

Литература

1. Закрученко, Н. Гибкие пленки на рынке пищевой упаковки / Н. Закрученко // Мясное дело. - 2012. - № 5. - С. 14-15.
2. Серова, В.Н. Эксплуатационные свойства моно- и многослойных полимерных упаковочных пленок / В.Н. Серова, Д.В. Сугоняко, М.Л. Верижников, А.А. Тюфтин // Пласт.массы. 2014. № 5-6. С. 54-56.
3. Серова, В.Н. Светостойкость и другие сравнительные свойства полимерных пленок для упаковки пищевых продуктов / В.Н. Серова, Д.В. Сугоняко, М.Л. Верижников, А.А. Тюфтин // Вестник Казан. технол. ун-та. - 2014. - Т. 17. - № 3. - С. 104-107.
4. Гарипов, Р.М. Получение и свойства многослойной термоусадочной полимерной пленки / Р.М. Гарипов, В.Н. Серова, А.А. Ефремова, Ж.Ю. Геркина // Вестник Казан. технол. ун-та. - 2015. - Т. 18. - Вып. № 3. - С. 174-177.
5. Серова, В.Н. Влияние металлизации и праймирования полиэтилен-терефталатной упаковочной пленки на качество красочных слоев, нанесенных на нее способом флексографской печати / В.Н. Серова, С.А. Шевцова, М.С. Якунина, Д.В. Сугоняко, М.Л. Верижников, А.А. Тюфтин // Вестник Казан. технол. ун-та. 2014. Т. 17. № 12. С. 65-68.
6. Загидуллин, А.И. Влияние структуры многослойной пленки на барьерные свойства полимерного пленочного материала / А.И. Загидуллин, Р.М. Гарипов, А.И. Хасанов, А.А. Ефремова // Вестник Казан. технол. ун-та. - 2014. - Т. 17. - № 21. - С. 151-153.
7. Гарипов, Р.М. Структура и световое старение высокобарьерной многослойной термоусадочной пленки / Р.М. Гарипов, В.Н. Серова, А.И. Хасанов, А.А. Ефремова, Ж.Ю. Геркина // Вестник Казан. технол. ун-та. - 2015. - Т. 18. - № 14. - С. 29-32.
8. Лампа или светодиод - какой источник УФ-излучения лучше? // PrintCom Russia. - 2008. - № 17/18. - С. 17-19 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.colorlaboratory.ru>, свободный.

УДК [678.02+678.05]-036.5-023.885

Полимерные сетки. Часть 3. Сеточные технологические линии и агрегаты.

И.О. МИКУЛЁНОК, А.Д. ПЕТУХОВ

Национальный технический университет Украины
"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"
i.mikulionok@kpi.ua

Рассмотрены основные стадии наиболее распространенных способов производства полимерных сеток непосредственным формованием полотна сетки методом экструзии. Выполнен анализ работы технологической линии производства безузловой полимерной сетки методом экструзии расплава через отверстия во вращающихся в противоположных направлениях соосно-расположенных фильерах, а также экструзионная головка экструдера этой линии. Рассмотрены устройство и принцип работы технологических линий других типов.

Также рассмотрена работа экспериментальной установки на базе одношнекового экструдера для формования рукавной полимерной сетки из полиэтилена высокого давления. Выполнен анализ влияния температуры расплава на прочность соединения стренг заготовки сетки между собой. Определена оптимальная температура расплава для изготовления сетки высокого качества

Ключевые слова: полимер, сетка, технологическая линия, сеточный агрегат, экструзионная головка, технология, особенности.

The basic stages of the most widespread methods of manufacture of polymeric meshes by direct formation of a cloth of meshes by extrusion are considered. The analysis of work of a technological line of manufacture of nodeless polymeric meshes by extrusion of melt through apertures in rotating in opposite directions coaxial-located draw plates, and also extrusion head of this line extruder is made. The device and a principle of work of other type's technological lines of domestic and foreign manufacturers are considered.

Also work of experimental installation on the basis of one-screw extruder for formation a sleeve polymeric mesh from low density polyethylene is considered. The analysis of influence of melt temperature on durability of strands connection of workpiece mesh is made. The optimum temperature of melt for making of a quality mesh is defined.

Keywords: polymer, mesh, technological line, mesh aggregate, extrusion head, technology, features.

Производство полимерных сеток известными способами [1] состоит из следующих основных операций:

- в случае непосредственного формования полотна сетки: подготовка сырья, подготовка расплава, формование заготовки сетки, охлаждение сетки, намотка неориентированной сетки, ориентация и термообработка сетки, намотка ориентированной сетки;
- в случае формования полотна сетки из предварительно изготовленных элементов сетки (стренг, нитей, полос): соединение элементов сетки между собой методами качества, при необходимости дополнительная фиксация полученной заготовки сетки (например, термосварка элементов в местах их

взаимного пересечения), намотка неориентированной сетки, ориентация и термообработка сетки, намотка ориентированной сетки.

Рассмотрим операции наиболее распространенных способов производства полимерных сеток непосредственным формованием полотна сетки методом экструзии.

Подготовка сырья. Сырьё для производства полимерных сеток поставляется в основном в виде гранул и во многих случаях не требует какой-либо специальной подготовки. Однако в случае повышенной влажности сырья его предварительно подсушивают. При изготовлении цветных сеток сырьё окрашивают, для чего используют смесители разных

типов, в которых гранулированный материал смешивается с соответствующими пигментами и красителями.

