INTERNATIONAL CONFERENCE ON
SCIENCE AND ENGINEERING
1st December 2015 DUBAI - UAE
کنفرانس بین المللی علوم و مهندسی
۱۰ آذرماه ۱۳۹۴ دبی - امارات

پروفایل دمایی بهینه در فرآیند تولید فیلم پلی اتیلن خطی سبک

اثمر قدبلند

دانشجوی کارشناسی ارشد و عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان ، گروه مهندسی شیمی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران- صندوق پستی: ۵۴۵۱۱۱۶۷۱۴

Email: asmar.ghadboland@samanarghavan.com

محمد رضا طاهری طرقی

دپارتمان پژوهش و فناوری ، شرکت سمن ارغوان تبریز - تولید کننده فیلم های چند لایه پلی اتیلنی ،صندوق پستی :۵۳۷۵۱۸۱۱۱۱

Mrezataheri@samanarghavan.com

رامین زادغفاری

گروه مهندسی شیمی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران صندوق پستی: ۵۴۵۱۱۱۶۷۱۴

rmmn.zadghaffari@gmail.com

Archive of SID

چکیده :

پلی اتیلن های خطی سبک LLDPE با توجه به خواص افزایش یافته خود نسبت به LDPE پیشرفت کرده و جای خود را در عرصه صنعت گرفته اند و وارد بازارهای جهانی شده اند. LLDPE توسط فرآیند اکستروژن به صورت هایی از قبیل لوله ، فیلم در می آیند . مهم ترین بخش یک اکسترودر پیچ آن است که به طور مستقیم روی دامنه بهرو وری تولید تاثیرگذار است . فرآیند اکستروژن با تغییرات عواملی از قبیل دما ، رطوبت ، فشار ، فرسودگی ماردون و سیلندر می تواند دستخوش تغییر شود. از این رو تنظیم پروفایل دمایی عاملی بسیار مهم در فرآیند تولید فیلم های پلی اتیلنی خطی سبک، توسط دستگاه اکسترودر می باشد . در تحقیق حاضر هدف یافتن پروفایل دمایی مناسب برای فرآیند تولید فیلم پلی اتیلنی سه لایه با پلی اتیلن پایه LLDPE می باشد که به این منظور روش های دست یابی به پروفایل دمایی بهینه ارائه شده اند. با بررسی های انجام شده، روش های کاهش پروفایل دمایی از ناحیه حرارتی تا دای، پروفایل دمایی ثابت و پروفایل دمایی خمیده در مرحله تئوری حذف شده و آزمایشات با روش افزایشی دمایی مورد بررسی قرار گرفته شدند. نتایج بیانگر آنست که بهترین الگوی دمایی با نقطه شروع معادل با ۱۴۰ ^{o}C ، تغییرات با گام های دمایی برابر با عدد ۵ درجه سانتی گراد و حداکثر دمایی معادل با ۱۸۰^{o}C منجر به بهترین راندمان گردیده و در این حالت بهترین کیفیت از محصول تولیدی با کمترین زمان و هزینه قابل حصول خواهد بود.

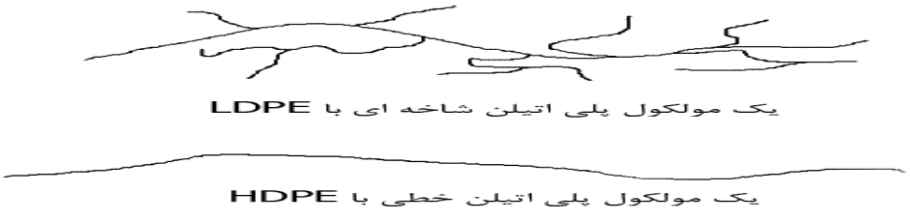
کلمات کلیدی : پلی اتیلن خطی سبک - فرآیند اکستروژن - فیلم - تغییرات دمایی - پروفایل دمایی بهینه

مقدمه

پلی اتیلن خطی سبک (LLDPE) با استحکام کششی افزایش یافته و دانسیته یکسان به LDPE انقلابی در صنعت پلاستیک ایجاد کرده است. در واقع این نوع پلی اتیلن از نظر خواص با بقیه پلی اتیلن ها قابل رقابت است و هزینه تولید آن حدود ۲/۳ هزینه تولید پلی اتیلن سبک LDPE است. وقتی هیچ شاخه ای در مولکول وجود نداشته باشد آن را پلی اتیلن خطی می نامند. پلی اتیلن خطی سخت تر از پلی اتیلن شاخه ای است اما پلی اتیلن شاخه ای آسان تر و ارزان تر ساخته می شود. ریخت و شکل این پلیمربسیار کریستالی شکل است. پلی اتیلن خطی محصول نرمالی با وزن مولکولی ۲۰۰۰۰۰ – ۵۰۰۰۰۰ است که آن را تحت فشار و دماهای نسبتا پایین پلیمریزه

www.SID.ir

می کنند. چگالی این پلی اتیلن ۰,۹۴۱ – ۰,۹۶۵ است. به وسیله کوپلیمریزاسیون مونومر اتیلن با یک مونومر آلکیل شاخه دار، کوپلیمری با شاخه های هیدروکربن کوتاه به دست می آید[۱]. شکل زیر پلی اتیلن خطی و پلی اتیلن شاخه ای را نشان می دهد .



شکل ۱ - پلی اتیلن خطی و شاخه ای

مطالعات انجام شده نشان می دهد که خواص فیزیکی ، مکانیکی و رئولوژی LLDPE ناشی از ماهیت شیمیایی و ترمودینامیکی آن است. پارامترهایی چون پایداری گرمایی و نوری ، مقاومت در برابر محیط های اصلی حلال و آب متاثر از ماهیت شیمیایی و ساختاری LLDPE است و خواصی چون بلورینگی، نقطه ذوب و دمای انتقال شیشه ای از ویژگی های ترمودینامیکی LLDPE تاثیر می پذیرد.ماهیت شیمیایی ، ساختاری و ترمودینامیکی LLDPE به طور غیر مستقیم روی خواص فیزیکی و مکانیکی پلیمر نیز تاثیر می گذارد. عدم وجود شاخه های زنجیری بلند در LLDPE باعث می شود که نسبت به LDPE بلورهای بزرگ تر و بدون نقص در ساختار مولکولی تشکیل شود ، در نتیجه خصوصیات متفاوتی ، از جمله چگالی ، بلورینگی و نقطه ذوب نسبت به LDPE پیدا کند.

