

УДК 677.494.742.3

БУДАШ Ю. О.

Київський національний університет технологій та дизайну

ВДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ АЕРОДИНАМІЧНОМУ ФОРМУВАННІ ПП ВОЛОКОН

Мета. Підвищення фізико-механічних характеристик ПП волокон за рахунок удосконалення конструкції шахти та умов охолодження струменів при фільтрному витягуванні.

Методика. Отримання ПП волокон здійснювали методом екструзії на промисловій екструдерній лінії для виробництва нетканих матеріалів аеродинамічним способом фірми «Rhone Poulenc Fibers». Фізико-механічні характеристики волокон визначали за стандартними методами випробувань. Для визначення діаметру волокон використовували метод оптичної мікроскопії з наступним аналізом зображень та статистичною обробкою даних.

Результати. Визначені основні технологічні фактори, що впливають на фізико-механічні властивості ПП волокон і нетканих матеріалів, що отримують аеродинамічним методом формування. Запропонована вдосконалена конструкція шахти охолодження, яка може забезпечити зростання відносної міцності сформованих ПП волокон ~ на 28% в порівнянні зі стандартною шахтою.

Наукова новизна. Визначена залежність діаметру ПП волокон та їх фізико-механічних характеристик, отриманих в умовах аеродинамічного методу формування від способу їх охолодження при фільтрному витягуванні.

Практична значимість. Використання вдосконаленої конструкції шахти охолодження може забезпечити підвищення міцнісних властивостей ПП волокон і, як наслідок, покращення якості НМ, що отримують аеродинамічним методом формування.

Ключові слова: нетканий матеріал, волокно, ежектор, поліпропілен, аеродинамічне формування, Spunbond.

Одним з найбільш швидкозростаючих продуктів серед нетканих матеріалів (НМ) на світовому ринку є матеріали, що отримують аеродинамічним методом за технологією «Spunbond» [1-3]. Особливістю цього методу є реалізація екструзії, формування, фільтрного витягування волокон, утворення нетканого полотна та його скріплення в неперервному процесі.

Залежно від поверхневої щільності, НМ вироблені за цією технологією, мають широкий спектр споживання:

- виробництво виробів медичного й санітарно-гігієнічного призначення;
- геотекстильні матеріали (будівництво доріг, зміцнення берегів річок);
- у меблевій промисловості.

Сучасні дослідження в цьому напрямку стосуються вдосконалення процесів формування та скріплення полотен [4, 5], моделювання окремих стадій формування волокон [6-8], одержання волокон із полімерних сумішей [9] та біодеградабельних полімерів [10].

Вказане вище зумовлює доцільність проведення досліджень в області отримання волокон та нетканих матеріалів аеродинамічним методом.

Постановка завдання. Можна виділити декілька основних технологічних факторів, що впливають на фізико-механічні властивості волокон і НМ, що отримують таким методом:

- властивості полімеру, що використовується для формування (спосіб одержання, показник текучості розплаву, молекулярно-масовий розподіл);
- температурні умови процесу екструзії;
- об'ємна витрата розплаву на робоче місце;
- кількість, розміщення та геометричні параметри формуючих отворів фільтри;
- умови фільтрної витяжки струменів (кратність фільтрної витяжки (КФВ) та довжина зони фільтрного витягування);
- умови охолодження волокон при фільтрній витяжці (спосіб подачі повітря та розмір зони охолодження, об'єм, температура, вологість і напрямок руху повітря, що подається на охолодження).
- конструкція аеродинамічного ежектора, тиск, температура та вологість повітря, що в нього подається.
- умови транспортування пучка волокон на ділянці ежектор - дефлектор.
- параметри процесу формування нетканого полотна дефлекторами.
- параметри процесу скріплення полотна.

Мета роботи – підвищення фізико-механічних характеристик ПП волокон за рахунок удосконалення конструкції шахти та умов охолодження струменів при формуванні та фільтрному витягуванні.

Методологія досліджень.