Подготовка расплава. Исходный гранулированный полимерный материал переходит в расплав, равномерно перемешивается и гомогенизируется в червячном, дисковом или комбинированном (червячно-дисковом, дисково-червячном, дисково-шестерённом) экструдере [2].

Чаще всего в линиях для производства полимерных сеток используются червячные экструдеры. Производительность экструдеров и качество расплава определяется конструкцией червяка, которая выбирается с учётом свойств материала, особенностей изготавливаемых сеток и специфики работы экструдера. Обычно для переработки гранулированных термопластичных полимерных материалов применяют цилиндрические червяки с постоянным шагом и переменной глубиной винтового канала, которые имеют три чётко выраженные функциональные зоны – загрузки, сжатия (плавления) и дозирования (гомогенизации) [2]. В зоне сжатия нередко используются специальные сдвиговые элементы, а в зоне дозирования – смесительные [3]. Основными геометрическими параметрами червяка, определяющими производительность экструдера и качество расплава, являются диаметр и длина рабочей части, степень сжатия (соотношение объёмов винтового канала на длине одного шага в зоне загрузки и в зоне дозирования), размеры зон, наличие сдвиговых и смесительных элементов. Червячные экструдеры специальных конструкций в производстве полимерных сеток обычно не используются, а применяются преимущественно червячные экструдеры серийного производства с червяками длиной до 25 его диаметров и более.

Формование заготовки сетки. Подготовленный в червячном экструдере расплав полимера через узел фильтрации нагнетается в формующую сеточную головку, с помощью которой образуются стренги определённого поперечного сечения, которые непосредственно в головке или на некотором расстоянии от неё в местах взаимного контакта соединяются между собой, образуя заготовку будущей сетки. С помощью ширинного устройства круглого поперечного сечения (диска или цилиндра), размещённого на некотором расстоянии от экструзионной головки (в случае экструзии "сверху вниз" часто непосредственно в ванне охлаждения), рукавная заготовка растягивается до заданного диаметра. В зависимости от способа производства и конструкции головки сетка выходит с прямоугольными или ромбическими (реже с треугольными или другой формы) ячейками.

Охлаждение сетки. Сформованную заготовку сетки либо пропускают через слой воды в ванне охлаждения, либо через зону воздушного охлаждения (по аналогии с производством рукавной полимерной плёнки), при этом охлаждение заготовки сетки сопровождается фиксацией её формы и размеров. В случае водяного охлаждения уровень и температура воды в ванне поддерживаются постоянными.

Намотка неориентированной сетки. Охлаждённая плоская сетка либо охлаждённая и сложенная тянущими вальками в плоское полотно рукавная сетка наматывается в рулоны заданного диаметра. При необходимости рукавную сетку можно разрезать в продольном направлении и сматывать в рулоны в виде плоского полотна.

Ориентация и термообработка ориентированной сетки. Узкие рукавные сетки с ромбическими ячейками можно сразу же после ванны охлаждения, минуя намоточное устройство, подавать на устройство продольной вытяжки, состоящее из двух групп валков: тихоходных, окружная скорость которых равна скорости вытягивания охлаждённой сетки, и расположенных после них быстроходных. Сетки в виде рукавов или разрезанных на плоское полотно с прямоугольными или квадратными ячейками можно подвергать двухосной ориентации. Между группами валков находится устройство для термообработки сетки (обычно ванна с жидкостью, имеющей определённую температуру).

Намотка ориентированной сетки. Сетка с регулируемым усилием натяжения сматывается в рулоны. Существуют системы автоматической и полуавтоматической намотки, имеющие устройства поперечной резки сеточного полотна, его заправки в свободную шпунду (намоточное устройство), обвязки рулона и снятие его с намоточного устройства.

На рис. 1 приведена схема классической комплексной технологической линии производства безузловой полимерной сетки фирмы "NSW" ("Norddeutsche Seekabelwerke GmbH", Германия). Фирма "NSW" изготавливает экструзионные установки для производства полимерных сеток четырёх типов-размеров. Такие сетки под зарегистрированной торговой маркой "полинэт" известны с 1959 года, их получают методом экструзии расплава через отверстия во вращающихся в противоположных направлениях соосно-расположенных фильерах [4].

Установка предназначена для переработки полиэтилена высокого или низкого давления, полипропилена и других полимеров в зависимости от типа и назначения получаемых сеток. Установка состоит из экструдера 1, кольцевой сеточной головки 2, охлаждающей ванны 3 и приёмно-тянущего устройства 4. Рекомендуется дополнительное устройство для продольной ориентации сетки, состоящее из тихоходных (подающих) 5 и быстроходных (вытяжных) 6 валков.

Получение сетки осуществляется следующим образом. Предназначенный для переработки гранулированный полимерный материал загружается в бункер экструдера, откуда поступает в его полость и захватывается червяком. В экструдере под воздействием механической энергии червяка и тепловой энергии электронагревателей материал плавится, гомогенизируется и в виде однородной вязкой массы через пакет фильтрующих сеток подаётся в кольцевую сеточную головку (рис. 2).