خصوصیات فیزیکی – مکانیکی یک پلیمر بستگی به خطی بودن ، درجه تبلور و توزیع جرم مولکولی آن دارد. از آنجا که LLDPE نسبت به LDPE خطی تر بوده و ساختار مولکولی آن دارای نواحی بلوری بیشتری است و همچنین توزیع جرم مولکولی باریکتری نسبت به LDPE دارد: خصوصیات بهتری را نسبت به پلیمر اخیر نشان می دهد. از این پلی اتیلن اغلب برای ساخت اشیاء ای شبیه فیلم ها ی پلاستیکی استفاده می کنند. خصوصیات برتر LLDPE در حالت فیلم نسبت به LDPE باعث موفقیت روز افزون این پلیمر در بازارهای جهانی شده است.

فرآیند اکستروژن در تولید فیلم :

اکستروژن یکی از عمومی ترین فرآیند های تولید محصولات پلیمری است. این فرآیند در تولید محصولاتی که به صورت یکنواخت و مداوم تولید می شوند(مانند لوله ها و پروفایل ها – بسته بندی های صنعتی – بسته بندی های محصولات مصرفی – فیلم ها ..) کاربرد دارد.

لغت مداوم از ویژگی های بسیار مهم و جدانشدنی این فرآیند محسوب می شود. در این تحقیق از فرآیند اکستروژن برای ساخت قطعات فیلم استفاده می شود که پس از تولید در ابعاد مورد نظر مصرف کننده ، بریده می شوند[۲].

برای بهینه سازی یک فرآیند ، شناخت سطحی از فرآیند اکستروژن مانند چگونگی اپراتوریو عملکرد آن کافی نیست، همچنین عوامل و پارامترهای مختلفی باید سر جای خود قرار داشته باشند تا بتوان ادعا کرد که فرآیند اکستروژن از بازدهی بهینه ای برخوردار است. برای داشتن فرآیندی با کیفیت مطلوب و پایدار، مدیریت فرآیند و داشتن اپراتورهای مجرب و باهوش بسیار حائز اهمیت می باشند. علاوه بر اینها دستگاه اکسترودر نیز نیاز به برنامه زمان بندی تعمیر و نگهداری دقیقی دارد تا بتواند پیوسته در شرایط مطلوب خود قرار داشته باشد. انجام یک فرآیند اکستروژن مفید به برنامه زمانی منظم تولید و اپراتورهایی که به تمام جزئیات توجه نشان می دهند و به دنبال راه های مبتکرانه برای بهبود شرایط فرآیندی هستند نیازمند است . لذا لازم است تا رفتار مواد پلیمری در نواحی مختلف اکسترودر بررسی و تحلیل گردد.همچنین برای رفع عیب موثر در خط تولید فیلم، تجهیزات اکستروژن و چگونگی رفتار آن ها با مواد پلیمری و در نهایت خواص ایجاد شده در فیلم ها باید بررسی گردد. شرایط محیطی کارخانه نیز نقش مهمی در انجام بهینه فرآیند اکستروژن ایفاء می کند.

Archive of SID
www.SID.ir

تغییرات دما و رطوبت می تواند در انجام این فرآیند تاثیرگذار باشد[۳] . در صورت برقراری جریان هوا در اطراف اکسترودر روند انتقال حرارت می تواند دستخوش تغییر شود و موجب تغییراتی در پارامترهای فرآیندی گردد.

نقاط کلیدی یک اکسترودر تک پیچه در تولید فیلم های پلی اتیلنی شامل پنج قسمت اصلی زیر می باشد:

- سیستم driver
- سیستم تغذیه
- سیستم اسکرو ، بارل ، هیترها و خنک کننده ها
- ناحیه هد و دای
- سیستم های کنترلی

۱)سیستم درایور:

این قسمت شامل گیربکس – بلبرینگ ها و مجموعه یاتاقان می باشد.

۲)سیستم تغذیه:

شامل دانه هرمی شکل معکوس – گلویی و بخش تغذیه ماردون(scraw) می باشد.

۳)سیستم اسکرو ، بارل ، هیترها ، خنک کننده ها:

اسکرو وظیفه ی تغذیه ، انتقال و اختلاط مواد پلیمری را به عهده دارد به صورتی که اسکرو مواد را به جلو منتقل می کند ، باعث گرمایش پلیمر و در نهایت ذوب آن می شود و همچنین باعث هموژن شدن مذاب می شود و نهایتا باعث انتقال مذاب به دای می گردد. بارل و هیترها باعث کمک به گرمایش و مذاب پلیمر با کنترل دما در نواحی مختلف اکسترودر می شوند ، و از تخریب و افزایش بیش از حد دمای پلیمر جلوگیری می کنند . آب یا هوا در هر ناحیه برای کنترل دمای بارل استفاده می شود[۵].

سرد کردن بارل توسط آب نسبت به هوا دارای محیط سردکنندگی بهتری است و انتقال حرارت بهتری نیز انجام می دهد.

۴) ناحیه هد و دای:

دای شکل نهایی محصول را تعیین می کند.در حقیقت قالب را در فرآیند اکستروژن دارد.

