Journal of Packaging Science and Technology

Vol. 14, No. 2, Summer, 2023

A Review of Multilayer Flexible Packaging Structures

Amir Hasanvand*

*Master's degree student, Department of Polymer Engineering, Faculty of Polymer and Paint Engineering, Tehran Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

(Received: 20/11/2022; Accepted: 03/06/2023)

Abstract

The packaging film consists of very thin plastic whose main component is plastic and elastomeric materials. In general, films are used to protect goods from damaging factors. Almost any plastic can be made into film, but this study will only discuss those that are used for commercial packaging. In this research, the types of common polymers used for flexible packaging programs in all industries and the strategy of polymer selection for the production of suitable films are studied, and the role of flexible packaging films in the material supply chain. Food and the role of flexible packaging films in medical equipment and the types of materials used in multi-layer flexible packaging are discussed. Also, thermal properties and polymer seals are studied and application programs are presented for flexible packaging film structures, biaxial and multiaxial films. And finally, a look at the technology of multilayer flexible film structures and a list of polymers used to produce normal buffer layers, bulky layers, interface layers or sealants for layered structures for various applications is described.

Keywords: Packaging Films, Flexible Packaging, Multilayer Films

*Corresponding Author E-mail: amirhasnvand.contact@gmail.com

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

نشریه علمی «علوم و فنون بسته‌بندی»
سال چهاردهم، شماره ۵۴، تابستان ۱۴۰۲؛ ص ۵۵-۴۵

علمی – مروری

مروری بر ساختارهای بسته‌بندی انعطاف پذیر چند لایه

امیر حسنوند*

دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی پلیمر، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۳)

چکیده

فیلم بسته‌بندی، متشکل از پلاستیک بسیار نازکی است که مولفه اصلی آن مواد پلاستیکی و الاستومری است. به طور کلی، فیلم‌ها برای محافظت از کالا در برابر عوامل آسیب رسان استفاده می‌شوند. تقریباً هر پلاستیکی را می‌توان به صورت فیلم ساخت، اما مطالعه حاضر فقط مواردی را که برای بسته‌بندی بصورت تجاری استفاده می‌شوند، مورد بحث قرار می‌دهد. در این پژوهش به مطالعه انواع پلیمرهای متداول مورد استفاده برای برنامه‌های بسته‌بندی انعطاف‌پذیر در تمامی صنایع و راهبرد انتخاب پلیمر به جهت تولید فیلم‌های متناسب نیاز و نقش فیلم‌های بسته‌بندی انعطاف‌پذیر در زنجیره تامین مواد غذایی و نقش فیلم‌های بسته‌بندی انعطاف‌پذیر در تجهیزات پزشکی و انواع مواد استفاده شده در بسته‌بندی انعطاف‌پذیر چند لایه پرداخته می‌شود. و همچنین به مطالعه خصوصیات حرارتی و مهر و موم پلیمری و ارائه برنامه‌هایی کاربردی برای سازه‌های فیلم بسته‌بندی انعطاف‌پذیر، فیلم‌های دو محوره و چند محوره پرداخته می‌شود. و در آخر نگاهی به فناوری ساختارهای فیلم انعطاف‌پذیر چند لایه و فهرستی از پلیمرهای مورد استفاده برای تولید لایه‌های حائل معمولی، لایه‌های حجیم، لایه‌های رابط یا درزگیر برای پیکربندهای لایه‌ای به جهت کاربردهای متنوع شرح داده می‌شود.

کلیدواژه‌ها: فیلم‌های بسته‌بندی، بسته‌بندی انعطاف‌پذیر، فیلم‌های چند لایه

۱- مقدمه

تقریباً همه افراد روزانه با غذاهای بسته‌بندی شده در ظروف پلاستیکی سروکار دارند. کیسه‌ها و بسته‌های پلاستیکی در سراسر جهان حتی در مکان‌های دورافتاده گسترش یافته‌اند. دلایل زیادی برای بسته‌بندی کردن مواد غذایی وجود دارد از جمله می‌توان به محافظت از کالا در برابر آلودگی‌ها، میکروب‌ها، مایعات یا گازها اشاره کرد [۱]. روزگاری، مردم تنها با غذاهای محلی و فصلی سروکار داشتند. اما مدت هاست که افزایش جمعیت زمین و بکارگیری فناوری‌های نوین، ظرفیت محصولات را از محلی و فصلی بودن، فراتر برده است. و از طرفی سهولت سفر، حمل و نقل کارآمد و سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی، مردم را از یک گوشه زمین در معرض غذاهای از فاصله بسیار دور قرار داده است. و از طرف دیگر بازاریابی توسط تأمین کنندگان و فروشندگان مواد غذایی باعث تقاضا برای انواع مواد غذایی شده است. دسترسی به یک مجموعه غذایی حیرت انگیز از چهار گوشه دنیا دیگر یک چیز اشرافی محسوب نمی‌شود. مواردی وجود دارد که بسته‌بندی مواد غذایی باید آنها را برآورده کند. عملکرد اصلی یک بسته محافظت از محصولات غذایی است. بسته‌ها از غذا در برابر از دست دادن مواد مغذی، خواص عملکردی، رنگ، عطر، طعم محافظت می‌کنند و می‌بایست ظاهر عمومی مورد انتظار مصرف کنندگان را برآورده سازند. یک بسته خوب باید یک مانع قابل قبول بین غذا و محیط خارجی ایجاد کند. به خصوص برای بخار آب، اکسیژن و ریزاندامگان. ماندگاری و مدت زمان باقی ماندن محصول در شرایط قابل قبول برای استفاده، به شدت به توانایی بازدارندگی بسته، بستگی دارد. عملکرد دوم بسته، حمل و نقل کالا به روشی مناسب است. سرانجام، یک بسته خوب باید اطلاعات واضحی از مواد غذایی را در اختیار مصرف کنندگان قرار دهد و با ظاهری دلپذیر و تزئینی، آن‌ها را برای خرید جذب کند [۲]. برای اینکه یک پلاستیک نامزد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی باشد، می‌بایست دو ویژگی داشته باشد:

۱. استحکام مکانیکی: تا به مواد غذایی بسته‌بندی شده، اجازه دهد تا در برابر سختی‌های جابجایی، حمل‌ونقل، نگهداری، تبرید و تعاملات مصرف‌کننده، سایش و تابش مقاومت کند.

* رایانامه نویسنده مسئول: amirhasnvand.contact@gmail.com

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.
ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع) © نویسندگان

۲. پایداری حرارتی: باید از پایداری حرارتی مناسب برای فرآورش حرارتی مانند سَتَروَن‌سازی برخوردار باشد.

ایـن ویژگـی‌هـا و طراحـی مناسـب بسـته‌بنـدی، معمـولاً از دستکاری‌های پنهان و هرگونه سوء استفاده جلـوگیری مـی‌کنـد. اندازه بازارهای مواد غذایی [۲] در سطح جهـانی بسـیار گسـترده است. غذاهای بسته‌بندی شده نه تنها در کشورهای پیشرفته رایج است بلکه در کشورهای در حال توسعه نیز به امری عادی تبـدیل شده اسـت. غـذاهای بسـته‌بنـدی شـده بـه طـور فزاینـده‌ای در کشورهای جهان سوم آفریقا، آسیا و آمریکای جنوبی در دسترس هستند.

۲- انتخاب پلیمر

پلیمرها برای عملکرد خاصی که ارائه می‌دهند انتخاب می‌شوند و در طراحی بسته نهایی ترکیب می‌شـوند تـا تمـام الزامـات بـرای کاربرد خاصی را که در آن استفاده می‌شوند برآورده سازند. اغلب، ترکیبات مختلف مواد یا ساختارهای فیلم وجود دارد کـه حـداقل الزامات عملکرد یک برنامه کاربردی را بـرآورده مـی‌کنـد [۳]. در این موارد، ساختار بسته‌بندی انتخاب شده ممکن است بر اسـاس ملاحظاتی از قبیل در دسترس بودن از چندین تـامین کننـده یـا توانایی ایجاد تمایز نسبت به بسته‌بندی رقابتی باشـد. بـه عنـوان مثال، ممکن است از یک جعبه با یک پوشش داخلی یا یک کیسه عمودی استفاده شود که هر ترکیـب حـداقل الزامـات حفاظـت و ایمنی محصول را فراهم می‌کند. یک شـرکت کالاهـای مصـرفی، ممکن است جعبـه و پوشـش داخلـی را انتخـاب کنـد و شـرکت کالاهای مصرفی دیگر ممکن است تصمیم بگیرد که محصول خود را در یک کیسه عمودی (برای همان محصول) بسته‌بندی کند. یا یک تولید کننده ممکن است از کیسـه ایسـتاده اسـتفاده کنـد و تولید کننده دیگری ممکن اسـت از کیسـه بالشـی (بـرای همـان محصول) استفاده کند[۳].

