودرهای ماردونی غیر متداخل همانند اکسترودرهای تک ماردونه عمل می کنند ، اما ظرفیت بالاتری دارند (زیراک ۱۹۸۹)

بنابراین اکسترودرهای دو ماردونه به چهار دسته تقسیم می شوند :

- غیر متداخل ، هم گرد
- غیر متداخل ، خلاف گرد
- متداخل ، هم گرد
- متداخل ، خلاف گرد

اکسترودرهای دو ماردونه غیر متداخل را می توان به عنوان دو ماردون جداگانه که درکنار یکدیگر قرار گرفته اند در نظر گرفت که پر شدن و خالی شدن هر ماردون مستقل از دیگری می باشد . در مقایسه با ماردون های خلاف گرد متداخل ، ماردون های هم گرد متداخل چهار تا پنج برابر حجم ماده بیشتری را در محفظه های باز V شکل حمل میکنند . جهت جزئیات بیشتر به فصل ۵ مراجعه کنید .

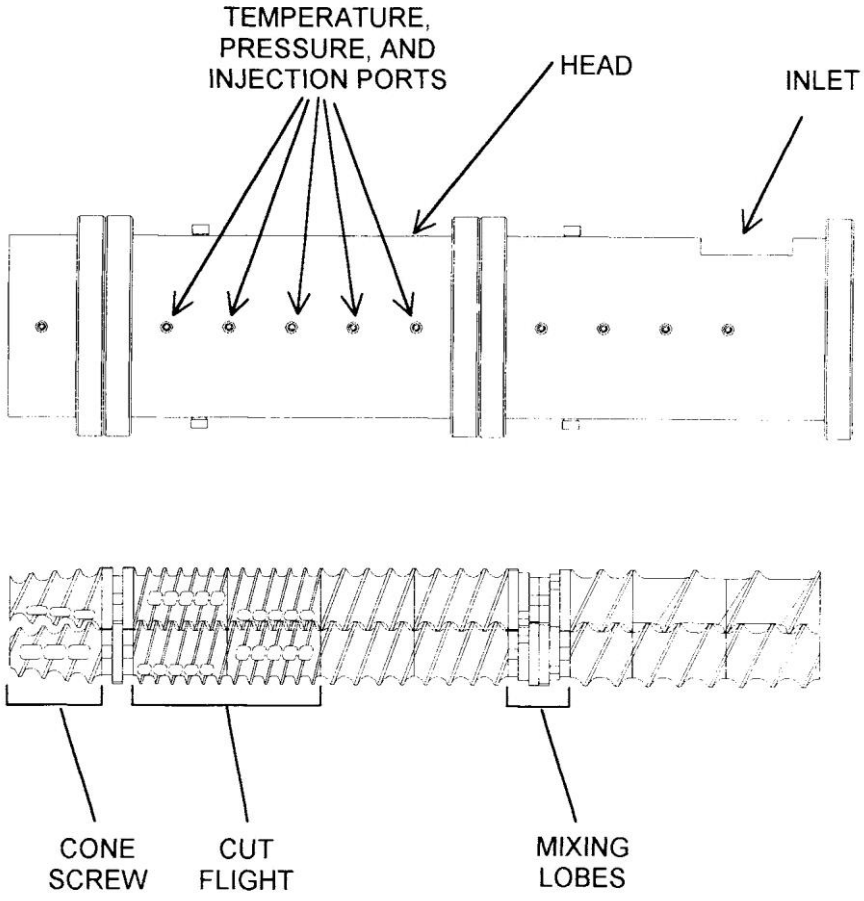
اکسترودرهای دو ماردونه

مزایای اکسترودرهای دو ماردونه :

اکسترودرهای دوماردونه متداخل نوعا به میزان ۵۰ تا ۱۵۰٪ قیمت بیشتری نسبت به اکسترودرهای تک ماردونه با همان ظرفیت دارند و درمقابل امتیازات گوناگونی ارائه می کنند :