هد شامل قطعاتی مانند صفحه سرعت شکن (breaker plate) ، آداپتور (adaptor) برای اتصال مجموعه دای با اکسترودر است. بین آداپتور و دای یک صفحه ای به نام صفحه سرعت شکن وجود دارد که با سوراخ های زیاد و تورهایی با مش خیلی بالا ، دو وظیفه عمده را انجام می دهند:

۱)کاهش سرعت حرکت مواد

۲)غربالگیری و جذب آلودگی ها و ذرات سوخته

۵) سیستم کنترلی:

در اکسترودرها به علت اینکه سیال مورد استفاده در آن پلیمر بوده و نوع سیال غیرنیوتنی می باشد، نیاز به بررسی رفتار سیال غیرنیوتنی از نظر مکانیک سیالات و انتقال حرارت می باشد.به عنوان مثال اکسترودر دارای نواحی کنترل دما می باشد که هر ناحیه دمای اکسترودر حداقل دارای یک هیتر است و یا احتمالا چند هیتر که توسط ترموکوپل کنترل می شوند. ترموکوپل ها باید به خوبی عمل کنند . نصب ترموکوپل زمانی درست است که محل قرارگیری آن حداقل حدود ۳۰mm در داخل بارل قرار داشته باشد و از هیتر ها دور باشد.
همچنین تروکوپل شیرهای تنظیم فشار هستند که برای کنترل حرارت ، فشار و سرعت چرخش پیچ ها واقع می گردند.

Archive of SID
www.SID.ir

مارپیچ اکسترودر :

مارپیچ یک اکسترودر شامل سه قسمت : تغذیه - قسمت انتقالی و قسمت فشرده شدن می باشد، که هر بخش نقش جداگانه ای دارد[۶].

۱) ناحیه تغذیه :

کاراین ناحیه ، دادن گرمای اولیه به دانه های پلاستیک و انتقال آن به نواحی بعدی است. طراحی این ناحیه حائز اهمیت است . زیرا عمق ثابت ماردون طوری انتخاب شود که مواد لازم و کافی را به ناحیه اندازه گیری (metering zone) تغذیه کند ، به طوری که نه دچار خستگی شود و نه در اثر زیاد بودن مواد ، لبریز و پس زده شود[۷].

طراحی مناسب (optimum) و متعادل ، به طبیعت و شکل مواد تغذیه شونده (feed stock) ، شکل هندسی (geometry) ماردون و خواص اصطکاکی پلاستیک نسبت به ماردون و محفظه بستگی دارد ..

۲) ناحیه انتقالی (compression zone) :

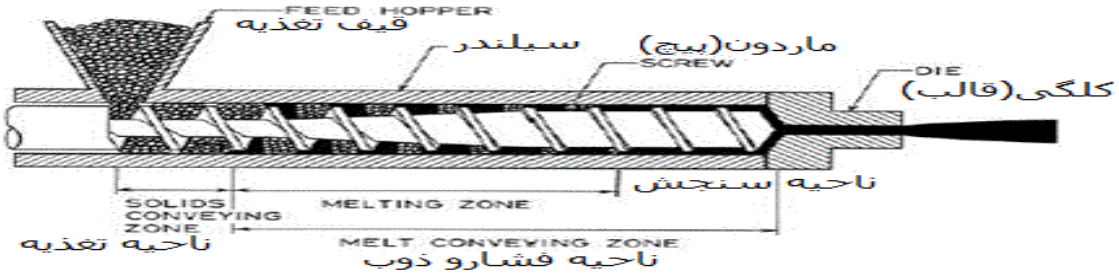
در این ناحیه عمق ماردونه ، به تدریج کاهش می یابد که موجب متراکم شدن و فشردگی پلاستیک می شود که این فشردگی دو نقش عمده را ایفا می کند :

- ✓ یکی آنکه هوای محبوس در داخل مواد را به ناحیه تغذیه می راند
- ✓ انتقال حرارت را با کاهش دادن ضخامت مواد بهبود می بخشد

۳) ناحیه فشرده شدن(پیمایش) :

در این ناحیه ، عمق ماردونه یکسان و ثابت ، اما بسیار کم تر از عمق ناحیه تغذیه است.

در این ناحیه ، مذاب به صورت همگون و یکنواخت در می آید که با آهنگ ثابتی ، در درجه حرارت و فشار یکسان و ثابت ، به حدیده تغذیه می شود . این ناحیه به سهولت و سادگی تحلیل و ارزیابی می شود ،زیرا مشتمل بر جریان مذاب گرانروان در داخل مجرایی با عمق و ابعاد ثابت است. شکل زیر اجزای ماردان اکسترودر را نشان می دهد .



شکل ۱ - ماردان اکسترودر

روش های تغذیه :

در فرآیند اکستروژن دو روش تغذیه وجود دارد.. تغذیه سیلابی یا پر (flood feeding) و تغذیه گرسنه (starve feeding) . در روش تغذیه سیلابی، قیف تغذیه تا سطح مشخصی از مواد انباشته می شود و تا جایی که قطر سیلندر ماردان گنجایش داشته باشد مواد

Archive of SID
www.SID.ir

به داخل اکسترودر سرریز میشوند (بطور مداوم). بنابراین در این حالت مجرای ماردان کاملا از مواد انباشته میگردد . درنتیجه در روش تغذیه سیلابی طول موثر ماردان در واقع کم و بیش معادل با طول ماردان درگیر با مواد اولیه می باشد . در روش تغذیه گرسنه مواد بسپاری با یک سرعت مشخص به داخل اکسترودر ریخته می شود . درنتیجه در داخل قیف تجمع مواد را نخواهیم داشت و در عوض مواد بطور مستقیم وارد ماردان می شوند. بر این اساس سیلندر ماردان در محل ورود مواد بصورت نیمه پر می باشد[۸]. پس از حرکت مواد بسمت جلو که در اثر چرخش ماردان انجام می شود رفته رفته سیلندر پر می گردد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که در تغذیه گرسنه، طول موثر ماردان کمتر از طول ماردان درگیر با مواد اولیه است. یکی از مزایای این روش در این است که با تنظیم طول موثر ماردان در حین انجام فرآیند می توان فرآیند را به شرایط بهینه نزدیک کرد. بنابراین در این روش امکان کنترل سامانه بیشتر از روش تغذیه سیلابی مهیا می شود زیرا در روش سیلابی طول موثر ماردان ثابت و غیرقابل تغییر است. البته روش تغذیه گرسته زمانی مفید خواهد بود که طول اکسترودر به اندازه کافی طولانی بوده باشد تا نواحی ذوب و اختلاط تحت تاثیر قرار نگیرند. بنابراین در اکسترودرهای کوچک روش تغذیه گرسنه مفید نخواهد بود. روش تغذیه گرسنه اگرچه نیازمند یک ناودان خوراک دهنده است اما سبب می شود که موتور اکسترودر توان کمتری را برای انجام فرآیند مصرف کند و احتمال تجمع و کلوخه شدن مواد کاهش یابد . روش تغذیه گرسنه این امکان را مهیا می سازد که فرآیند به سطحی از بهینه سازی برسد که این سطح با استفاده از روش تغذیه سیلابی دست نیافتنی است .