پلیمرها برای لایه‌های جداگانـه، بـرای دسـتیابی بـه خـواص عملکردی خاص انتخاب می‌شـوند. بـه عنـوان مثـال، پلیمرهـا را می‌توان برای کمک به استحکام کششی فـیلم، مقاومـت در برابـر نفوذ، قابلیت مهـر و مـوم شـدن، شـکل‌پـذیری، ماشـین‌پـذیری، چسبندگی، نوری، اقتصادی انتخاب نمود. یک لایه منفرد می‌تواند از یـک پلیمـر بکـر، ترکیبـی از پلیمرهـا، یـا از مـواد تجدیـد شده/بازیافت شده یا مقادیر زیادی از مواد افزودنی تشـکیل شـود. بیشتر پلیمرهای گرمانرم را می‌توان بـا هـم اکسـترود کـرد. پلـی اتـیلن بزرگتـرین گرمـانرم مـورد اسـتفاده در بسـته‌بنـدی‌هـای انعطاف‌پذیر است.

جدول(۱): پلیمرهای متداول مورد استفاده برای برنامه‌های بسته‌بندی انعطاف‌پذیر[۱].

نام پلیمر	مخفف	چگالی (g/cm^3)
اتیلن اکریلیک اسید	EAA	۰,۹۵۰-۰,۹۲۵
اتیلن مونوکسید کربن	ECO	۰,۹۳۰
اتیلن اتیل آکریلات	EEA	۰,۹۵۰-۰,۹۲۵
اتیلن (مت) اکریلیک اسید (یونومر) تا حدی خنثی شده	ION	۰,۹۵۰-۰,۹۴۰
اتیلن متاکریلیک اسید	EMAA	۰,۹۵۰-۰,۹۲۵
اتیلن متیل آکریلات	EMA	۰,۹۵۰-۰,۹۳۰
اتیلن وینیل استات	EVA	۰,۹۴۵-۰,۹۲۵
اتیلن وینیل الکل	EVOH	۱,۱۶-۱,۱۴
پلی اتیلن پیوندی مالئیک انیدرید	PE-g-MAH	۰,۹۴۰-۰,۹۱
پلی اتیلن با چگالی بالا	HDPE	۰,۹۶۵-۰,۹۴۰
HDPE با وزن مولکولی بالا	HMWHDPE	۰,۹۶۲-۰,۹۴۰
پلی اتیلن با چگالی کم خطی	LLDPE	۰,۹۴۰-۰,۹۱۵
پلی اتیلن با چگالی کم	LDPE	۰,۹۲۵-۰,۹۱۵
پلی اتیلن با چگالی متوسط	MDPE	۰,۹۴۰-۰,۹۲۵
پلی اتیلن متالوسن	m-LLDPE	۰,۹۶۰-۰,۸۶۵
پلاستومر/الاستومر پلی الفین	POP/POE	۰,۹۱۵-۰,۸۵۶
پلی اتیلن تقویت شده	EPE	۰,۹۲۵-۰,۹۰۰
پلی آمید (نایلون)	PA	۱,۱۴-۱,۱۲
پلی بوتیلن	PB	۰,۹۰۹
پلی کربنات	PC	۱,۲
پلی اتیلن ترفتالات	PET	۱,۳
پلی پروپیلن	PP	۰,۹۰۲-۰,۸۹
پلی استایرن	PS	۱,۰۴
پلی وینیل کلرید	PVC	۱,۱۶
پلی وینیلیدین کلرید	PVDC	۱,۷
پلی اتیلن با چگالی فوق العاده پایین	ULDPE	۰,۹۱۵-۰,۹۰

بسیاری از هموپلیمرها و کوپلیمرهای پلی اتیلن برای اسـتفاده در دسترس هستند. برخی از پلیمرهـای متـداول مـورد اسـتفاده در

ساختارهای بسته‌بندی انعطاف‌پذیر در جدول (۱) گنجانده شده‌اند. برخی از الزامات عملکرد کلیدی برای بسته‌بندی انعطاف‌پذیر با کارایی بالا شامل موارد زیر است [۱]:

الف. خواص بازدارنده: برای جلوگیری از ورود یا خروج اکسیژن، آب، نور، طعم یا چربی به بسته‌بندی بکار گرفته می‌شود.

ویژگی‌های بازدارنده/ مانع ممکن است با اندازه گیری نفوذ اکسیژن و بخار آب از طریق مواد بسته‌بندی مشخص شود.

ب. نفوذپذیری انتخابی: نفوذپذیری انتخابی اجازه می‌دهد تا اکسیژن و دی اکسید کربن در بسته‌بندی با سرعت محاسبه شده نفوذ کند تا ماندگاری محصولات تازه برش خورده شده افزایش یابد. اکسیژن، دی اکسید کربن و نفوذپذیری بخار آب اغلب اندازه گیری و مشخص می‌شوند.

ج. جلوگیری از آسیب رساندن به مواد بسته‌بندی: برای جلوگیری از آسیب به مواد بسته‌بندی و محتویات آن در هنگام حمل و نقل لازم است که پلیمر انتخاب شده مقاوم باشد. مقاومت در برابر آسیب ممکن است شامل مقاومت در برابر سوراخ شدن، قدرت پارگی، قدرت ضربه و مدول فیلم باشد. برخی از بسته‌بندی‌ها به چقرمگی خوبی در دمای یخچال و یخزدگی نیاز دارند [۱].

د. قابلیت مهر و موم شدن: قابلیت مهر و موم شدن اجازه می‌دهد بسته‌ها با سرعت بسته‌بندی بالا ساخته شوند و با جلوگیری از خراب شدن درزهای بسته، محصول ایمن نگه داشته شود. قابلیت مهر و موم را می‌توان با استحکام درزگیری و چسبندگی حرارتی، دمای شروع گرما و چسب حرارتی، عملکرد درزگیری از طریق آلودگی، قابلیت درزگیری و یکپارچگی مهر و موم مشخص کرد. چسباندن/چسبندگی داغ[1] به استحکام مهر و موم در حالی که هنوز در حالت مذاب است اشاره دارد. برای بسته‌هایی که در آن‌ها محصول به داخل بسته ریخته می‌شود در حالی که مهر و موم هنوز تا حدی مذاب است، همچنین برای بسته‌هایی که به صورت افقی پر شده‌اند در آن بخش‌هایی وجود دارد که برای ماهیت فنری فیلم تاشده، نیروی بازشدن ایجاد می‌کند بسیار مهم است. درزبندی به توانایی مواد درزگیر برای جاری شدن، پر کردن شکاف‌های اطراف چین‌ها، چین و چروک‌ها یا آلاینده‌های محصول اشاره دارد.

ه. قابلیت ماشین‌پذیری: قابلیت ماشین‌پذیری اجازه می‌دهد فیلم‌های بسته‌بندی به راحتی روی تجهیزات بسته‌بندی خودکار پرسرعت اجرا شوند. ماشین‌پذیری عمدتاً توسط مدول فیلم، ضخامت لایه، خواص مهر و موم و ضریب اصطکاک کنترل می‌شود.

و. ظاهر بسته عامل مهمی در ترجیح محصول توسط مصرف کنندگان است [۴]، درخواست تجدیدنظر تا حد زیادی به کیفیت چاپ و براقیت بسته‌بندی مربوط می‌شود. ضخامت و مدول فیلم همچنین ممکن است جذابیت مصرف کننده را تحت تأثیر قرار دهد.

۳- قابلیت مهر و موم شدن پلیمری

مهر و موم حرارتی یک ویژگی حیاتی برای بسیاری از کاربردهای بسته‌بندی است [۵].

جدول(۲): خصوصیات حرارتی و مهر و موم پلیمری [۵].