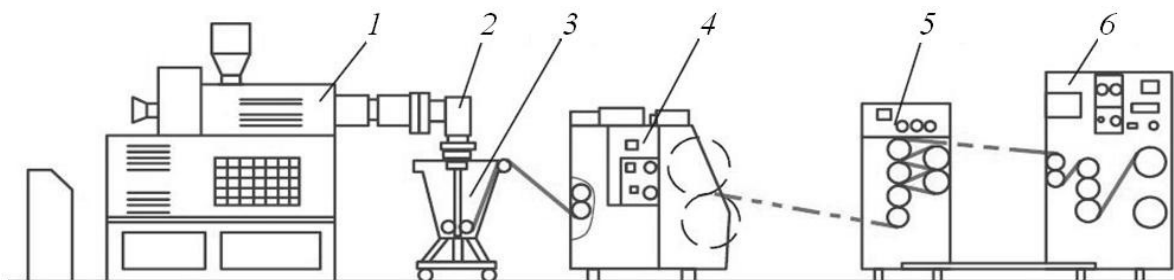


Рис. 1. Схема комплексной технологической линии по производству полимерных сеток фирмы "NSW" (Германия): 1 – экструдер; 2 – кольцевая сеточная головка; 3 – ванна охлаждения; 4 – приёмно-тянущее устройство; 5, 6 – тихоходные и быстроходные вальки, соответственно.

Корпус головки 6 состоит из соединённых между собой болтами верхней и нижней частей. В нижней части корпуса расположены отверстия для патронных нагревателей 5. Верхняя часть корпуса обогревается внешним кольцевым электронагревателем сопротивления. Во внутреннюю полость корпуса 6 вводится главный вал 7, в нижней части которого на дорне крепится внутренняя фильера 2, выполненная в виде бронзового диска с отверстиями.

Для передачи крутящего момента на вал на нём закреплено зубчатое колесо 8. Соединение вала с колесом шпоночное. Колесо крепится на валу гайкой 11, которая поднимает или опускает вал, а вместе с ним и внутреннюю фильеру 2.

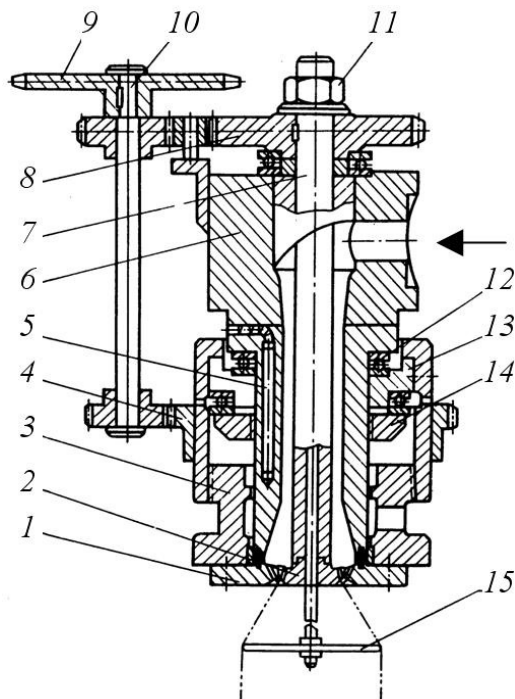


Рис. 2. Конструкция кольцевой головки "NSW" для производства безузловой сетки (пояснения в тексте).

Снизу на корпусе 6 установлено опорное кольцо 13, поджимаемое к бурту корпуса прижимной гайкой 14. Между буртом и кольцом, а также между кольцом и гайкой установлены два упорных шарикоподшипника 12. На опорное кольцо устанавливается корпус с зубчатым венцом 4. В корпус ввинчивается стакан 3, на фланце которого крепится внешняя фильера 1, выполненная в виде стального кольца с отверстиями для выдавливания стренг сетки. Вращение головки осуществляется от привода через цепную передачу и звёздочку 9, которая посажена на боковом валу 10 с двумя шестернями. Нижняя шестерня бокового вала находится в зацеплении с зубчатым венцом, через который передаётся вращательное движение опорному кольцу, стакану и внеш-

ней фильере. Верхняя шестерня через промежуточную шестерню и зубчатое колесо 8 передаёт вращательное движение на главный вал и внутреннюю фильеру. Внешняя и внутренняя фильеры вращаются в противоположные стороны. Частота вращения регулируется вариатором и может плавно изменяться в широком диапазоне. Подготовленный в экструдере расплав в головке проходит по концентрическому зазору между корпусом головки и главным валом и продавливается в виде стренг через отверстия во внутренней и внешней фильерах. Стренги, выходящие из фильер, протягиваются через установленную под сеточной головкой водяную ванну охлаждения, захватываются гуммированными валами тянущего устройства и направляются в намоточное устройство. Затем включается привод головки, обеспечивающий вращение фильер в противоположные стороны с одинаковой угловой скоростью. Поскольку отверстия во внутренних и внешних фильерах расположены под углом 30° к вертикали и на выходе сходятся на одном диаметре, стренги, которые при вращении фильер выходят из отверстий в противоположные стороны, накладываются друг на друга и образуют рукавную сетку с ромбической формой ячеек. Для повышения прочности соединения стренг сетка натягивается на установленный под головкой ширильный диск 15, диаметр которого в 1,2–3 раза больше диаметра фильеры. Ширину рукава, толщину стренг, размеры и форму ячеек получаемой сетки определяют параметрами фильер (число отверстий, диаметр фильер и отверстий), размерами ширильного диска, а также скоростью вращения головки и вытяжки сетки.