- مواد بسیار مرطوب ، گرانرو ، روغنی ، چسبنده ، و سایر فرآورده هایی که در یک اکسترودر تک ماردونه امکان لیز خوردن دارند را حمل می کنند (می توان تا ۲۵٪ چربی به یک اکسترودر دو محوره اضافه نمود .)
- حائز ویژگی عمل پمپ با جابجایی مثبت و ضربان کاهش یافته در داخل قالب می باشند .
- فرسایش کمتری در قطعات کوچکتر ماشین در مقایسه با اکسترودر تک ماردونه وجود دارد.
- از خصوصیات آن ها خوراک دهی بدون نوسان می باشد.
- گستره وسیعی از اندازه ذرات (از پودر نرم تا دانه ها) را می توان مورد استفاده قرار داد در حالیکه انواع تک ماردونه محدود به گستره خاصی می باشند .
- تمیز کردن دستگاه به علت خصوصیت خودتمیزسازی آن بسیار ساده است.
- سربدنه اکسترودر را می توان به دو جریان متفاوت تقسیم کرد .
- فرآیند افزایش مقیاس از نیمه صنعتی به تولید انبوه در آن ها ساده است .
- استفاده از این فرآیند نیاز به آموزش سطح بالایی ندارد.

برش طولی ماردون اکسترودر دو ماردونه خود تمیز شونده هم گرد و اجزاء اصلی آن شامل ناحیه خوراک دهی ، ناحیه خمیر سازی ، ناحیه پخت ، و موانع برشی در شکل ٦ نشان داده شده است .



شکل ٦- برش عرضی اکسترودر دو ماردونه

اکسترودرهای نسل جدید

اکسترودرهای تک ماردونه نسل جدیدتوسط شرکت ونگر درکانزاس در سال ۱۹۹۸ به ثبت انحصاری رسید .این دستگاه ها به گونه ای طراحی شده اند که در سرعت های بالای شفت و نسبت های طول به قطر کم عمل میکند . به منظور موفقیت در بازار رقابتی امروز ، هر دستگاه جدیدی می بایست منافع

خاصی را ایجاد کند و یااینکه از آن فراتر رود و نمی بایست هیچ اثر مخربی بر پارامترهای تغذیه ای یا سایر پارامترهای کیفی فرآورده داشته باشد.

مزایای اکسترودرهای نسل جدید

این اکسترودرها به طور بالقوه مزایای بیشتری نسبت به سایر انواع اکسترودرها ارائه می کنند . به اعتقاد راکی (۱۹۹۸) و استراهام (۱۹۹۹) مزایای این طرح شامل موارد زیر می باشد :

- ۵۰-۳۰٪ افزایش ظرفیت
- ۲۰-۵٪ کاهش در دانسیته توده ای
- بیش از ۲۵٪ کاهش در مصرف انرژی
- کاهش هزینه تعمیر و نگهداری
- مناسب برای فرآورده های حاوی کربوهیدرات بالا
- کاهش هزینه های فرآیندی و سرمایه ای

از آنجائیکه این اکسترودرها نسبت (قطر / طول) کمتری دارند ، قطعات گردنده فرسایش کمتری بر روی قطعات ثابت ایجاد میکنند .

همچنین ازآنجا که اجزاء ثابت و گردنده بدنه اکسترودر گران قیمت ترین قطعات اکسترودرها می باشند باکاهش نسبت طول به قطر در اکسترودرهای نسل جدید ، هزینه های سرمایه ای کاهش یافته است در حالیکه در گذشته کاهش نسبت (قطر/طول) منجر به کاهش ظرفیت اکسترودر می شد .