مهمترین بخش اکسترودر پیچ آن است که پیچ به طور مستقیم می تواند روی دامنه استفاده از اکسترودر و بهره وری تولید تاثیر گذارد . عمق پیچ های معمولی در مسیر طول آن متفاوت است و هر قدر به انتهای پیچ نزدیک تر شویم از عمق آن کاسته می شود . اولین بخش پیچ منطقه تغذیه (feeding) ، عمیق ترین قسمت آن نیز هست تا همواره مقداری از گرانول وارد شده با حرکت آرام خود ذخیره کافی خوراک در اختیار آن قرار دهد تا از گرسنه ماندن پیچ جلوگیری نماید.در دومین بخش از پیچ ، گرانول های پلیمری به شدت فشرده و ذوب می شوند به این ناحیه که منطقه فشردگی(transition) گفته می شود ، عمق کانال در این بخش کمتر از قسمت تغذیه است و همین امر سبب می شود ، از طرف پیچ فشار شدیدتری به پلیمر وارد شده و بالطبع حجم مواد مذاب نیز در این قسمت کمتر از حجم گرانول های وارد به منطقه تغذیه می باشد. در بخش سوم پیچ عملیات پمپاژ مذاب پلیمری به داخل صافی و سپس دای صورت می گیرد دراین قسمت پایانی و مهم پیچ فشرده شدن (metering) ، عمق کانال در این ناحیه کمترین مقدار در کل طول پیچ است.

سرعت ماردان و تنظیمات سیلندر :

در سرعت های کم ماردان حرارت ایجاد شده بوسیله ماردان کم و در نتیجه گرم کن های سیلندر نقش بیشتری را برعهده خواهند داشت اما در سرعت های بالا بخش عمده ای از حرارت توسط ماردان تامین می شود . پروفایل دمایی اکسترودر روشی که برای انتخاب بهترین پروفایل دمایی در دسترس است، محدوده ای از نظریه ها و توصیه هایی است که تولیدکنندگان مواد اولیه ارایه داده اند و یا از طریق روش های آزمون و خطا در محیط تولید بدست می آید [۸].در رابطه با محصولاتی که قبلا تولید شده اند، برای دست یابی به بهترین شرایط فرایند از تجربیات گذشته و مستندات استاندارد (sops) استفاده می شود . اما تولید محصولات جدید در ابتدا دشوار است. معمولا تولید کنندگان مواد اولیه ،پروفایل دمایی مناسب، طراحی بهینه مارپیچ ، شرایط خشک کردن مناسب ، L/Dبهینه اکسترودر، طراحی و طول دای مناسب را به عنوان پیشنهاد ارایه می دهند. بعضی از پارامترهای تجهیزات ثابت هستند ، مانند طراحی مارپیچ در اکسترودر، نسبت کشش روی دهانه دای و بخش های انتهایی با ابعاد مورد نیاز و L/D اکسترودر که مشخص و ثابت می باشند. اما پروفایل دمایی پوسته و دای و سرعت مارپیچ متغییر هستند تا اینکه کیفیت محصول و سرعت خروجی مناسب و استاندارد بدست آید [۷].در طول بهینه سازی فرایند ، همواره شرایط فرایند همراه با ذکر کیفیت محصول ثبت میشوند تا بهترین ارتباط بین دمای فرایند، سرعت مارپیچ و سرعت عملیاتی با کارایی محصول و کیفیت ظاهری آن بدست آید. طراحی های تجربی[۱] (DOE) می تواند برای بهینه کردن شرایط فرایندی بکار روند [۸].هنگامی که شرایط فرایند و کیفیت محصول به تعادل نسبی رسیدند ،از این شرایط می توان به عنوان داده های ابتدایی برای راه اندازی تولید استفاده کرد. انواع پروفایل دمایی که می توانند در اکسترودر استفاده شوند نامحدود هستند، اما تنها برخی از آنها منجر به تولید محصول قابل قبول در بازده بالا می شوند که شرایط بهینه نامیده میشود. دست یابی به مکانیزم ذوب و شرایط اکستروژن مناسب برای ذوب تمام پلیمر در ناحیه انتقال و همچنین انجام میکس خوب و ذوب هموژن در دای،

Archive of SID
www.SID.ir

تنها در محدوده باریکی از منحنی دمایی در اکسترودر جوابگوست که در آن صورت کارایی اکسترودر بهینه سازی شده است . باید دقت شود که تعیین دمای بهینه در طول سیلندر اکسترودر یکی از پارامترهای مهم در فرآیند اکستروژن است. دماهای مناسب برای یک اکسترودر الزاما برای اکسترودرهای مشابه مناسب نیست (حتی اگر اکسترودرها یک نوع ماده ی پلاستیک را با یک ماردان مشخص فرایند کنند و طراحی دای و سرعت ماردان در هر دو مشابه باشد). بنابراین در کارخانه ای مجهز به چندین اکسترودر، راه اندازی تمامی اکسترودرها با دماهای یکسان منجر به این خواهد شد که برخی از آنها بازدهی کم تر از حد انتظار داشته باشند. برای یافتن پروفیل دمایی مناسب، باید به این نکته توجه کرد که چگونه فشار مذاب در سر دای در اثر تغییرات دمایی اعمالی، دستخوش تغییر می شود. برخی از این تغییرات تعمدی است نظیر تغییر در سرعت ماردان یا تنظیم دمای سیلندر اکسترودر. اما برخی تغییرات نیز غیرعمدی می باشد نظیر فرسودگی ماردان و یا پرشدن توری به دلیل آلودگی مواد و ناخالصی ها .