При необходимости получения ориентированной в продольном направлении сетки её заготовка подаётся в устройство продольной ориентации, которым дополнительно комплектуют установки для изготовления сетки. Указанное устройство состоит из двух групп валков: тихоходных (подающих сетку) и быстроходных (вытяжных). Группа подающих валков включает шесть металлических валков диаметром 200 мм (два нижние покрыты слоем резины), которые имеют закреплённые на станине приводы и систему управления. Аналогичное устройство имеет и вытяжная группа валков. За устройством ориентации расположено устройство, которое маркирует и раскладывает сетку, а также два намоточных устройства. Валки подачи и вытяжки сетки вращаются от индивидуальных электродвигателей через вариатор с дистанционным управлением. Валки каждой из групп вращаются с одинаковой скоростью, плавно регулируемой вариатором. Ориентация сетки (продольная вытяжка) осуществляется за счёт различия скоростей валков группы подачи и группы вытяжки. В случае ориентации сетки из полиэтилена низкого давления и полипропилена между группами монтируется ванна для подогревания сетки в горячей воде. После барабанов ориентированная сетка в виде тонкого жгута пропускается через маркировочное устройство и раскладчик и далее наматывается на картонные шпули с ребордами.

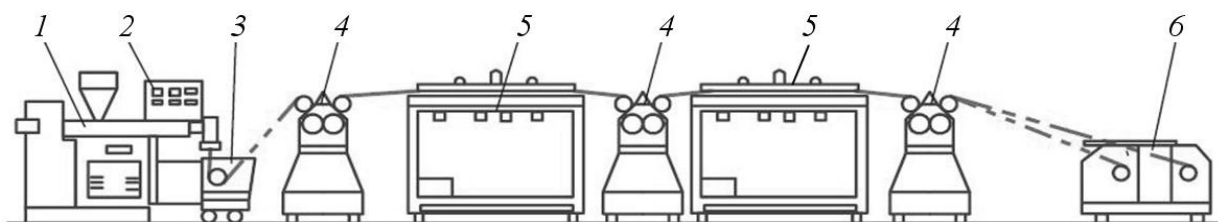


Рис. 3. Схема линии по производству полимерных сеток "Мапо" (Италия):

1 – червячный экструдер с кольцевой сеточной головкой; 2 – шкаф контроля и регулирования; 3 – ванна охлаждения; 4 – устройство ориентации; 5 – термостатирующая ванна; 6 – намоточное устройство.

Фирма "Мапо" (Италия) изготавливает экструзионные установки серии Jumbo RT для изготовления безузловой рукавной сетки из полиэтилена и полипропилена методом экструзии расплава через отверстия в соосно-расположенных кольцевых фильерах, которые взаимно вращаются [4]. Схема установки приведена на рис. 3.

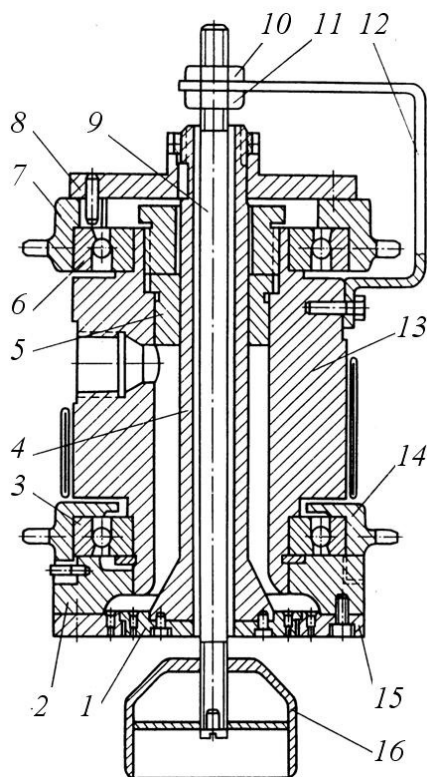


Рис. 4. Головка для производства ориентированной безузловой сетки (пояснения в тексте).

При этом выпускаются линии двух модификаций по производству неориентированных и ориентированных сеток на базе червячных экструдеров с диаметром червяков 45 и 60 мм и длиной 25 диаметров червяка. Установка для производства ориентированной сетки состоит из червячного экструдера 1 с кольцевой сеточной головкой, шкафа контроля и регулирования температуры 2, ванны охлаждения 3, устройства ориентации 4, термостатирующей ванны 5 и намоточного устройства 6. При производстве неориентированной сетки из состава установки исключаются устройство ориентации и термостатирующая ванна, вместо которых дополнительно устанавливаются тянущее устройство и узел разрезания сетки.

Технологический процесс получения сетки на оборудовании фирмы "Мапо" в основном подобен процессу, который выполняется на установке фирмы "NSW", поскольку линии фирм "NSW" и "Мапо" по своему составу и конструкции примерно аналогичны. Различаются они лишь исполнением устройства ориентации сетки. В установках фирмы "Мапо" это устройство выполнено в виде трёх независимых блоков, каждый из которых оснащён тремя стальными валками диаметром 330 мм и длиной 500 мм. Один из валков на каждом блоке покрыт слоем резины, два других хромированы. Барабаны вращаются от двигателей постоянного тока, регулирование скорости вращения которых осуществляется с пульта управления. Между блоками расположены две термостатирующие ванны для подогрева подвергающейся ориентации сетки. Эти ванны оснащены аппаратурой автоматического регулирования температуры воды. Полученная ориентированная сетка в виде жгута наматывается на катушки.