Основною сировиною для отримання НМ був ізотактичний поліпропілен «Толен» марки 21270Д-16К з ПТР (230°C, 21,17 Н) 27 г/10 хв (ПП). Зразки ПП волокон та волокнистих матеріалів були отримані на промисловій екструдерній лінії для виробництва нетканих матеріалів аеродинамічним способом (метод «Spunbond», мультиежекторна система «Doran») фірми «Rhone Poulenc Fibers», що встановлена на ВАТ «Пінема» (Білорусь). Умови формування волокон наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Технологічні параметри формування ПП волокон за способом «Doran»

№ п/п	Показник	Значення
1	Температура зон екструдера, °С	230-250
2	Температура на виході з екструдера, °С	250
3	Температура балки формування, °С	265
4	Тиск на вході дозуючого насоса, кг/см ²	30
5	Дозуючий насос НШ-30, продуктивність, см ³ /хв	510
6	Число обертів дозуючого насоса, об/хв	17
7	Фільтра. Число отворів/діаметр капіляра(мм)/(L/D)	160/0,55/2
8	Витрата повітря охолодження, м ³ /год	500
9	Температура повітря охолодження, °С	20
10	Відносна вологість повітря охолодження, %	70
11	Тиск повітря в ежекторі, не більше, кгс/см ²	6
12	Відстань фільтра - ежектор, м	3,5
13	Температура повітря в ежекторі, °С	25

Для визначення фізико-механічних характеристик окремих філаментів використовували мікротестер «Instron 5942». Система привода з високоточним вимірюванням навантаження дозволяє проводити випробування в низькому діапазоні значень навантаження (від 2 мН). Для визначення фізико-механічних характеристик пучків ПП волокон використовували розривну машину РМ-3-1 при постійній (100 мм/хв) швидкості опускання нижнього затиску. Для одного зразка проводили не менше 30-ти паралельних вимірів. При цьому, відносна похибка середнього арифметичного (довірча ймовірність 0,95) не перевищувала 5%. Для визначення діаметру волокон використовували метод аналізу зображень з наступною статистичною обробкою отриманих даних.

Результати дослідження. В мультиежекторному способі «Dosaп», розтягнення струменів відбувається під дією високошвидкісного потоку повітря, створюваного аеродинамічним ежектором, в який заправляються волокна після шахти охолодження. Затвердіння волокон повністю закінчується до їх надходження в ежектор. Пучок волокон, що виходить з ежектора розподіляється на сітковому транспортері за допомогою механічних пристроїв у вигляді лопаток (дефлекторів), які на високій швидкості розкладають волокна на приймаючому транспортері. Процес охолодження волокон за системою «Dosaп» здійснюється за допомогою спеціальної шахти, встановленої безпосередньо під фільтерою. У цій схемі, режим охолодження пучка струменів, що витікають із фільтери, визначається умовами в шахті, де за рахунок радіальної обдувки повітрям може бути створено температурне поле з регульованим градієнтом.

В роботі запропоновано кілька варіантів експериментальних конструкцій охолоджувальних шахт, що розміщувались безпосередньо під фільтерним комплектом. Загалом, випробувані 4 варіанти конструкцій (рис. 1):

1. Стандартна шахта радіальної обдувки (ОС) у вигляді одношарової циліндричної сітки з перфорованого листа (рис. 1а).

2. Шахта радіальної обдувки у вигляді тришарової металевої сітки просічно-втяжного типу (РОТШ). Стінки комірок у сітці просічно-втяжного типу розташовані під кутом до поверхні, що сприяє певному напрямку руху охолоджуючого повітря, що подається через неї. Розмір комірок сіток (від внутрішнього до зовнішнього циліндра) - 1,5x4,0 мм – >2.0x8.0 мм →3,2x13,4 мм (рис. 1б).

3. Шахта поперечної обдувки (ПО), у вигляді прямокутного короба. Одна з сторін короба була виконана з перфорованого сталюого листа Rv 5-7 і слугувала для підведення охолоджувального повітря перпендикулярно пучку струменів, що формувались (рис. 1в).