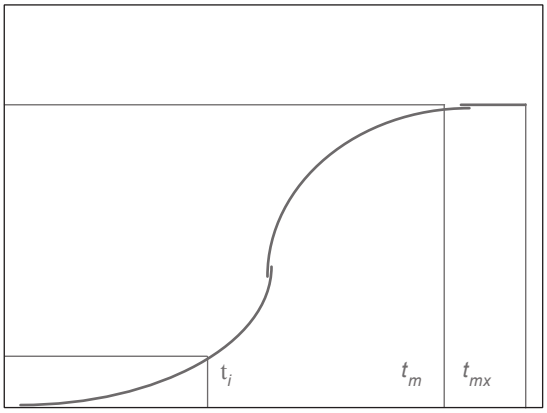
نوع پلیمر	نقطه ذوب شدن،C(F)	نقطه نرم شدگی ویکات، C(F)	دمای ذوب مهر و موم، C (F)
EMA (20%)	۸۰ (۱۷۶)	۵۹ (۱۳۸)	۸۲ (۱۸۹)
POP (0.902 g/cm^3)	۹۴ (۲۰۱)	۸۰ (۱۷۶)	۸۸ (۱۹۰)
EVA (12%)	۹۰ (۱۹۴)	۸۱ (۱۷۸)	۹۱ (۱۹۵)
ION	۹۳ (۲۰۰)	۷۲ (۱۶۱)	۹۹ (۲۱۰)
EAA (9% AA)	۹۸ (۲۰۸)	۸۳ (۱۸۱)	۹۳ (۲۰۰)
ULDPE (0.912 g/cm^3)	۱۲۱ (۲۵۰)	(۲۲۱) ۱۰۵	۱۰۱ (۲۱۵)
LDPE (0.920 g/cm^3)	۱۱۰ (۲۳۰)	۹۲ (۱۹۸)	۱۰۷ (۲۲۵)
LLDPE (0.920 g/cm^3)	۱۲۲ (۲۵۲)	(۲۳۰) ۱۱۰	۱۱۸ (۲۴۵)
HDPE (0.960 g/cm^3)	۱۳۵ (۲۷۵)	(۲۵۷) ۱۲۵	۱۲۱ (۲۵۰)
PP	۱۶۸ (۳۳۴)	(۲۷۱) ۱۳۳	۱۴۹ (۳۰۰)
PS	۱۲۰ (۲۴۸)		
PVDC	۱۶۰ (۳۲۰)		
E VOH	۱۶۰ (۳۲۰)		
PA	۲۱۶ (۴۲۰)		
PC		(۳۱۰) ۱۵۴	

شکل (۲) یک مقاومت حرارتی معمولی را به عنوان تابعی از دمای نوار مهر و موم نشان می‌دهد. پلیمری که قابلیت مهر و موم در دمای پایین را نشان می‌دهد و همچنین یکپارچگی مهر و موم را

[1] Hot Tack

در دمای مهر و موم گسترده، زمان ماندگاری و فشار مهر و موم را حفظ می‌کند، می‌تواند به طور قابل توجهی سرعت خط بسته‌بندی را افزایش دهد، کارایی را بهبود بخشد و خرابی‌های مهر و موم را به حداقل برساند. با این حال، چنین پلیمری ممکن است برای بسته‌هایی که نیاز به مقاومت در برابر حرارت دارند، غیرقابل قبول باشد، مانند کاربردهای پخت و پز، جوشاندن در کیسه یا تندپزها.

خواص مهر و موم حرارتی تحت تأثیر خواص حرارتی و رئولوژیکی پلیمر و همچنین عواملی مانند دمای نوار/ رشته مهر و موم، فشار نوار مهر و موم، زمان اقامت، پیکربندی نوار مهر و موم و طراحی بسته‌بندی است. جدول (۲) قابلیت برخی از داده‌های مهر و موم حرارتی را نشان می‌دهد که حداقل دمای نوار مهر و موم مورد نیاز برای به دست آوردن مقاومت مهر و موم ۳/۵ نیوتن بر سانتی‌متر را برای فیلم‌های تک لایه در شرایط تعیین شده مقایسه می‌کند.



Temperature

t_i = دمای شروع ذوب برای مهر و موم

t_m = دما برای حداکثر استحکام مهر و موم

t_{mx} = حداکثر دما برای مهر و موم

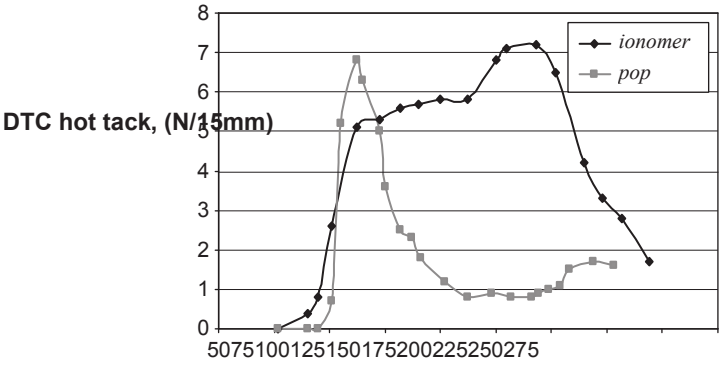
شکل(۲): استحکام مهر و موم حرارتی در برابر درجه حرارت مهر و موم[۵].

کوپلیمرهای اتیلن دمای ذوب پایینی دارند و اغلب به عنوان درزگیر استفاده می‌شوند. به طور کلی، هر چه محتوای کوپلیمر بیشتر باشد، دمای شروع مهر و موم کمتر می‌شود. استهلینگ و مکا [۳] نشان دادند که دمای شروع امتزاج مهر و موم و حداکثر دمای استحکام مهر و موم پلی‌الفین‌ها و کوپلیمرهای اتیلن به شدت به بلوری بودن آنها ارتباط دارد. استحکام رابط مهر و موم به دلیل نفوذ متقابل زنجیره مولکولی در سطح مشترک است. تنها پس از ذوب کامل پلیمر، نفوذ کافی برای اطمینان از حداکثر استحکام مهر و موم ایجاد می‌شود. قریشی و همکاران [۶] نشان می‌دهد که ساختار مولکولی پلی اتیلن با چگالی کم خطی نقشی اساسی ایفا می‌کند: کوپلیمرهای همگن نسبت به پلیمرهای ناهمگن[1] افزایش استحکام مهر و موم سریع‌تری دارند، احتمالاً به دلیل سرعت انتشار سریع‌تر آنها است. همچنین آنها تخمین می‌زنند که پلی اتیلن برای رسیدن به حداکثر استحکام مهر و موم خود، زنجیره‌های آن باید به فاصله‌ای به ترتیب شعاع چرخش آن نفوذ کنند. موریس [۷] دریافت که آینومرها[2] فقط به نفوذ کسری از شعاع چرخش خود نیاز دارند تا حداکثر استحکام مهر و موم را ایجاد کنند. او این را به نیروهای یونی دورتر موجود در آینومرها نسبت می‌دهد. با این حال، همین نیروها به سرعت انتشار آهسته‌تر برای آینومرها کمک می‌کنند. موریس همچنین رابطه متقابل و عملکرد بین دمای نوار مهر و موم، زمان اقامت و همچنین طراحی بسته را بر روی مهر و موم حرارتی بررسی کرد[۷]. سازه‌های بسته‌بندی ضخیم‌تر به زمان‌های ماندگاری طولانی‌تری نیاز دارند به طور اسمی، این به دلیل ملاحظات انتقال حرارت است. مدت زمان بیشتری طول می‌کشد تا گرما از طریق لایه‌های ضخیم‌تر منتقل شود. مدل‌سازی ساده برای عملکرد انتقال حرارت جهت توضیح تفاوت‌های مهر و موم کافی نبود. موریس با طراحی یک مدل انتشار پلیمر و با تجزیه و تحلیل انتقال حرارت، توانست عملکرد بسته‌بندی را پیش‌بینی کند. او دریافت که حداقل برای آینومرهایی که به آهستگی منتشر می‌شوند، پس از برداشتن فک‌های مهر و موم حرارتی در سطح مشترک و پس از اینکه فیلم به آرامی به دمای اتاق خنک می‌شود، قدرت مهر و موم افزایش می‌یابد. یکی دیگر از ویژگی‌های مهم قابلیت مهر و موم شدن، استحکام چسباندن/چسبندگی داغ است: توانایی حفظ یکپارچگی قابلیت مهر و موم در حالی که هنوز گرم است و بار اعمال می‌شود. چسب حرارتی در ماشین‌های پیکرگونه عمودی/پر کردن/مهر و موم (VFFS)[3] مهم است، زیرا وزن محصول در زمانی که هنوز داغ است، نیرویی را به مهر و موم پایین وارد می‌کند [۱].