Российское ОАО "Межотраслевой институт переработки пластмасс" (ОАО "МИПП НПО "Пластик"; г. Москва, Российская Федерация) ещё в 1970-е годы разработало линию узкоспециального назначения по производству только ориентированных безузловых сеток для упаковывания плодоовощной продукции. Наибольший интерес в данной линии представляет конструкция головки (рис. 4).

Головка состоит из цилиндрического корпуса 13, в котором расположен полый вал 4, удерживающий внутреннюю фильеру 1. На верхнем конце полого вала 4 закреплена крышка 8 со звездочкой 7, которые установлены на радиально-упорных шарикоподшипниках 6 корпуса 13. Полый вал установлен во втулке 5, расположенной в корпусе и препятствующей выходу расплава.

В нижней части корпуса расположена внешняя фильера 15, установленная на диске 2 и соединённая со звездочкой 14. Звездочка установлена в корпусе на радиально-упорном подшипнике 3. Внутри полого вала установлен стрержень 9 с закреплённым на нём ширинным диском 16. Стержень 9 крепится к корпусу скобой 12. С помощью гаек 10 и 11 стрержень 9 с диском 16 можно устанавливать на заданном уровне. Внешняя и внутренняя фильеры формируют стренги, из которых образуется ячейки сетки. Расплав, который подается в головку, продавливается через равномерно расположенные отверстия в фильерах. Фильеры вращаются от цепных передач через звездочки 7 и 14. Поскольку фильеры вращаются в противоположные стороны, стренги, которые выдавливаются из отверстий фильер, перекрещиваются и свариваются между собой, формируя рукавную сеточную заготовку с ромбовидными ячейками. Основным конструктивным отличием головки является то, что обе фильеры (внешняя и внутренняя) выполнены из стали и имеют ступенчатое соединение. Соблюдение необходимых размеров зазоров между фильерами препятствует проникновению расплава через эти зазоры и обеспечивает минимальное изнашивание фильер.

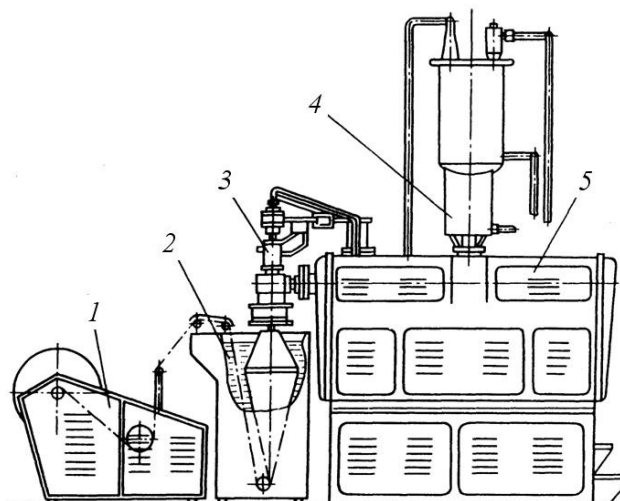


Рис. 5. Схема агрегата АС 63-650 для производства рукавных полимерных сеток (УкрНИИпластмаш, Украина): 1 – приёмно-тянущее устройство; 2 – ванна охлаждения; 3 – кольцевая сеточная головка; 4 – устройство нагрева и подсушки полимерных гранул; 5 – червячный экструдер ЧП 63х20.

В Украинском научно-исследовательском институте по разработке машин и оборудования для переработки пластических масс, резины и искусственной кожи (УкрНИИпластмаш; г. Киев, Украина) созданы аналогичные немецким, итальянским и российским универсальные линии по производству безузловых сеток с ромбовидными ячейками [4]. Так, на

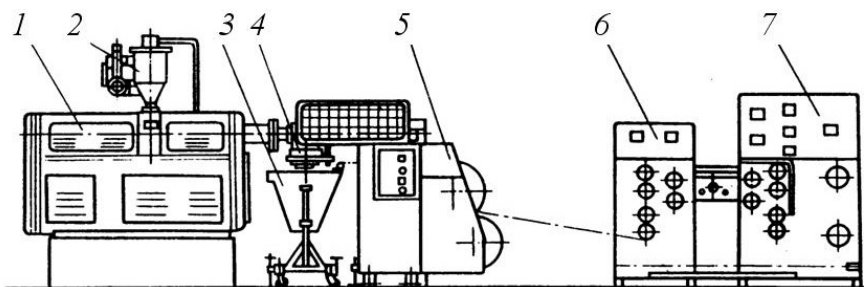


Рис. 6. Схема линии ЛБС 45-600 для производства безузловых рукавных сеток из полиолефинов (УкрНИИпластмаш, Украина): 1 – червячный экструдер ЧП 45х25; 2 – устройство нагрева и подсушки полимерных гранул; 3 – ванна охлаждения; 4 – кольцевая сеточная головка; 5 – приёмно-тянущее устройство; 6 – подающее устройство; 7 – вытяжное устройство.