ابزار جدیدی که در این اکسترودر استفاده شده است اجازه دوران ماردون اکسترودر با سرعت هایی بین ۳۰ تا ۱۰۰٪ بیشتر را می دهد . این تجهیزات با موتورهای فرکانس متغیر به گونه ای هماهنگ

شده اند که انعطاف پذیری فرآیندی اکستروژن وکنترل فرآورده را به حداکثر برسانند. از آنجا که همبستگی مستقیمی بین سرعت ماردون اکسترودر و انرژی مکانیکی ورودی وجود دارد به موازات افزایش سرعت ماردون ، ورودی انرژی مکانیکی نیز افزایش می یابد مگر اینکه خروجی فرآورده نیز افزایش یابد تا همزمان با افزایش انرژی مکانیکی ورودی در هر واحد مواد خام دانسیته توده ای فرآورده های اکسترود شده کاهش یابد [سبب افزایش حجم فرآورده در هنگام خروج از قالب می شود] . بعلاوه در اکسترودرهای نسل جدید هزینه های تعمیر و نگهداری کاهش یافته است و زمانی که فرآورده های حاوی کربوهیدرات زیاد در حال تولید هستند جدا شدن فرآورده از قالب بهبود می یابد . افزایش سرعت ماردون سبب کاهش دانسیته توده ای در فرآورده هایی که کربوهیدرات زیاد دارند (مانندبرنج) می شود بدون اینکه سبب توده ای شدن فرآورده در قالب که عموما ناشی از وجود نشاسته دراین فرآورده هاست شود . در اکسترودرهای نسل جدید وجود موتورهای جریان متناوب فرکانس متغیر می تواند تطبیق پذیری آن ها را به اندازه اکسترودرهای دو ماردونه برای انواع فراورده ها تامین کند . از آنجاییکه در دستگاه های نسل جدید ظرفیت های بالاتری تقریبا با همان سطح انرژی مکانیکی ورودی قابل دسترسی می باشد ، موتورهای قدرتمند تری جهت این اکسترودر نیز مورد نیاز است .

نیاز به تولید بیشتر با هزینه کمتر نیروی محرکه پیشرفت های فناورانه می باشد . اکسترودرهای نسل جدیدنیز ازاین قاعده مستثنی نمی باشند . هزینه های عملیاتی جهت این دستگاه ها را می توان به عوامل زیر شامل : مواد خام ، سرمایه (شامل استهلاک و بهره) ، نگهداری ، هزینه نیروی کار ، و بخش های کمک فرآیند تقسیم کرد .در جدول ۱ ، این هزینه ها (به استثناء مواد خام) بر پایه مقدار

درتن در یک اکسترودر مدرن تک ماردونه (با فناوری کنونی) ، نسل جدید دستگاه های تک ماردونه با ماردون سرعت متغیر و دستگاه های مدرن دو ماردونه دسته بندی شده اند. هر دستگاه اکستروژن شامل اکسترودر ، خشک کن ، و دستگاه های کنترل دستی می شود (جدول ۱) .

اکسترودرهای نسل جدید هزینه های عملیاتی را به علت کاهش هزینه های سرمایه گذاری و افزایش راندمان انرژی کاهش می دهند . با حدود هر ۱/٤ تن افزایش در سرمایه گذاری ، قابلیت های اکسترودرهای نسل جدید را می توان به اندازه ای گسترش داد که با اکسترودرهای دو ماردونه که هزینه های عملیاتی بالاتری دارند ، رقابت کند(جدول ۲)

جدول ۱- خلاصه هزینه های عملیاتی دستگاه های اکستروژن

گروه هزینه	واحد	فناوری تک ماردونه کنونی	نسل جدید تک ماردونه ها	نسل جدید تک ماردونه هابا موتورهای سرعت متغیر	دو ماردونه
ظرفیت تولید	Mt/hr	۱۱	۱۱	۱۱	۸
هزینه سرمایه ای	$/mt	۲/۰۷	۱/٦۸	۱/۸۸	۳/۲۵
تعمیر و نگهداری	$/mt	۰/٥٤	۰/٥۲	۰/٥۲	۲/۰۱
هزینه نیروی کار	$/mt	۱/۸۲	۱/۸۲	۱/۸۲	۲/٥
کمک فرآیند ها	$/mt	٥/۹	٥/٥۹	٥/٥۹	٦/۸۹
غیره	$/mt	۰/۱۸	۰/۱٥	۰/۱٦	۰/۲۸
هزینه کل		۱۰/٥۱	۰/۷٥	۹/۹۷	/۹۳ ۱٤