همچنین می‌تواند در کاربردهای ماشین‌های پیکرگونه افقی/پر کردن/مهر و موم (HFFS)[4] مهم باشد، به ویژه در مناطقی که فیلم‌ها تا می‌خورند. چین مردگی فیلم یا ماهیت جهش برگشتی[5] یک نیروی بازکننده اعمال می‌کند که باید با استحکام چسبندگی، خوب مقابله کند تا از نشتی مجرا جلوگیری شود. چسبندگی داغ[6] از دو ساز و کار رقابتی ناشی می‌شود. اولین مورد انتشار و نفوذ پلیمر است. همانطور که در مورد عملکرد مهر و موم

[1] Zieger-Natta
[2] Ionomers
[3] Vertical form-fill-seal (vffs) equipment
[4] Horizontal form-fill-seal (hffs) equipment
[5] Spring back
[6] اندازه گیری استحکام مهر و موم‌های حرارتی ایجاد شده بین سطوح گرمانرم

حرارتی، استحکام در سطح مشترک توسط نفوذ و درهم تنیدگی پلیمر ایجاد می‌شود. مورد دوم قدرت مذاب است که به گرانروی پلیمر مربوط می‌شود. انتشار با افزایش دما افزایش می‌یابد، در حالی که قدرت مذاب با افزایش دما کاهش می‌یابد. بنابراین، استحکام چسبندگی داغ در برابر دمای مهر و موم معمولاً از حداکثر می‌گذرد. شکل (۳)، چسبندگی داغ را برای آینومر در مقابل پلاستومرهای پلی الفین[1] مقایسه می‌کند. آینومر دارای دامنه چسبندگی داغ گسترده و پلاستومرهای پلی الفین دارای دامنه چسبندگی داغ باریک است. حداکثر قدرت چسبندگی داغ، اوج دمای چسبندگی داغ، و دامنه چسبندگی داغ همگی می‌توانند در استفاده نهایی تاثیرگذار باشند. دامنه چسب حرارتی در مقابل دما می‌تواند بسیار مهم باشد زیرا نشان می‌دهد صنایع بسته‌بندی چقدر می‌توانند انعطاف‌پذیری در عملیات بسته‌بندی خود داشته باشند. اغلب، دمای نوار مهر و موم به خوبی کنترل نمی شود یا سرعت خط در طول روز بالا و پایین می‌شود، که بر دمای نوار مهر و موم تأثیر می‌گذارد. ساختار مولکولی و شیمی پلیمر در شکل منحنی چسبندگی داغ نقش دارند. برخی پلاستومرهای پلی الفین دارای حداکثر استحکام چسبندگی داغ در نزدیکی نقاط ذوب خود هستند که در دماهای بالاتر به سرعت از بین می‌روند. تبلور ناشی از کرنش در این پلیمرهای همگن برای استحکام چسبندگی داغ بالا پیشنهاد شده است[۶]. استحکام ضعیف چسبندگی داغ در دماهای بالا به دلیل استحکام مذاب کمتر است. پلی اتیلن با چگالی کم خطی ناهمگن و پلی اتیلن با چگالی بسیار کم تمایل به منحنی چسبندگی داغ گسترده‌تری دارند. منحنی چسبندگی داغ برای کوپلیمرهای اسیدی و نهایتاً آینومرها گسترده‌تر هست که به دلیل شکل‌شناسی یونی منحصربه‌فردشان، قدرت مذاب فوق‌العاده بالایی دارند[۸]. اگر درجه حرارت بیش از حد بالا باشد، ممکن است درزگیر از قسمت مهر و موم خارج شود، در نتیجه عملکرد مهر و موم ضعیف واقع می‌شود، آب‌بند/ مهر و موم حرارتی به طور کلی می‌بایست یک فرآیند برش بسیار آسان باشد. گرانروی برشی صفر در دمای آب بند، نقطه شروع خوبی برای مقایسه پلیمرهای مختلف برای توانایی آنها در درزبندی است. شاخص جریان مذاب (MFI)[2]، تنها یک شاخص برای درزبندی است زیرا گرانروی پلیمر را به عنوان تابعی از دما و نرخ برش در نظر نمی‌گیرد.



شکل(۳). عملکرد چسباندن/ چسبندگی داغ [۹].

فشار نوار مهر و موم متغیر دیگری است که هنوز در مورد آن صحبت نکرده‌ایم. یک دستورالعمل کلی برای فشار نوار مهر و موم این است که از فشار کافی برای بسته‌بندی استفاده کنید. مقداری فشار برای اطمینان از تماس نزدیک سطوح فیلم برای نفوذ سطحی مورد نیاز است. با این حال، فشار بیش از حد ممکن است منجر به فشرده شدن درزگیر از ناحیه مهر و موم شود. در برخی از کاربردهای بسته‌بندی، مانند کیسه‌های بسته‌بندی سیب‌زمینی، یک مهر و موم آسان برای باز شدن مورد نظر است. سه روش کلی برای کنترل استحکام مهر و موم برای عملکرد آسان باز کردن یا لایه برداری وجود دارد[۸]:

الف. ساز و کار مهر و موم لایه بردار سطحی که در آن مهر و موم اغلب با یک پلیمر دیگر مخلوط می‌شود.

ب . یک ساز و کار مهر و موم لایه لایه شدن است، که بعضاً به عنوان لایه برداری \"پشت سر هم\" شناخته می‌شود که در آن تنظیم چسبندگی لایه درزگیر به لایه مجاور، مقاومت مهر و موم را کنترل می‌کند. نیروی بازکننده از لایه درزگیر پاره می‌شود و درزگیر در امتداد رابط لایه مجاور از کار می‌افتد.

ج . ساز و کار شکست منسجم که در آن موادی در پلیمر مخلوط شده است تا اطمینان حاصل شود که شکست در هنگام باز شدن در لایه مهر و موم است.

۴- برنامه‌های کاربردی برای سازه‌های فیلم بسته‌بندی انعطاف‌پذیر

بسته‌ها ممکن است با روش‌های متعددی در خط ساخته شوند یا ممکن است به صورت کیسه‌ها یا کیسه‌های از پیش ساخته شده در اختیار شرکت‌های بسته‌بندی قرار گیرند. بسته‌بندی ممکن است با بسته‌بندی یا کوچک کردن یک فیلم اصلی در اطراف یک کالا ایجاد شود. نمونه‌های تشکیل دهنده بسته‌بندی درون خطی شامل ماشین‌های پیکرگونه عمودی و افقی با شکل‌دهی حرارتی/پرکردن/ مهر و موم می‌باشد. در عملیات VFFS، فیلم از

[1]Polyolefin plastomer (POP)
[2]Melt flow index

یک رول از طریق غلتک‌ها هدایت می‌شود و سپس توسط یک بخش شکل‌دهنده به یک لوله تبدیل می‌شود. فیلم در یک جهت عمودی (پایین) روی یک لوله پر کننده حرکت می‌کند. یک مهر و موم عمودی ساخته می‌شود و فیلم را به یک لوله پیوسته تبدیل می‌کند. همانطور که فیلم از داخل دستگاه ادامه می‌یابد، یک مهر و موم افقی، عمود بر جهت دستگاه فیلم ساخته می‌شود که مهر و موم انتهایی کیسه را تشکیل می‌دهد و همچنین مهر و موم بالای کیسه قبلاً پر شده را تشکیل می‌دهد. محصول در کیسه نیمه شکل گرفته ریخته می‌شود، و با نوارهای مهر و موم پیش می‌رود و مهر و موم بعدی یعنی پایین و بالای آن ساخته می‌شود. این فرآیند ممکن است به صورت مرحله‌ای یا پیوسته باشد. یک نمونه از محصولاتی که معمولاً روی تجهیزات VFFS بسته‌بندی می‌شود، محصول تازه بریده شده است. در عملیات HFFS، فیلم در طول مرحله بسته‌بندی در جهت افقی حرکت می‌کند و نیاز به استحکام چسبندگی زیاد را کاهش می‌دهد. یکی از برنامه‌هایی که معمولاً از تجهیزات HFFS استفاده می‌کند بسته‌بندی پنیر تکه‌ای است. به طور کلی در عملیات شکل‌دهی حرارتی/پر کردن/مهر و موم، یک تار/رشته پایین تشکیل می‌شود، محصول اضافه می‌شود، و تار بالایی که معمولاً صاف است، به تار پایین مهر و موم می‌شود. بسته بندی شکل‌دهی حرارتی/پر کردن/مهر و موم اغلب برای گوشت‌های فرآوری شده استفاده می‌شود[۱۰]. کیسه‌های ایستاده و سایر انواع بسته‌بندی ممکن است در راستای تجهیزات پرکننده شکل گرفته یا ممکن است قبل از مرحله پر کردن به طور کامل یا جزئی از پیش ساخته شوند. بازار فیلم‌های بسته‌بندی انعطاف پذیر در بسیاری از کاربردها به رشد خود ادامه داده است. پلی اتیلن و کوپلیمرهای مختلف بیش از ۷۵ درصد از فیلم بسته‌بندی انعطاف پذیر را تشکیل می‌دهند. برخی از بخش‌های اصلی بازار که در آن فیلم کواکسترود شده استفاده می‌شود شامل موارد زیر است [۱۱]:

۱. بسته‌بندی تجهیزات پزشکی
۲. بسته‌بندی مواد غذایی
۳. کیسه‌های حمل و نقل سنگین
۴. بسته‌بندی کششی
۵. کیسه‌های زباله
۶. چاشنی‌ها[1]
۷. بسته‌بندی در شرایط سَتَروَن‌سازی مانند جعبه‌های آب میوه[2]
۸. ورقه‌های مخصوص لوله‌های خمیر دندان[3]
۹. فیلم‌های: OPET/print/LDPE/Al/ION
۱۰. فیلم‌های: adh/(LLDPE HDPE/OPET/print/adh/m-OPP-LLDPE).

[1]OPET/print/LDPE/Al/EAA/LDPE
[2]LDPE / LDPE / Al / EMAA / LDPE
[3]PE-film/(LDPE-EAA)/Al/(EAA/LDPE)/PE-film

۴-۱-کاربردهای بسته‌بندی انعطاف‌پذیر در تجهیزات پزشکی

طیف گسترده‌ای از ساختارها در حوزه بسته‌بندی پزشکی استفاده می‌شود. الزامات ساختار شامل موارد زیر می‌باشد:

- قابلیت سَتَروَن‌سازی
- سد میکروبی
- خواص پارگی خطی
- مقاومت در برابر سوراخ شدن

روش‌های سَتَروَن‌سازی مورد استفاده برای فیلم بسته‌بندی پزشکی شامل گاز یا تابش اکسید اتیلن است. این بسته معمولاً یک تار شکل‌دهنده و یک پارچه نبافته[4] است که به اکسید اتیلن اجازه ورود و خروج از بسته را می‌دهد. بسته‌بندی پزشکی معمولاً به خاصیت مانع اکسیژن نیاز ندارد، بنابراین اتیلن وینیل الکل معمولاً در ساختارهای بسته‌بندی پزشکی مورد نیاز نیست. فرآیندهای کواکستروژن در این بازار در حال رشد هستند. فیلم دمشی، فیلم ریخته‌گری و فرآیندهای پوشش اکستروژن در تولید ساختارهای بسته‌بندی انعطاف‌پذیر برای کاربردهای بسته‌بندی پزشکی استفاده می‌شود. اکنون فیلم‌هایی از سه لایه تا یازده لایه در دسترس هستند. این بازارها معمولاً کوچک هستند و به سال‌های زیادی نیاز دارند تا شرایط لازم را برآورده کنند. همانطورکه در بسته سرنگ در شکل (۴) نشان داده شده است، تارهای تشکیل دهنده از نظر تاریخی لایه‌های اتیلن وینیل استات و آینومر سه لایه بودند. فیلم‌های چند لایه گاهی با ترکیب یک فیلم سه لایه برای تشکیل شش لایه تولید می‌شدند. ساختارهای فیلم جدیدتر شاهد استفاده از لایه‌های بیشتری بوده‌اند و از پلی آمید برای جایگزینی آینومر در ساختارهای فیلم برای مسائل اقتصادی استفاده می‌شود. بسته‌بندی به جهت مراقبت‌های بهداشتی مصرف کننده و موارد صنعتی شامل بندهای زیر است:

- وسایل یکبار مصرف پزشکی
- ابزار جراحی – ساختارهایی شبیه وسایل یکبار مصرف
- بسته‌بندی ضدعفونی مجدد
- آبدزدک و سوزن‌های زیرپوستی

۱) تشکیل تار
۲) تار غیر تشکیل دهنده[5]

[4]TYVEKs
[5]Forming web, nonforming web

• بخیه
• دارویی
• مانع غلافی[1] و حوله.

پوشش کالاهای ذخیره (بسته‌هایی که نیاز به انقضاء و طول عمر بیشتری دارند) معمولاً توسط فرآیندهای پوشش اکستروژن و/یا لایه‌بندی تولید می‌شوند. کاغذ، پلیمر و ورق‌های فلزی (آلومینیومی) را برای تشکیل ساختارهای چند لایه ترکیب می‌کنند. برای کیسه‌های کوچک[2] دربرگیرنده مانع غلافی و حوله معمولاً از ساختار OPET/print/LDPE/Al/ION استفاده می‌کنند و از یونومرها به عنوان درزگیر برای مقاومت در برابر ترک خمشی شیمیایی استفاده می‌شود [۱].

شکل(۴): فیلم چند لایه مورد استفاده برای بسته‌بندی آبدزدک[۱].

۴-۲-کاربردهای بسته‌بندی انعطاف‌پذیر برای مواد غذایی: بسته‌بندی گوشت منقبض شده

بسته‌بندی گوشت تازه و برش داده شده به بسته‌ای نیاز دارد که شامل موارد زیر باشد:

• ایجاد انقباض بالا برای جمع شدن کامل در اطراف اشکال نامنظم
• دارای خواص نوری عالی
• در دمای پایین جمع شود تا از آسیب به محصول جلوگیری شود
• نرمی و خاصیت ارتجاعی خوبی ایجاد کند
• محافظت عالی از اکسیژن، رطوبت، بو و مانع چربی
• جلوگیری از سوختگی در هنگام یخ بستن
• تسهیل استفاده از برش‌های انفرادی توسط تهیه کنندگان غذا
• کمک به کاهش تلفات پاکسازی
• افزایش عمر مفید
• ارائه آسان
• ماشین‌پذیری خوب
• دارای نرخ انتقال اکسیژن کمتر از 1.0 cm^3 /100 in.2 day.atm .

یک فیلم انقباض پذیر مورد استفاده در این برنامه، فیلم مانع پلی وینیلیدین کلرید با لایه درزگیر است که برای ایجاد چقرمگی و مقاومت در برابر سوراخ شدن طراحی شده است. این فیلم‌ها باید به گونه‌ای جهت‌دهی شوند که با استفاده از فرآیند حباب دوگانه، خواص انقباض قابل قبولی را ارائه دهند. گوشت‌های فرآوری شده و پخته شده در فیلم‌های مانعی بسته‌بندی می‌شوند که برای جلوگیری از ورود اکسیژن به داخل بسته‌بندی طراحی شده‌اند. این کار عمر مفید محصول را افزایش می‌دهد و زمان نمایش محصول طولانی‌تر را به خرده فروش ارائه می‌دهد. همچنین این امکان را به مصرف کنندگان می‌دهد که پس از خرید محصول را تا مدتی در یخچال خود در حالت باز نشده نگهداری کنند [۱۰]. این بسته‌ها اغلب با طرح‌های چشم نواز برای افزایش فروش چاپ می‌شوند. بسته‌بندی گوشت فرآوری شده شامل یک فیلم تشکیل‌دهنده و یک لایه پشتی است. فیلم تشکیل‌دهنده به شکل محصول گوشتی شکل‌دهی حرارتی می‌شود. علاوه بر این، نفوذپذیری کم اکسیژن، مقاومت در برابر سوء استفاده و یکپارچگی مهر و موم برای حفظ جو مناسب در داخل بسته بسیار مهم است. خواص نوری، مانند براقیت بالا و شفافیت بالا، در فیلم پشتیانی که از پلی اتیلن ترفتالات چاپ معکوس برای ایجاد جذابیت در مصرف کننده استفاده می‌شود، مهم هستند. الزامات مانع برای گوشت‌های فرآوری شده از 0.2 تا 1.0 cm^3/100 in.2 day برای و 0.2-0.5 g/100 in.2 day برای نرخ انتقال بخار آب [۱].