4. Шахта радіальної обдувки (РОПЦ), що представляла собою подвійний циліндр з перфорованого сталюого листа Rv 5-7, та Rg 8-12 (внутрішній та зовнішній шар відповідно). В міжциліндровому просторі розміщувались направляючі елементи у вигляді усіченого конусу, що забезпечували подачу охолоджувального повітря через внутрішній шар шахти під заданим кутом (~45°) до напрямку руху пучка волокон. (рис. 1г).

Результати досліджень впливу конструкції шахти охолодження на фізико-механічні властивості волокон представлені в табл. 2 та на рис. 2.

Таблиця 2.

Фізико-механічні властивості ПП волокон, одержаних при різних способах охолодження

Варіант	Конструкція шахти охолодження	Середній діаметр філаменту, мкм	Лінійна густина, текс	Абс. міцність філам., гс	Розр. подовження, %	Відн. міцність, мН/текс
а	Рад. обдувка, одношарова сітка	27.8	0.55	12.2	190	216.7
б	Рад. обдувка, трьохшарова сітка	29.1	0.61	13	125	210.7
в	Поперечна обдувка	25.9	0.48	10.1	170	206.7
г	Рад. обдувка, подвійний циліндр	24.1	0.41	11.5	105	271.8

З представлених даних видно, що для варіантів обдувки а–в суттєвих змін міцнісних характеристик волокон не спостерігається. Помітне зменшення розривного подовження по відношенню до стандартного способу обдувки спостерігається тільки при використанні трьохшарової сітки в шахті охолодження (варіант б).

Найбільше значення відносної міцності, а також найменше значення розривного

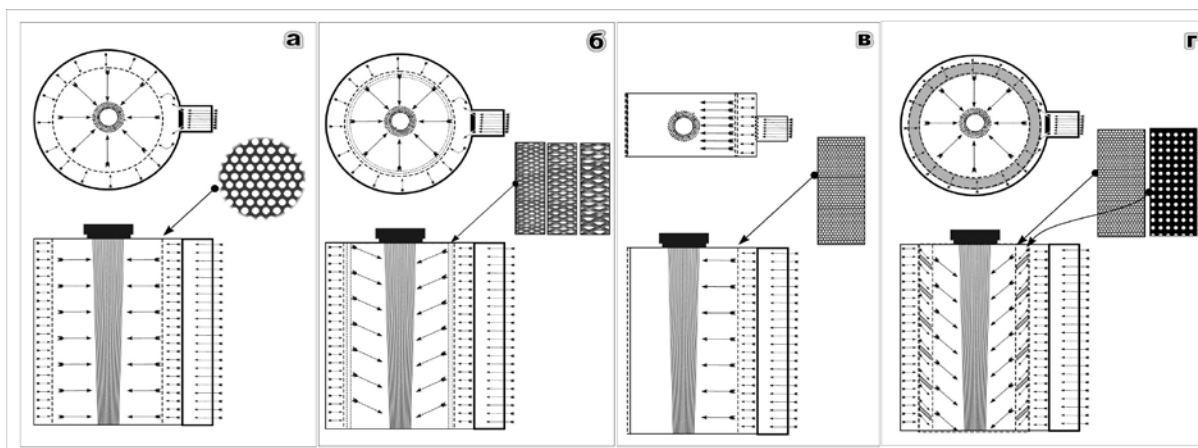


Рис.1. Експериментальні конструкції шахт охолодження ПП волокон: а) радіальна обдувка, одношарова сітка; б) радіальна обдувка, трьохшарова сітка; в) поперечна обдувка; г) радіальна обдувка, подвійний циліндр з направляючими елементами

подовження спостерігається при використанні шахти у вигляді подвійного циліндра з перехідними отворами та направляючими елементами. В цьому випадку, відносна міцність сформованих ПП волокон, приблизно на 28% більша, ніж при використанні стандартної шахти.