۱) Design Of Experiment

بررسی دمایی اکسترودر را در سه بخش: محل خوراک دهی، انتقال و پیمایش (metering) دنبال می کنیم. در بخش خوراک دهی، دمای سیلندر اکسترودر برای بیشترین توان موتور و کمترین تغییرات فشار در دای تنظیم می گردد. تنظیم دما در بخش انتقال با هدف کم کردن تغییرات دمای مذاب در دای است و در ناحیه پیمایش، دمای سیلندر مطابق با دمای ذوب بسپار تنظیم می شود. شایان ذکر است که دمای مذاب خروجی از ناحیه پیمایش می تواند بسیار بیشتر از دمای سیلندر اکسترودر در آن ناحیه باشد. بخش خوراک دهی در بر گیرنده ناحیه حرارتی ۱ و قسمتی از ناحیه ۲ و بخش پیمایش دو ناحیه حرارتی انتهایی را شامل می شود و نواحی حرارتی بین این دو، ناحیه انتقال محسوب می گردد. اکسترودرهای کوچک (L/D ۲۶:۱ تا ۲۴:۱) معمولا ۳ یا ۴ ناحیه حرارتی دارند اما اکسترودرهای طویل تر (L/D: ۳۰-۳۲:۱) از ۴ یا ۶ ناحیه برخوردارند و این درحالی است که اکسترودرهای طویل (L/D:۳۴:۱ و بلندتر) ۶ تا ۱۰ ناحیه حرارتی را شامل می شوند. اکسترودر مورد آزمایش ما با L/D ۲۸:۱ دارای ۵ ناحیه حرارتی می باشد که زون یک و بخشی از زون دو در ناحیه تغذیه و زون سه در ناحیه انتقال و زون چها و پنج برای ناحیه پیمایش و دای می باشد .

مواد و روش ها :

مشخصات رزین و اکسترودر :

رزین مصرفی ما در این آزمایش به ترتیب زیر می باشد :

رزین LLDPE با فرمولاسیون سه برابر LDPE، از پتروشیمی امیرکبیر با کد AA ۲۰۹ که شاخص گرانروی مذاب (MFI) آن برابر ۰,۹ G/۱۰MIN و دانسیته آن برابر ۹۲۰ GR/CM۳ است و رزین LDPE از Tnoo ۲۱۰۰ از پتروشیمی لاله که شاخص گرانروی مذاب برابر ۰,۳ G/۱۰MIN و دانسیته برابر ۹۲۴ KGR/M۳LD می باشد .

شرایط انتخابی برای فراورش LLDPE عبارت است از T_D = ۱۹۰ ^{O}C و T_B = ۱۵۰ - ۱۸۰ ^{O}C که T_D دمای حدیده و T_B دمای قسمت های پیچ است .

مشخصات دستگاه تولید فیلم عبارت است از : اکسترودر نوع EA-A ۴۰ از یک شرکت تایوانی ، حدیده و مارپیچ نوع DES-۵۰ و حلقه هوای خنک کننده نوع AHF-A می باشند.

Archive of SID
www.SID.ir

آزمایشات با اطلاعات زیر انجام خواهند گرفت.

جدول ۱ - شرح انجام کار

	سرعت ماردان (rpm)	زون های دمایی ماردان و دای (^oC)								
۱	۳۰	۱۱۰	۱۱۵	۱۲۰	۱۲۵	۱۳۰	۱۳۵	۱۴۰	۱۴۵	۱۵۰
		۱۲۰	۱۲۵	۱۳۰	۱۳۵	۱۴۰	۱۴۵	۱۵۰	۱۵۵	۱۶۰
		۱۴۰	۱۴۵	۱۵۰	۱۵۵	۱۶۰	۱۶۵	۱۷۰	۱۷۵	۱۸۰
۲	۳۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۹۰
		۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۹۰	۲۰۰
		۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۹۰	۲۰۰	۲۱۰	۲۲۰
۳	۳۰	۱۱۰	۱۲۵	۱۴۰	۱۵۵	۱۷۰	۱۸۵	۲۰۰	۲۱۵	۲۳۰
		۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰	۱۹۵	۲۱۰	۲۲۵	۲۴۰
		۱۴۰	۱۵۵	۱۷۰	۱۸۵	۲۰۰	۲۱۵	۲۳۰	۲۴۵	۲۶۰

انواع پروفایل دمایی به صورت های زیرقابل تنظیم می باشند:

۱) افزایش پروفایل دمایی ، به صورت پیوسته از قسمت خوراک تا دای .

Archive of SID
www.SID.ir

۲) کاهش پروفایل دمایی از ناحیه حرارتی تا دای .

۳) پروفایل دمایی ثابت ، که در آن تمام نواحی حرارتی دقیقاً در دمای یکسان تنظیم شده باشند.

۴) پروفایل دمایی خمیده که در آن دما، درناحیه کمترین مقدار را داردو سپس به تدریج افزایش می یابدتا به قسمت وسط برسد و سپس به سمت دای کاهش می یابد .