агрегате АС 63-650 можно получать рукавные полимерные сетки с прямоугольными ячейками (ширина сетки в сложенном виде от 450 до 650 мм, размеры ячеек 15х15 мм) из ПЭВД и ПЭНД методом экструзии через угловую кольцевую головку с осциллирующим дорном (рис. 5).

На линии ЛБС 45-600 можно получать рукавные полимерные сетки с ромбическими ячейками (максимальная ширина сетки в сложенном виде: неориентированной – 400 мм, ориентированной – 1200 мм) из ПЭВД, ПЭНД и ПП методом экструзии через угловую кольцевую головку (рис. 6).

ООО "Интегратор-99" (г. Минск, Беларусь) предлагает линию GSB-Z1000 для производства плоской двухосноориентированной геосетки из ПЭ, ПП или их смеси [5]. На линии осуществляются следующие технологические операции: смешение компонентов (ПЭ, ПП, добавки); автоматическая загрузка смеси компонентов в экструдер; экструзия плоского листа; каландрование; охлаждение и продольная обрезка; нагрев; перфорирование; продольное ориентирование; поперечное ориентирование; резка и намотка; контроль качества готовой двухосноориентированной сетки. Аналогичная линия и способ изготовления одно- или двухосноориентированной сетки с прямоугольными ячейками описаны в патенте [6].

На рис. 7 представлена схема технологической линии по изготовлению способом "трикаль" полимерных сеток с прямоугольными ячейками от французской фирмы "Рикаль" [4]. Фирма изготавливает линии на базе экструдеров с диаметром червяка 45, 60 и 90 мм (в зависимости от параметров и назначения сетки). Благодаря большому выбору сменных формующих инструментов обеспечивается возможность получения широкого ассортимента сеток из ПЭВД и ПЭНД, ПП, ПВХ и других термопластов.

Сетки изготавливают в виде рукавов с прямоугольными или квадратными ячейками размером от 1х1 до 50х50 мм, толщиной стренги от 0,3 до 5 мм и шириной рукава в сложенном виде от 30 до 650 мм. При необходимости рукав можно разрезать на одно или два полотна.

Технологический процесс получения сетки следующий. Гранулированный материал, предназначенный для переработки, загружается в бункер экструдера 1. Червяк экструдера вращается и перемещает гранулы к угловой сеточной головке 3. При движении частицы полимера, нагреваясь, постепенно размягчаются до вязкотекучего состояния. Полученный однородный расплав продавливается червяком в угловую головку, где сетка формируется, а потом выходит из неё непрерывно в виде рукава и подаётся в ванну охлаждения 8. Для предотвращения слипания и деформации сетка продавливается через ширинную оправку 4, которая представляет собой цилиндр с диаметром большим, чем диаметр рукава. Охлаждённая сетка в виде сплюсненного рукава подаётся направляющими 7 и тянущими 5 вальцами к намоточному устройству 6.

точному устройству 6, где и наматывается в рулоны. Прямоугольная или квадратная форма ячеек и отсутствие узлов позволяют легко ориентировать сетку. Прочность ориентированных сеток по сравнению с прочностью обычных сеток увеличивается в несколько раз. Процесс ориентации заключается в том, что сетку предварительно нагревают до установленной температуры и растягивают в продольном и поперечном направлениях до заданных размеров (в зависимости от вида полимера, из которого изготовлена сетка). Поперечная ориентация рукавной сетки осуществляется на оправке, представляющей собой конус, собранный из нескольких алюминиевых дисков. Продольная ориентация осуществляется за счёт вытяжки сетки в продольном направлении – аналогично процессу ориентации безузловых сеток. При этом максимальное укрепление сетки достигается при увеличении поперечных и продольных размеров ячеек сетки: из ПП в 3 раза, из ПЭ – в 2 раза, из ПВХ – в 4–5 раз, а из полиамидов – в 5 раз. Для ориентации сетки в виде плоского полотна, полученного путём разрезания рукава, можно использовать установки, на которых выполняется двухосная ориентация полимерных плёнок, в том числе с применением клуппов.

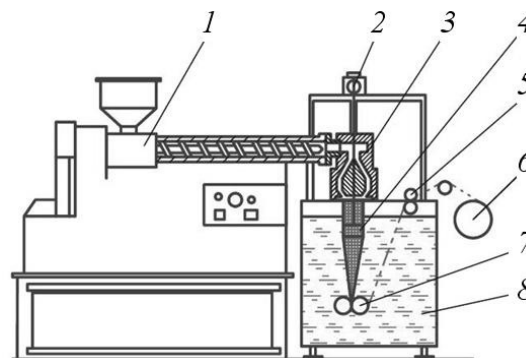


Рис. 7. Схема технологической линии по производству полимерных сеток фирмы "Рикаль": 1 – экструдера; 2 – привод вращения фильерной головки; 3 – угловая сеточная головка; 4 – ширинная оправка; 5, 7 – тянущие и направляющие вальцы, соответственно; 6 – намоточное устройство; 8 – ванна охлаждения.