۵- ساختارهای بسته‌بندی انعطافپذیر چند لایه

کواکستروژن چند لایه نشان‌دهنده یک روش فرآورش پلیمری پیشرفته برای ترکیب دو یا چند پلیمر در یک پیکربندی لایه‌ای با ساختار کنترل‌شده است. این یک روش فرآورش پیوسته است که قادر به تولید فیلم‌ها و ورق‌های اقتصادی است. کواکستروژن یک فرآیند صنعتی است که برای تولید ورق‌ها و فیلم‌های مناسب برای بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود. در این فرآیند، دو یا چند پلیمر به طور همزمان از اکسترودرهای جداگانه اکسترود می‌شوند. پلیمرهای ذوب شده از اکسترودرها به یک بلوک تغذیه تحویل داده می‌شوند تا شکل داده و ترکیب شوند. سپس، جریان مذاب به سمت قالب هدایت می‌شود تا پخش شود، نازک شود و به طور یکنواخت توزیع شود تا فیلم کواکسترود شده تشکیل شود. مشکل اصلی در کواکستروژن، فرآورش همزمان پلیمرهایی

[1] Condom
[2] Sachets

با خواص رئولوژیکی مختلف است که ممکن است باعث مشکلاتی مانند ناپایداری سطحی و بازآرایی لایه‌ها شود که به طور قابل‌توجهی بر کیفیت محصول تأثیر می‌گذارد [۱۲]. ساختارهای فیلم چند لایه که سطوح مانع قوی‌تری را برای اکسیژن، بخار آب، عطرها/طعم‌ها و/یا نور UV برای کاربردهای غذایی فراهم می‌کنند، معمولاً حاوی ترکیبی از لایه‌های مانع، حجیم و درزگیر هستند. سازه‌هایی که از ورق‌های آلومینیومی به عنوان مانع یا بستر طرح‌دار استفاده می‌کنند معمولاً از این گروه خارج می‌شوند. ضخامت کل ساختار معمولاً کمتر از ۰/۲۵ میلی متر است که شامل لایه‌های چاپ شده، حجیم، مانع، رابط و لایه‌های درزگیر می‌شود. تک لایه‌ای که بتواند به عنوان یک فیلم مانع کار کند بسیار نادر است. ارزش واقعی زمانی ایجاد می‌شود که فیلم مانع جزء اجزایی باشد که عملکرد موثر فیلم بسته‌بندی نهایی را ممکن می‌سازد. فهرستی از پلیمرهای مورد استفاده برای تولید لایه‌های حائل معمولی، حجیم، لایه اتصال یا درزگیر در بندهای زیر ارائه شده است [۱۲]. همچنین انواع مختلفی از پلاستیک‌های لایه حجیم، مانند پلی اتیلن، که برای ساخت سازه‌های چند لایه استفاده می‌شوند، فهرست شده‌اند.

لایه‌های مانع:

۱. کوپلیمر اتیلن وینیل الکل (EVOH): مانع اکسیژن، مانع طعم/ عطر.

۲. پلی آمید (PA6): مانع اکسیژن، مانع عطر و مانع برخی روغن‌ها.

۳. پلی آمیدهای نیمه بلوری (پلی آمید MXD6): سد گاز (O_2، CO_2)، مانع عطر.

۴. پلی استرها (PET): سد رطوبت، مقداری مانع عطر/ طعم و برخی از موانع شیمیایی.

۵. پلی وینیلیدین کلراید (PVDC): مانع رطوبت، اکسیژن، طعم، عطر و برخی از موانع شیمیایی.

۶. پلی اتیلن نفتالات (PEN).

۷. پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE) : مانع رطوبتی.

۸. پلی پروپیلن (PP): مانع رطوبتی.

۹. آینومر(Ionomer): سد روغنی و مانع شیمیایی و برای برخی از عوامل.

۱۰. پلیمر بلور مایع (LCP).

لایه‌های حجیم:

۱. پلی اتیلن (PE): چگالی بالا (HD)، چگالی کم خطی (LLD)، چگالی کم (LD)، چگالی بسیار کم (VLD).

۲. پلی پروپیلن (PP): HoPP (هموپلیمر PP)، CoPP (کوپلیمر اتیل ان پروپیلن)، Ter PP (ترپلیمر اتیلن پروپیلن بوتن).

۳. آکریلات‌ها: اتیل متیل آکریلات (EMA)، اتیلن بوتیل آکریلات (EBA)، اتیلن اتیل آکریلات (EEA)، پلی متیل متاکریلات (PMMA)، اتیلن متیل متاکریلات (EMMA).

۴. اتیلن وینیل استات(EVA): محتوای VA کم، متوسط و زیاد.

۵. پلی استایرن (PS)، PS با ضربه بالا (HIPS)،PS عمومی (GPPS).

لایه درزگیر (همچنین چسب یا رابط)

۱. آینومرهای کوپلیمرهای اسیدی.
۲. کوپلیمر اسیدی EAA (اتیلن اکریلیک اسید) یا EMAA (اتیلن متاکریلیک اسید).
۳. VLDPE (پلی اتیلن با چگالی بسیار کم).
۴. EVA یا EMA (اتیل متاکریلات) با LLDPE ترکیب می‌شود.
۵. CoPP/TerPP، EVA، EMA، LLDPE، mLLDPE (پلی اتیلن خطی متراکم خطی متالوسن[1]).
۶. LDPE یا PP.

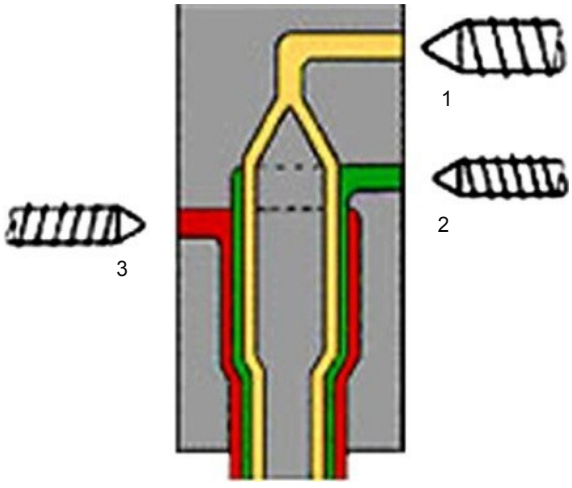
یک فیلم چند لایه عموماً با کواکستروژن، پوشش‌دهی، چند لایه کردن[2] و یا فلزی‌کردن[3] یک بستر ساخته می‌شود. ساختارهای سد/مانع مواد غذایی اغلب شامل اجزایی مانند پوشش پلی وینیلیدین کلرید است که هم به عنوان یک مانع و هم به عنوان لایه درزگیر/رابط عمل می‌کند، همچنین فیلم کوپلیمر اتیل وینیل الکل (لایه رابط)، پلی آمید، فیلم‌های فلزی شده یا مواد افزودنی مانند آلومینیوم و اکسیدهای سیلیکون به عنوان سد/مانع عمل می‌کنند. فناوری اصلی برای تولید فیلم‌های بسته‌بندی انعطاف‌پذیر چند لایه، کواکستروژن شکل(۵) است که در فرآیندهای زیر استفاده می‌شود:

۱. فیلم دمشی
۲. ریخته‌گری فیلم (< ۱۰ میل یا <۰/۲۵ میلی متر)
۳. پوشش‌دهی اکستروژن و چند لایه کردن

کواکسترود کردن پلیمرها موضوع ساده‌ای نیست. در صنایع غذایی، آنها مشکلات سازگاری خود را دارند و در صنعت فرآوری پلیمر، پیچیدگی به سطح بالاتری کشیده می‌شود [۱۲]. با این حال، مزایای ترکیب مواد با کواکستروژن، بسیار بیشتر از چالش‌های مرتبط با چنین تلاشی است. کواکستروژن راه حل‌هایی را برای برآورده کردن عملکرد محصول ارائه می‌دهد. هنگام طراحی یک فیلم بسته‌بندی مواد غذایی، باید به انواع ویژگی‌های فیلم توجه شود. برخی از این ویژگی‌ها به خصوصیات سطح مربوط می‌شود، در حالی که برخی دیگر به ضخامت/ بدنه