پروفایل دمایی که برای محصول خاص بهترین عملکرد را داشته باشد به نوع رزین و ویسکوزیته آن، طراحی مارپیچ و سرعت خروجی آن بستگی دارد . دمای ذوب پلیمر یک خاصیت کلیدی در کنترل فرایند اکستروژن و بهینه سازی خروجی اکسترودر می باشند. در این شرایط باید تخریب رزین حد اقل بوده وکنترل بر اساس محدودیت های طراحی مارپیچ انجام شود[۹] . در روند افزایشی پروفایل دمایی ، دما در طول اکسترودر افزایش می یابد به این صورت که زون یک کمترین دما و آخرین زون یا زون دای بیشترین دما را دارا هستند . دمای پایین درناحیه از ذوب ناگهانی جلوگیری کرده و شکل گیری جریان مذاب در اطراف مارپیچ که به دلیل چسبندگی پلیمر به افزودنی ها و چسبندگی آنها به دیواره گلویی بخش خوراک ایجاد می شود را به حداقل می رساند .[۱۰] همانطور که قبلا بحث شد برای دست یابی به فرایند خوب ، ناحیه حرارتی ناحیه دمایی کلیدی است . اگر زون خیلی گرم باشد ، علاوه بر ذوب ناگهانی و یا شکل گیری جریان مذاب ، یک فیلم مذاب روی دیواره های سیلندر ایجاد میشود که سبب کاهش ضریب اصطکاک بین دیواره های سیلندر و پلیمر شده و منجر به کاهش تغذیه دستگاه و در نتیجه کاهش خروجی می شود در این حالت نیاز به خنک کاری سیلندر خواهیم داشت که با آب یا هوا انجام می گیرد . همانطور که قبلا اشاره شد ، خنک سازی بهتر به وسیله آب و با انتقال حرارت بیشتری نسبت به هوا انجام شده و همچنین کنترل دما نیز راحت تر است . مزیتی که آب دارد این است که هوای گرم را به داخل وارد نمی کند . اگر سیستم خنک کاری آب درست اندازه گیری شود در کاهش گرمای سطح اکسترودر خیلی موءثر می باشد و می تواند عملکرد خوبی داشته باشد و اما اگر زون خیلی سرد باشد، ذرات پلیمر به همدیگر نمی چسبید و به صورت یک جریان حرکت کرده واین امکان وجود دارد که پلیمر به سیلندر نچسبد و یا اینکه ممکن است مواد قبل از این که به ناحیه انتقال برسند به طور کامل پیش گرم نشوند . بنابراین دمای زون تغذیه رزین و جریان را در اکسترودر کنترل میکند . به فرض اینکه زون دو و زون سه مربوط به بخش انتقال باشند ، هدف این است تمام مواد در این قسمت ها ذوب شوند . معمولا دمای زون دای نسبت به زون سه و همچنین زون دو نسبت به زون یک بیشتر تنظیم می شوند تا بتواند به انتقال حرارت از بدنه سیلندر کمک کنند . از نظر تئوری تمام پلیمر ها در انتهای زون سه ذوب شده و دمای تنظیمی به دمای ذوب آنهاخیلی نزدیک است . اختلاف دمای تنظیم شده و دمای واقعی در هر اکسترودر ممکن است اتفاق بیافتد . اگر دمای واقعی به طور قابل توجهی بیشتر از دمای تنظیم شده باشد، ممکن است به دلیل تولید حرارت های ناشی از برش اضافی در مارپیچ باشد . یکی از دلایل ایجاد دمای اضافی ، نا مناسب بودن مقدار رزین و افزودنی ها نسبت به طراحی مارپیچ می باشد ویا از دلایل دیگر آن می توان به نوع پلیمر ، وجود برش بالا در مارپیچ و یا پایین بودن بیش از حد دمای تنظیم شده که منجر به ایجاد شرایط تغذیه بیش از حد (over feed)می شود اشاره کرد . فرض کنید دمای زون ۳ به طور قابل توجهی بالاتر از دمای تنظیم شده باشد در نتیجه گرمای ویسکوز قابل توجهی با چرخش مارپیچ در این بخش ایجاد شده است . برای جبران گرمای ویسکوز ایجاد شده دما در زون ۲و زون ۳ و تا حد ی در زون۴ افزایش داده میشود تا انتقال گرمای بیشتری به مواد نزدیک به زون ۳ ایجاد شود. اگر ذوب در انتهای بخش انتقال کامل نشود ، تجزیه بستر جامد رخ داده و عملیات ذوب در ناحیه اندازه گیری (metering) کامل می شود . ناحیه اندازه گیری طوری طراحی شده که پلیمر را پمپ کرده و آن را جابه جا میکند نه اینکه ان را ذوب کند. بنابراین زمانی که مار پیچ در حال فشرده سازی و اعمال نیرو برای ذوب مواد باقی مانده در کانال های کم عمق ناحیه اندازه گیری است ، ممکن است دمای خیلی بال (over heating) در زون ۴ اتفاق بیا فتد. این امر می تواند منجر به سوختن مارپیچ شده و مارپیچ در اثر حرارت زیاد ابی رنگ شود . بسته به مناطق اختالط و گرمای برشی ویسکوز ایجاد شده، دمای تنظیم شده و دمای واقعی در نواحی اختالط می توانند متفاوت باشد .قابل ذکر است که دمای دای ممکن است پایین تر از آخرین ناحیه حرارتی اکسترودر باشد تا حرارت را از مذاب گرفته در نتیجه استحکام مذاب پلیمر را درخروجی دای بهبود بخشدو فشار در دای را افزایش دهد.

Archive of SID
www.SID.ir

در پروفایل دمایی وارونه ، دمای باالای تنظیم شده در زون با کاهش دما در طول اکسترودر به سمت دای همراه است . به طور معمول این نوع پروفایل دما استفاده نمی شود ،به دلیل اینکه جریان مذاب را در اولین زون ایجاد می کند و بنابراین از موتور اکسترودر و توان آن برای ذوب پلیمر استفاده بهینه نمی شود .به هر حال اگر طراحی مارپیچ اکسترودر نا مناسب باشد برای فرایند پذیری بهتر پلیمر ، ممکن است پروفایل دمای وارونه استفاده شود تا محصول با کیفیت تولید شود .

پروفایل دمایی ثابت، یعنی اینکه تمام زون ها، روی یک دما ثابت شده باشند. نتیجه ی موفقیت آمیزی در کنترل دمای اکسترودر ایجاد نمی کند به این دلیل که در این نوع پروفایل، معمولا انتهای ناحیه تغذیه بیش از اندازه گرم و ناحیه اندازه گیری خیلی سرد می شود بنابراین این مدل دمایی کنترل دمای مذاب را به خوبی فراهم نمی کند طوری که انتهای ناحیه اندازه گیری به طور دایم در حال چالش برای حذف دمای اضافی از فرایند می باشد. بنابر این پروفایل دمایی ثابت ،به ذوب کامل در ناحیه انتقال کمک نمی کند.