Китайская фирма Taian modern plastic Co., Ltd [7] выпускает несколько видов технологических линий по производству полимерных сеток, в том числе:

- экструзионную линию для производства плоских полимерных сеток с ромбическими ячейками из полиэтилена низкого давления (из рукавной сетки-заготовки); основу линии составляет одночервячный экструдер с диаметром червяка 65 мм и отношением длины его рабочей части к диаметру 25:1, частота вращения червяка – 10...90 об/мин; диаметр формующей щели кольцевой вращающейся экструзионной сеточ-

ной головки составляет 230 мм, максимальная ширина получаемой сетки – 2200 мм, скорость намотки сетки – до 4,3 м/мин;

- экструзионные линии для производства одно- и двухосно-ориентированных полимерных геосеток, получаемых вырубкой части рулонного материала с образованием ячеек и последующей одно- или двухосной ориентации [8]; каждая из линий включает червячный экструдер с переходником и экструзионной головкой, трёхвалковый каландр, охлаждающее устройство отформованной сетки-заготовки, натяжное устройство, вырубную машину, устройство продольной ориентации; устройство предварительного нагрева с формующим валком, устройство поперечной ориентации, охлаждающее устройство отформованной сетки, намоточное устройство с устройством для поперечной резки для получения рулона сетки определённой длины, систему управления; ширина получаемых геосеток (в зависимости от назначения) – от 1800 до 6000 мм, габаритные размеры линии – 80х11х4,8 м; установочная мощность – 315...550 кВт; годовая производительность – до 4000 т.

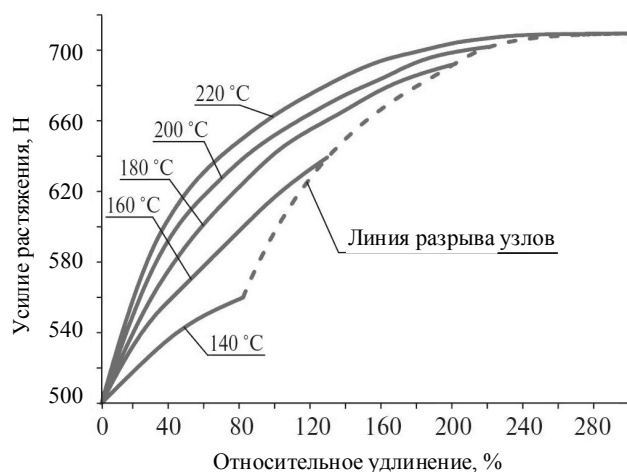


Рис. 8. Зависимость усилия растяжения сетки от её относительного удлинения при различной температуре расплава ПЭВД марки 15803-020 (ГОСТ 16337-77).

Кроме технологических линий и агрегатов для изготовления полимерных сеток непосредственно из расплава термопласта разработаны и изготовлены машины для изготовления полимерных сеток скручиванием предварительно полученных стренг (нитей, полос и т.д.) [9–11]. Такие сетки получили широкое применение в качестве упаковочных материалов для транспортировки и хранения сельскохозяйственной продукции. Сами же машины для изготовления таких сеток, получаемых сплетением, во многом аналогичны соответствующему оборудованию, применяемому в лёгкой промышленности.

Наибольшее распространение в промышленных масштабах получили полимерные сетки, полученные методом экструзии расплава через продольные отверстия в соосно-расположенных и вращающихся в противоположных направлениях фильерах, а также внешним соединением стренг между собой [8]. Тем не менее, в публикациях по технологии этих изделий практически отсутствуют сведения, касающиеся исследования прочности соединения стренг между собой в местах их взаимного пересечения. В этой связи авторами была исследована работа экспериментальной экструзионной установки с диаметром червяка 60 мм и отношением длины червяка к диаметру 20:1. Перерабатываемым материалом был полиэтилен высокого давления (ПЭВД) марки 15803-020 ГОСТ 16337. Экструзионная головка для формирования за-

готовки сетки аналогична кольцевой головке фирмы "NSW" со следующими параметрами: диаметр матрицы – 50 мм; диаметр отверстий – 0,85 мм; количество отверстий – 50; диаметр ширильного диска – 80 мм; частота вращения головки – 8 об/мин; скорость вытяжки сетки – 8 м/мин; степень ориентации сетки – 4.

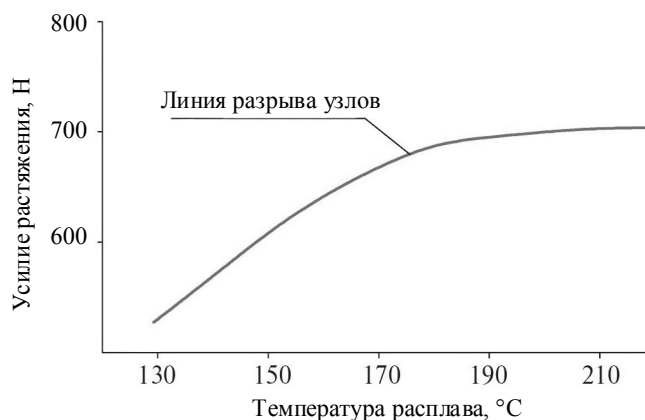


Рис. 9. Зависимость усилия разрыва узлов сетки от температуры расплава ПЭВД марки 15803-020 (ГОСТ 16337-77).