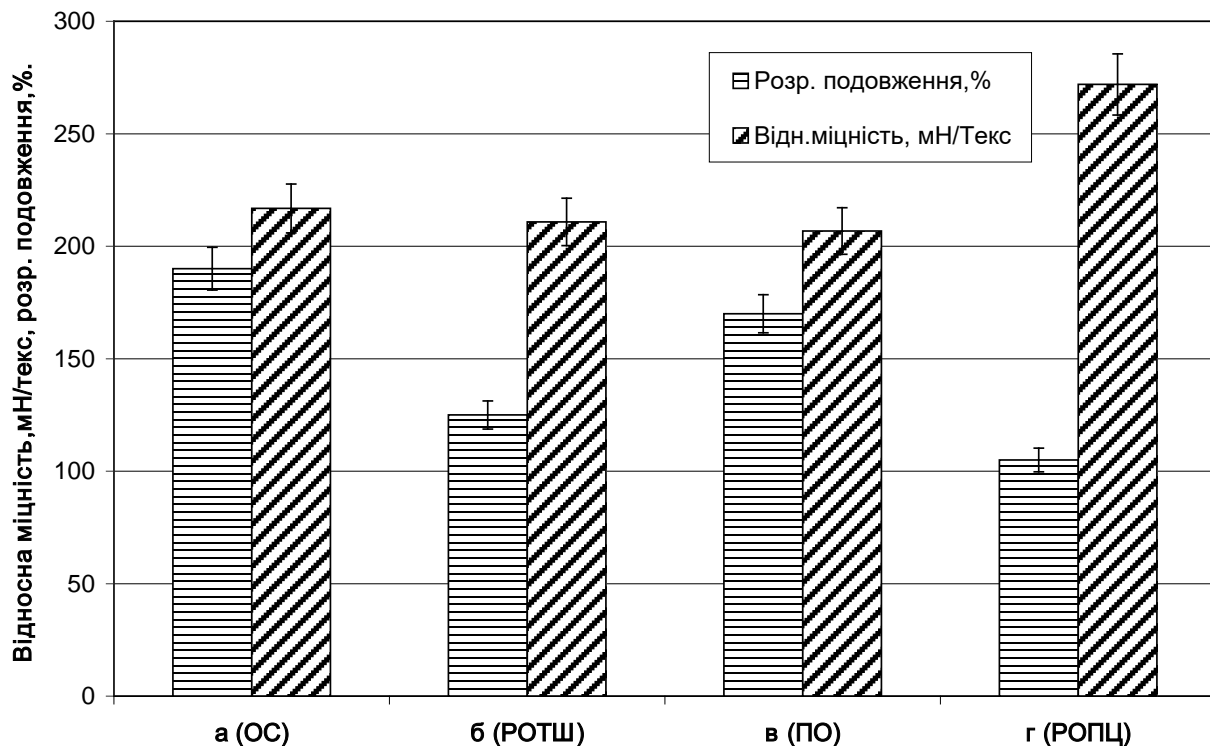


Рис.2. Вплив конструкції шахти охолодження на фізико-механічні властивості ІІІ волокон

Звертає на себе увагу те, що для варіанту обдувки (г) спостерігається також найменше серед досліджених конструкцій значення лінійної густини сформованих філаментів. Це є свідченням реалізації при даних умовах формування найбільшого значення КФВ волокон.

Слід зазначити, що на відміну від традиційного способу формування волокон, в якому швидкість прийому жорстко задається, швидкість відведення волокон при аеродинамічному формуванні не є величиною фіксованою. Вона визначається трьома основними факторами:

- реологічними властивостями розплаву, що витікає з формуючого отвору;
- зусиллям, яке прикладається до пучка волокон при дії на нього струменя стисненого повітря в аеродинамічному ежекторі;
- напруженням, що виникає в струмені, в процесі фільтрального витягування та охолодження на ділянці фільтра - ежектор.