در پروفایل دمای خمیده، دمای زون پایین می باشدو جهت تقویت فرایند ذوب دمای زون ناحیه انتقال بالاترمی باشدو سپس دمای زون ناحیه اندازه گیری ثابت می باشد ویا اندکی دما کاهش می یابد تا از تخریب رزین جلو گیری شود . زمانی که رزین ذوب می شود نیاز به حرارت اضافی جهت کاهش ویسکوزیته نمی باشد. بنابراین زون های ناحیه اندازه گیری علاوه بر اینکه در حال سر د شدن و حذف دمای اضافی می باشند دائماً در حال کنترل دما ی ذوب خواسته شده می باشند.

نتیجه :

محاسبه پروفایل دمایی با شروع دمایی ۱۱۰ ، ۱۲۰ ، ۱٤۰ با قدر مطلق ۱۵در جدول زیر نشان داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

	Screw temperature Zone۱ (°C)	Screw temperature Zone۲ (°C)	Screw temperature Zone۳ (°C)	Screw temperature Zone۴ (°C)	Screw temperature Zone۵ (°C)	Die temperature Zone۱ (°C)	Die temperature Zone۲ (°C)	Die temperature Zone۳ (°C)	Die temperature Zone۴ (°C)
۱	۱۱۰	۱۲۵	۱۴۰	۱۵۵	۱۷۰	۱۸۵	۲۰۰	۲۱۵	۲۳۰
۲	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰	۱۹۵	۲۱۰	۲۲۵	۲۴۰
۳	۱۴۰	۱۵۵	۱۷۰	۱۸۵	۲۰۰	۲۱۵	۲۳۰	۲۴۵	۲۶۰

جدول ۲ - محاسبه پروفایل با گام ها دمایی ۱۵ درجه سانتی گراد

در محاسبه پروفایل دمایی با دمای اولیه ۱۱۰ ، ۱۲۰ ، ۱٤۰ درجه سانتی گراد با گام های دمایی۱۵ درجه سانتی گراد، در حالت اول دمای ناحیه تغذیه و انتقال پایین بوده و در نتیجه جریان مذاب به صورت کامل در این دو مرحله صورت نگرفته و ناحیه سوم وظیفه تشکیل مذاب را بر عهده خواهد گرفت. در این حالت استفاده بهینه از موتور اکسترودر و توان آن برای ذوب صورت نمیگیرد. در حالت دوم دمای ماردان در بخش پیمایش خیلی بالا بوده و انرژی زیادی صرف سرد کردن ماردان می شود .همچنین در حالت سوم مقادیر دمایی با شیب بالایی افزایش یافته و جریان مذاب تشکیل می گردد. در این مرحله نیز دمای ناحیه پیمایش بسیار بالا بوده و این ناحیه به طور دائم در حال چالش برای حذف دمای اضافی از فرآیند می باشد و دوباره نیاز به سیستم های خنک کننده خواهد بود. استفاده از سیستم خنک کننده در واقع مانند راندن خودرو ای است که ترمز دستی آن بالا می باشد . این شرایط به معنی صرف انرژی بی مورد و اضافی است که سبب فرسایش قطعات خواهد شد. در هر سه حالت دمای ناحیه دای بالا بوده که این امر باعث تخریب پلیمر می گردد. به دنبال این تخریب لکه های ژل مانند سیاه رنگ در فیلم های تولید شده مشاهده خواهد گردید.

www.SID.ir

محاسبه پروفایل دمایی با شروع دمایی ۱۱۰ ، ۱۲۰ ، ۱۴۰ با قدر گام های دمایی ۱۰در جدول زیر نشان داده شده است.

	Screw temperature Zone ۱ (°C)	Screw temperature Zone۲ (°C)	Screw temperature Zone۳ (°C)	Screw temperature Zone۴ (°C)	Screw temperature Zone ۵ (°C)	Die temperature Zone۱ (°C)	Die temperature Zone۲ (°C)	Die temperature Zone۳ (°C)	Die temperature Zone۴ (°C)
۱	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۹۰
۲	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۹۰	۲۰۰
۳	۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۹۰	۲۰۰	۲۱۰	۲۲۰

جدول ۳ - محاسبه پروفایل با قدر نسبت ۱۰

در محاسبه پروفایل دمایی با دمای اولیه ۱۱۰ ، ۱۲۰ ، ۱۴۰ با گام های دمایی ۱۰ درجه سانتی گراد ، در حالت اول دمای ناحیه تغذیه و انتقال و پیمایش کم بوده و مواد ذوب نمی شوند. در مرحله دوم ناحیه تغذیه دما بسیار پایین می باشد در نتیجه پلیمری که به اندازه کافی گرم نشده است وارد مرحله انتقال گردیده و به دلیل کافی نبودن دما ذوب نشده و وارد مرحله پیمایش می شود . در این ناحیه توان و زمان لازم برای ذوب شدن را نخواهد داشت. در حالت دو و سه دمای نواحی دای بالا بوده که این امر باعث تخریب پلیمر می گردد. در نتیجه به دنبال این تخریب لکه های ژل مانند سیاه رنگ در فیلم های تولید شده مشاهده خواهد گردید.