[1] Metallocene
[2] Lamination
[3] Metallization

فیلم مربوط می‌شود. ویژگی‌های سطح معمولاً شامل ضریب اصطکاک، براقیت، مه (القای سطح) و قابلیت آب بند، و همچنین کشش سطحی و جذب شیمیایی است که برای موادی که باید چاپ شوند مهم هستند. ویژگی‌های مهم لایه حجیم شامل خواص کششی، ازدیاد طول، مه ناشی از داخل، شفافیت، رنگ، مقاومت ضربه و انواع پارامترهای دیگر است [۱۲]. شکل (۵) یک نمودار جریان از یک بلوک کواکستروژن است که در آن از سه اکسترودر برای تولید یک ساختار نامتقارن سه لایه استفاده شده است. این طرح خاص دارای یک لایه مانع در قسمت خارجی با یک لایه رابط برای ایجاد چسبندگی به رزین لایه حجیم است. در فرآیند کواکستروژن، وابستگی گرانروی پلیمر به دمای اکستروژن و رفتار نازک شدن برشی پلیمرهای غیر نیوتنی باید به دقت در نظر گرفته شود. در غیر این صورت مشکلات جدی در طول فرآورش فیلم رخ می‌دهد که به طور قابل توجهی بر کیفیت محصول تأثیر می‌گذارد. باید در نظر داشت که پلیمری که به عنوان لایه سطحی نازک در یک فیلم چند لایه کواکسترود شده استفاده می‌شود، نسبت به پلیمر به کار رفته در لایه هسته، نرخ برش بالاتری را تحمل می‌کند.



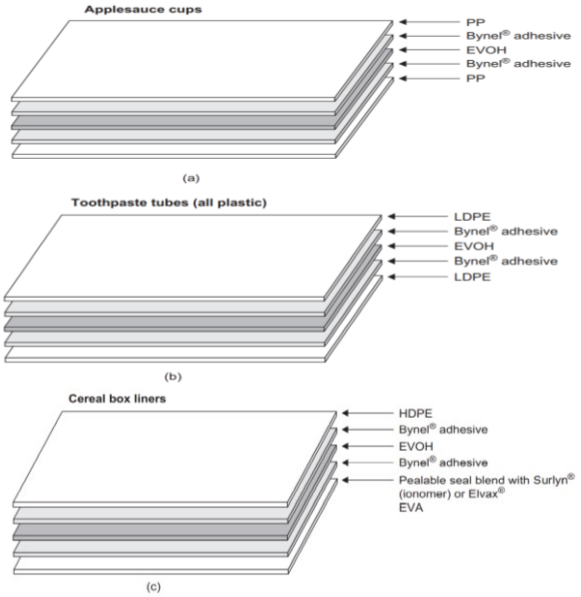
کواکستروژن سه لایه با مانع
لایه بیرونی لایه بدنه

۱. اکسترودر اصلی.
۲. اکسترودر ماهواره‌ای[1] (چسب).
۳. اکسترودر ماهواره‌ای (لایه مانع).

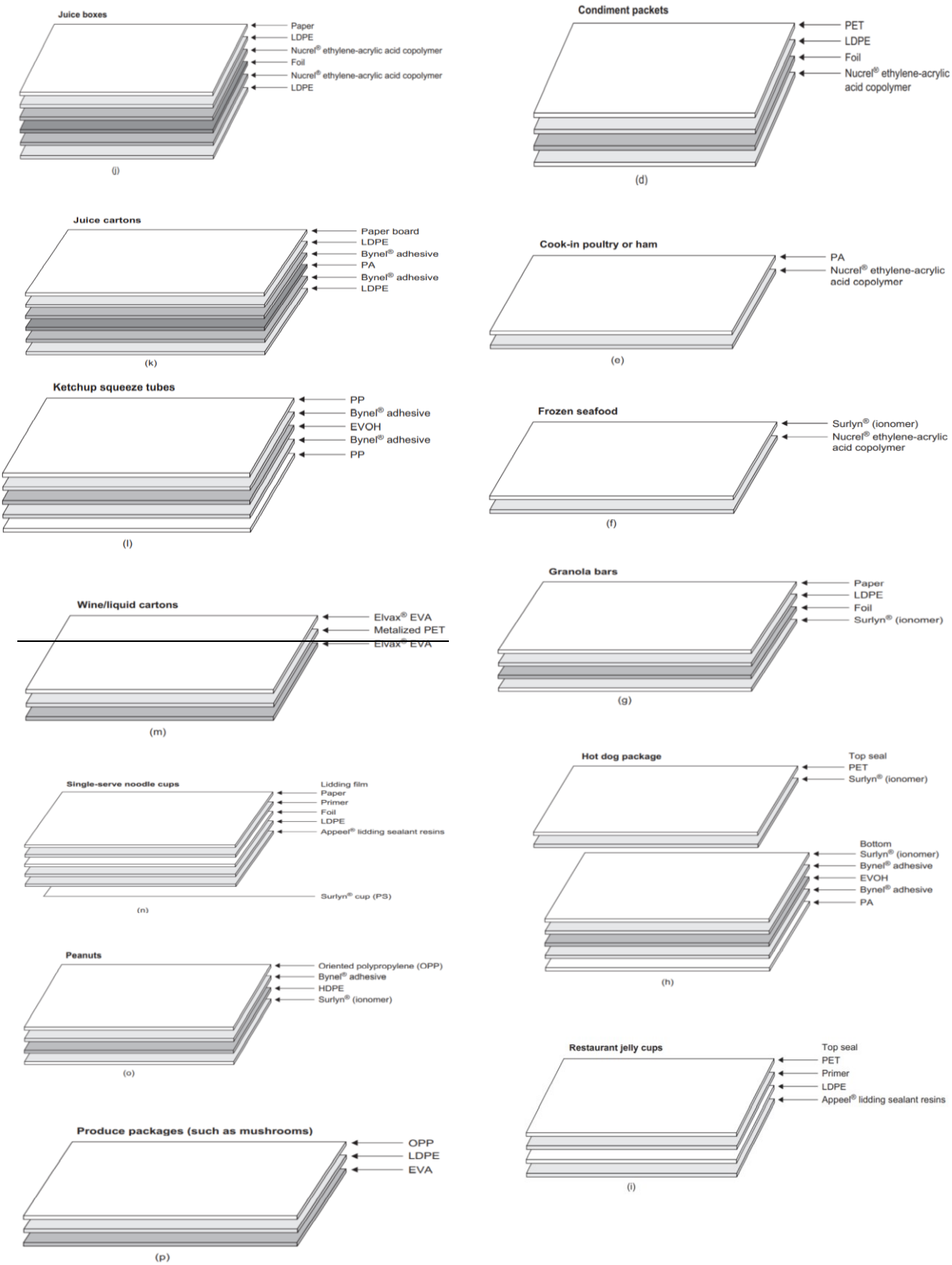
شکل(۵): نمودار جریان یک بلوک کواکستروژن با استفاده از سه اکسترودر برای تولید یک ساختار نامتقارن سه لایه [۱۲].

ناپایداری لایه کواکستروژن "اختلال مذاب" نامیده می‌شود و به جریان پلیمرهای لایه‌ای با خواص رئولوژیکی مختلف در قالب و همچنین سایر شرایط فرآورش مربوط می‌شود. ناپایداری سطحی یک شرایط فرآیندی حالت ناپایدار است که در آن موقعیت رابط بین دو لایه همسایه تغییر می‌کند. اعوجاج رابط باعث یکنواختی در ضخامت لایه‌ها می‌شود. ناپایداری سطحی در یک فیلم چند لایه به طور قابل توجهی بر وضوح فیلم تأثیر می‌گذارد. با افزایش سطح ناپایداری، رابط می‌تواند شروع به موج‌دار شدن کند. با افزایش ناپایداری در سطح مشترک، امواج منتشر می‌شوند و سطح تغییر شکل می‌دهد. ناپایداری لایه، بسته به شدت آن به عنوان پولک ماهی، سر پیکان، دندانه‌دار (بصورت هفت و هشت‌های به هم پیوسته) شناخته می‌شود. به طور کلی، ناپایداری سطحی در یک سیستم کواکستروژن، تفاوت‌هایی را در کشسانی بین رزین‌ها بر اساس مدول انرژی ذخیره شده (G^0) ایجاد می‌کند. بنابراین برای جای گرفتن در ناپایداری سطحی، انتخاب پلیمرها برای لایه‌های مختلف و همچنین انتخاب شرایط فرآوری باید به گونه‌ای انجام شود که نسبت کشسانی به یک نزدیک شود. ناپایداری سطحی توسط عوامل: ضخامت لایه، نسبت گرانروی، نسبت کشسانی، کشش سطحی تعیین می‌شود. بی ثباتی سطحی را می‌توان با موارد زیر [۱۲] از بین برد:

۱. کاهش تنش برشی با کاهش میزان اکستروژن
۲. افزایش دمای مذاب یا قالب
۳. افزایش شکاف قالب (کاهش تنش)
۴. کاهش گرانروی پلیمر در لایه سطحی با جایگزینی رزین
۵. افزایش ضخامت لایه سطحی
۶. انتخاب شرایط بهینه فرآورش
۷. تغییر در انتخاب مواد پلیمری



[1] Satellite extruder



شکل(۶): نمونه‌هایی از ساختارهای فیلم بسته‌بندی چند لایه. طراحی شده توسط DuPont به عنوان نمونه انتخاب شده‌اند تا به خواننده در یافتن اطلاعات اضافی کمک کنند [۱۴].