Прочность сварных узлов определялась на разрывной машине РПМ-50. С этой целью из сетки в её продольном направлении вырезался фрагмент длиной 100 мм. Для предупреждения пережатия стренг в захватах машины концы сетки зажимались через кожаные прокладки. Опыты проводились при скорости перемещения захватов 65 мм/мин. Анализировались элементы сетки, образованные двумя стренгами, имеющими взаимное пересечение (т.е. узлы). Образцом, выдержавшим испытания, считался тот, который при растягивании не разрывался в месте соединения стренг (т.е. узлы которого сохраняли свою целостность). Исследование влияния температуры расплава на прочность соединения проводилось на образцах, изготовленных при разной температуре расплава в диапазоне от 130 до 220 °C. При этом усилие, необходимое для разрыва узла сетки, с повышением температуры расплава возрастало (рис. 8, 9). До температуры расплава 180 °C вследствие расслаивания мест взаимного контакта (нахлестки) стренг образцы разрывались в узле. С увеличением температуры прочность соединения стренг между собой возрастает, но при этом в местах их соединения очертания отдельных стренг размывались активнее, а структура узла постепенно приближалась к монолиту (рис. 10).

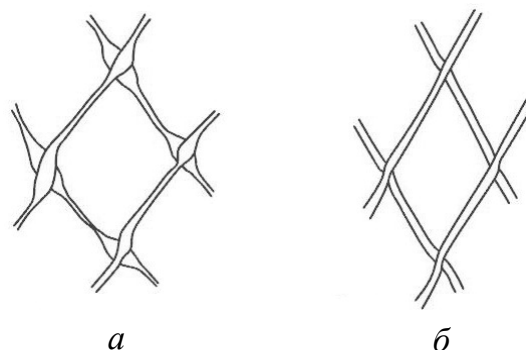


Рис. 10. Различные формы ячеек сетки из ПЭВД марки 15803-020 (ГОСТ 16337-77) после ориентации: а - высокотемпературный режим (160-220 °C); б - низкотемпературный режим (130-150 °C)

При ориентации сеток, сформированных из высокотемпературного расплава, стренги вытягиваются с образованием "шей-

ки" на участках стренг между узлами (т.е. в средних частях сторон ромба), а сам узел участия в процессе вытяжки практически не принимает (рис. 10,а). Прочность сеток при этом возрастает, сама сетка из матовой превращается в прозрачную и блестящую, а узлы принимают вид монолитных горошин.

Сетки, полученные из низкотемпературного расплава, не подлежат ориентации вследствие слабой связи стренг в узле: сетка при этом вытягивается, как пучок нитей, не связанных друг с другом. В этом случае "шейка" между узлами не образуется, а сами узлы нередко разрушаются (рис. 10,б).

В третьей части статьи рассмотрены типовые технологические линии для получения рукавных и плоских полимерных сеток на базе червячных экструдеров. Следует отметить, что рассмотренные линии также могут быть укомплектованы и другими единицами оборудования, назначение которых определяется конструкцией и размерами получаемых сеток. К такому специфическому оборудованию, прежде всего, можно отнести устройства для специфического соединения отформованных стренг в сеточное полотно.

Широкое использование сеток из полимеров обуславливают необходимость постоянного развития и усовершенствования технологий и оборудования для их производства. Анализ известных способов и устройств для изготовления полимерных сеток показал, что наиболее рациональными на данном этапе являются способы экструзии расплава через каналы в соосно-расположенных фильерах (вращающихся или осциллирующих). Реализация этих способов позволяет получить достаточно широкий ассортимент сеток.

При этом основные тенденции технического развития технологий и оборудования для производства полимерных сеток обусловлены сложной совокупностью технологических, энергетических и экономических факторов. Наиболее вероятные пути решения этой проблемы – модульный подход при создании новой техники, использование новых полимеров и композиций на их основе, а также комплектация технологических линий в целом и их отдельных единиц оборудования эффективными средствами автоматизации.

Литература

1. Микулёнок И.О., Петухов А.Д. Полимерные сетки. Часть 1. Классификация и области применения // Пластические массы. 2017. № 9–10. С. 37–43.
2. Микулёнок И.О. Классификация процессов и оборудования для производства непрерывных изделий из термопластичных материалов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2015. № 1. С. 11–14.
3. Микулёнок И.О. Смесительные и диспергирующие элементы червячных экструдеров // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2013. № 2. С. 26–30.
4. Петухов А.Д., Четвертухин И.В. Оборудование для изготовления полимерных сеток: [обзор. информ.]. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1977. 29 с. (Серия ХМ-2 "Оборудование для переработки пластмасс и резины").
5. Integrator-99. Оборудование для производства пластиковой сетки GSB-Z1000. URL: http://integrator.by/equip_line_setka.html (дата обращения 19.01.2017).
6. Пат. РФ 2333101, МПК(2006.01) B29B 28/00. 2008.
7. Taian modern plastic Co., Ltd. URL: <http://www.tamodern.com.cn> (дата обращения 19.01.2017).
8. Микулёнок И.О., Петухов А.Д. Полимерные сетки. Часть 2. Методы изготовления и оборудование для формования // Пластические массы. 2018. № 1-2. С. 48–53.
9. Пат. РФ 2508423, МПК(2006.01) D04C 5/06. 2014.
10. Международная заявка WO2011/073730A1, МПК(2006.01) D04C 5/06, 2011.
11. Заявка США US2012/261075A1, МПК(2006.01) B29C 70/24, 2012.