محاسبه پروفایل دمایی با دمای اولیه ۱۱۰ ، ۱۲۰ ، ۱۴۰و با گام های دمایی۵ درجه سانتی گراد در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ٤ - محاسبه پروفایل با گام های دمایی ۵ درجه سانتی گراد

	Screw temperature Zone۱ (°C)	Screw temperature Zone۲ (°C)	Screw temperature Zone۳ (°C)	Screw temperature Zone۴ (°C)	Screw temperature Zone۵ (°C)	Die temperature Zone۱ (°C)	Die temperature Zone۲ (°C)	Die temperature Zone۳ (°C)	Die temperature Zone۴ (°C)
۱	۱۱۰	۱۱۵	۱۲۰	۱۲۵	۱۳۰	۱۳۵	۱۴۰	۱۴۵	۱۵۰
۲	۱۲۰	۱۲۵	۱۳۰	۱۳۵	۱۴۰	۱۴۵	۱۵۰	۱۵۵	۱۶۰
۳	۱۴۰	۱۴۵	۱۵۰	۱۵۵	۱۶۰	۱۶۵	۱۷۰	۱۷۵	۱۸۰

Archive of SID
www.SID.ir

در محاسبه پروفایل دمایی با دمای اولیه ۱۱۰ ، ۱۲۰ ، ۱٤۰و با گام های دمایی۵ درجه سانتی گراد در حالت اول و دوم گرمای لازم برای ذوب پلیمر فراهم نمی شود و فیلم با سطحی زبر و لکه های ژله ای تولید می گردد . در حالت سوم تمام پلی مر ها در انتهای ناحیه انتقال ذوب شده و دمای تنظیمی به دمای ذوب آن ها خیلی نزدیک می باشد . با بررسی نتایج مشخص می گردد که حالت سوم بهینه ترین حالت بوده و محصولی با کیفیت قابل قبول در مقایسه با سایر حالت ها تولید می گردد. از جمله پارامتر های تاثیر گذار بر روی کیفیت محصول در این حالت می توان به حساسیت پلیمر به دما و بهره گیری از گام های دمایی کوچک اشاره نمود . در تحقیق حاضر با استناد به نتایج حاصل از بررسی گام های دمایی در ادامه با در نظر گرفتن گام های دمایی ۵ درجه سانتی گراد ، مشخصات ظاهری و مشخصات فیزیکی فیلم سه لایه پلی اتیلنی بررسی گردیده اند و مورد تایید در آزمایشگاه و تحت نظر مدیر کنترل کیفیت، قرار گرفتند. از جمله ی این مشخصات فیزیکی تعیین ضخامت ، خواص کششی ، ضریب اصطکاک ، مقاومت پارگی و مقاومت ضربه می باشند.

منابع:

۱) خواص و کاربرد پلیمرهای طبیعی ، دکتر نورالدین گودرزیان ، نشر مهکامه ، چاپ اول ، پاییز ۱۳۸۵

۲) Coopens KA, Hall MJ,Mitchell SA,et al. Hypromellose,ethylcellulose and Polyethylene oxide use in hot melt extrusion. Pharm Technol ۲۰۰۵:۱-٦

۳)L.E. Dowd and M.L. Opacich, SPE ANTEC ۸۵ Conf Proc. Air Ring effects in blown Film Extrusion , ٤۰(۱۹۸۵)

٤) basparan.com - قسمت های مختلف اکسترودر

۵) Chung, C. I. and Barr, R. A., “Energy Efficient Extruder Screw,” U. S. Patent ٤, ٤۰۵, ۲۳۹ (۱۹۸۳)

٦) Campbell, G. A. and Tang, Z., “Solid Bed Melting in Single Screw Extruders – An Alternative First Order Mechanism,” SPE ANTEC Tech. Papers, ۵۰, ۱٦۲ (۲۰۰٤)

۷) polymersabz - فرآیند اکستروژن

۸) مهرداد خدابنده لو ، Iran polymer - چگونه خط اکستروژنی بهینه داشته باشیم.

۹)W.Kurzbuch, J. Plast. Film sheet. LLDPE Blown Film Productivity: Effects of Processing Temperature and Die Gap on Attainable Production Rates ۳:۱۲۵(۱۹۸۷)

۱۰) Campbell, G. A., Spalding, M. A., and Carlson, F., “Prediction of Screw Temperature Rise in Single Screw-Pump Extruders,” SPE ANTEC Tech. Papers, ۵٤, ۲٦۷ (۲۰۰۸)

۱۱) Campbell, G. A., Cheng, H., Wang, C., Bullwinkel, M., and te-Riele, M. A., “Temperature Rise in a Single Screw Pump-Extruder,” SPE ANTEC Tech. Papers, ٤۷،۱۵۲ (۲۰۰۱)

Archive of SID

www.SID.ir

The optimal temperature profile in the production of linear low density polyethylene films

Asmar ghadboland , Mohammed Reza Taheri , Ramin Zadghffari

The graduate student and member of the elite club of young researchers, Department of Chemical Engineering, Ahar unit , Islamic Azad University of Ahar, Iran mailbox: ٥٤٥١١١٦٧١٤

The Department of Research and Technology, Inc. saman arghavan Tabriz - manufacturer of laminated polyethylene film, mailbox:٥٣٧٥١٨١١١١

Department of Chemical Engineering, Ahar unit, Islamic Azad University of Ahar, Iran mailbox: ٥٤٥١١١٦٧١٤

Archive of SID

Review :

Linear low density polyethylene (LLDPE) due to their enhanced properties than LDPE progress and maintain their place in the industry and global markets. LLDPE converts by extrusion process to products such as pipes and films. screw is the most important part of a screw extruder that directly affects the production efficiency. Process variables such as temperature, humidity, pressure, screw and Cylinder can be changed the extrusion process yield. Therefore adjusting the temperature profile is a very important factor in the manufacturing process of linear low density polyethylene films by extruder machine. In the present work the optimum temperature profile is obtained for the production of a three-layer polyethylene films based on LLDPE. For this purpose several methods have been proposed to achieve optimal thermal profile. The investigation show that the methods of the temperature profile reduction from thermal area to die section, constant temperature profile and curved temperature profile were declined based on their Contradictions in theory. So the increasing profile method is applied in experiment. The results indicate that the thermal pattern with starting point of ١٤٠ °C, steps to increase the temperature (D) equal to ٥ and maximum temperature equal to ١٨٠ °C, lead to best efficiency, and in this case the best quality product with minimal time and Price could be established.

Keywords: linear low density polyethylene - extrusion - Film - temperature profile -optimization

www.SID.ir