بنابراین برای کاهش ناپایداری‌های سطحی در یک فرآیند کواکستروژن، بهینه‌سازی شرایط فرآورش، طراحی مناسب قالب، کنترل فرآیند و انتخاب پلیمر به جهت تطبیق با خواص رئولوژیکی ضروری به نظر می‌رسد. یکی دیگر از مشکلات مهم در فرآیند کواکستروژن، بازآرایی لایه‌ها است. در بلوک تغذیه[1] پروفیل برشی وجود دارد. به همین ترتیب، توزیع گرانروی در سراسر مجرا وجود دارد. گرانروی هر لایه از مرکز به سمت دیواره مجرا کاهش می‌یابد زیرا نرخ برش در نزدیکی دیوار زیاد است و گرانروی جریان‌ها در مرکز مجرا در نتیجه کاهش نرخ برش به صفر است. بنابراین، هنگامی که پلیمرها را در یک جریان کواکستروژن لایه‌ای قرار می‌دهیم، باید اطمینان حاصل کنیم که گرانروی لایه‌های جداگانه با نزدیک شدن به دیواره مجرا جریان کاهش می‌یابد. اگر این کار انجام نشود، لایه‌ها سعی می‌کنند خود را مجدداً مرتب کنند تا کمترین لایه گرانروی را در قسمت بیرونی جریان در مقابل دیواری که نرخ برش بالاتر است، قرار دهند تا تنش برشی در سیستم کاهش یابد. این مشکلات جریان، در جایی که گرانروی‌ها به درستی انباشته باشند، منجر به بازآرایی لایه‌ها می‌شوند. بازآرایی لایه‌ها عمدتاً زمانی ایجاد می‌شود که نسبت گرانروی در لایه‌های همسایه بالا باشد. این به شدت به نسبت گرانروی بستگی دارد و به ضخامت سیال لزج کمتر بستگی دارد. اگر گرانروی و ضخامت سیال لزج کمتر افزایش یابد، نرخ بازآرایی لایه‌ها افزایش می‌یابد [۱۲].

۶- نتیجه گیری

هدف اصلی بسته‌بندی مواد غذایی باید حفظ ایمنی، سالم بودن و کیفیت مواد غذایی باشد. تأثیر ضایعات بسته‌بندی بر محیط را می‌توان با انتخاب محتاطانه مواد، پیروی از دستورالعمل‌های بنگاه حفاظت محیط زیست و بررسی انتظارات بسته‌بندی از نظر تأثیرات محیطی، به حداقل رساند. تلاش‌های آگاهانه توسط صنعت، دولت و مصرف کنندگان باعث پیشرفت مستمر می‌شود و درک ویژگی‌های عملکردی بسته‌بندی از بسیاری از راه حل‌های خوب، اما توصیه نشده که به اندازه کافی عامل‌های بسته‌بندی پیش مصرف کننده و پس از مصرف را در اختیار ندارند، جلوگیری خواهد کرد. به زبان ساده، بسته‌بندی پس از اتمام فرآیند، مزایای فرآوری مواد غذایی را حفظ می‌کند و به غذاها امکان می‌دهد تا در مسافت‌های طولانی از مبدا خود با خیال راحت سفر کنند و در زمان مصرف همچنان سالم باشند. با این حال، فناوری بسته‌بندی باید حفاظت از کالا را با سایر موارد، از جمله هزینه‌های انرژی و مواد، افزایش اجتماعی و محیط زیست متعادل کند. زباله‌های جامد شهری متشکل از وسایلی است که معمولاً دور ریخته می‌شوند، از جمله بسته‌ها، ضایعات مواد غذایی، تزئینات حیاط و اقلام با دوام مانند یخچال و فریزر و رایانه. تلاش‌های قانونی و نظارتی برای کنترل بسته‌بندی بر اساس تصور اشتباهی است که بسته‌بندی بار اصلی زباله‌های جامد شهری است. بسته‌بندی مواد غذایی تقریباً دو سوم کل زباله‌های بسته‌بندی را از نظر حجم تشکیل می‌دهد. علاوه بر این، بسته‌بندی مواد غذایی تقریباً ۵۰ درصد (از نظر وزنی) از کل فروش بسته‌بندی است. اگرچه دانش خاص موجود از زمان انتشار اولین خلاصه وضعیت علمی در مورد رابطه بسته‌بندی و زباله‌های جامد شهری تغییر کرده است، اما مسئله هنوز درک نشده است.

[1] Feedblock

۷- مراجع

[1] S. Ebnesajjad, plastic films in food packaging. Chadds Ford, PA, USA: Plastic Design Library (PDL), 2012.

[2] S. lajevardi and M A. Dadgan, "Solutions to improve the quality of packaging for the development of exports in the global market," Journal of Packaging Science and Technology, number 48, pp. 5-64, winter 2021.

[3] E. W. Veazey, "Potential for linear low density polyethylenes in coextrusion film applications," In: Tappi Coex S/C, TAPPI Press, Atlanta, GA, p. 87, 1983.

[4] N. Sedaghat and F. Sanaei, "The Use of Modern Packaging Techniques to Increase the Shelf Life of Dates," Journal of Packaging Science and Technology, vol. 12, no. 4, 2022.

[5] F. C. Stehling and P. Meka, "Heat sealing of semicrystalline polymer films & Effect of melting distribution of heat sealing behavior of polyolefins. J. Appl. Poly. Sci. 51, 105-109, 1994.

[6] N. Z. Qureshi, M. Rogunova, E. V. Stepanov, G. Capaccio, A. Hiltner, and E. Baer, "Selfadhesion of polyethylene in the melt & Comparison of heterogeneous and homogeneous copolymers," Macromolecules, vol. 34 (9), pp. 3007-3017, 2001.

[7] B. A. Morris, "Predicting the performance of ionomer films in heat-seal process," In: Tappi Place Conference, TAPPI Press, Atlanta, GA, 2002.

[8] B. A. Morris and J. C. Chen, "The stiffness of ionomers: how it is achieved and its importance to flexible packaging applications," In: SPE 2003 ANTEC, Technical Papers, Society of Plastics Engineers, May 2003.

[9] J. De Garavilla, "Ionomer acid copolymer, and metallocine polyethylene resins: a comparative assessment of sealant performance," Tappi J. 78 (6), pp. 191-203, 1995.

[10] M. Seifzadeh, "Introducing Packaging by Edible Coatings to Increase the Shelf Life of Fresh Fish Fillets," Journal of Packaging Science and Technology, vol. 13, no. 2, Summer, 2022.

[11] Keymark Associates North American Flexible Packaging Strategies, Markets, materials and machines, a comprehensive multiple client study, Keymark Associates, Marrietta, GA, August 20, 2002.

[12] J. R. Wanger, "Hand Book of Multilayer Flexible Packaging Technology and Applications for Food, Personal Care and Over-the Counter Pharmaceutical Industries," Elsevier, Burlington, VA, 2010.

[13] G. Filippone, "Using organoclay to promote morphology refinement and co-continuity in high-density polyethylene/polyamide 6 blends— effect of filler content and polymer matrix composition," Polymer 51, pp. 3956-3965, 2010.

[14] L. W. McKeen., "Permeability Properties of Plastics and Elastomers," Elsevier, Oxford, 2012.