Останній комплексний фактор є відображенням складного динамічного процесу подовжнього розтягання струменя в умовах зміни його температури і протікання в ньому структуроутворення в процесі охолодження.

Найбільше значення відносної міцності та найменші значення розривного подовження й лінійної густини волокон, які реалізуються для варіанту (г) шахти охолодження, можуть бути наслідком більш якісних умов радіальної обдувки при використанні розподільчих і направляючих елементів в її конструкції.

Треба підкреслити, що забезпечення якісних рівномірних умов радіальної обдувки вимагає створення певного перепаду тиску між внутрішньою й зовнішньою частинами шахти охолодження. Це вимагає врахування, при використанні на одному агрегаті формування шахт різних конструкцій, необхідності забезпечення певної об'ємної витрати повітря, та

виключити можливість його перерозподілу на стандартні місця із суттєво меншим опором потоку.

Таким чином, запропонована конструкція шахти охолодження при формуванні ПП волокон у вигляді подвійного перфорованого циліндра з направляючими елементами, дозволяє забезпечити більш високі міцнісні показники волокон, в порівнянні з традиційним способом охолодження.

Підвищення фізико-механічних характеристик ПП волокон, що одержують аеродинамічним методом, можливе також за рахунок регулювання інших технологічних параметрів процесу формування. Це може бути предметом подальших досліджень у цьому напрямку.

Висновки. Визначені основні технологічні фактори, що впливають на фізико-механічні властивості ПП волокон і нетканих матеріалів, які отримують аеродинамічним методом формування.

Запропонована вдосконалена конструкція шахти охолодження у вигляді подвійного перфорованого циліндра з направляючими елементами, яка може забезпечити зростання відносної міцності сформованих ПП волокон ~ на 28% в порівнянні зі стандартною шахтою.

Подяка

Автор статті щиро дякує к.т.н. Маласаю Д. П. за допомогу у проведенні досліджень та участь у обговоренні результатів.

Список використаної літератури

1. Russell S. J. Handbook of nonwovens / S. J. Russell. — CRC Press, 2007. — 530 p.
2. Chapman R. Applications of nonwovens in technical textiles / R. Chapman. — Woodhead Publishing in association with the Textile Institute, 2010. — 212 p.
3. Lim H. A review of spunbond process / H. Lim // Journal of Textile and Apparel, Technology and Management. — 2010. — Vol. 6, No. 3. — P. 1–13.
4. Battocchio F. Fibre behaviour in the spunbonding process. Part I: characterisation of air flow and fibre motion in the diffuser / F. Battocchio, M. Sutcliffe, F. Teschner // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. — 2015.
5. Fedorova N. Strength optimization of thermally bonded spunbond nonwovens / N. Fedorova, S. Verenich, B. Pourdeyhimi // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. — 2007. — Vol. 2. — P. 38–48.
6. Battocchio F. Fibre behaviour in the spunbonding process. Part II: modelling fibre dynamics in the diffuser / F. Battocchio, M. Sutcliffe, F. Teschner // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. — 2017. — Vol. 231, No. 3. — P. 407–417.
7. Zhao B. Modeling polypropylene polymer air drawing in the spunbonding nonwoven process / B. Zhao // International Journal of Clothing Science and Technology. — 2014. — Vol. 26, No. 2. — P. 184–194.
8. Zhao B. Predicting the fiber diameter of spunbonding nonwovens fabrics by means of physical model, statistical method and artificial neural network theory / B. Zhao // International Journal of Clothing Science and Technology. — 2015. — Vol. 27, No. 2. — P. 262–271.

9. Wang M. The influence of drawing pressure on the properties of PET/PA6 bicomponent spunbonded fibers / M. Wang, B. Yu, J. Han[et al.] // Journal of Industrial Textiles. — 2017. — Vol. 46, No. 5. — P. 1281–1293.

10. Liu Q. Structure and mechanical property of polylactide fibers manufactured by air drawing / Q. Liu, Y. Sun, S. Xia[et al.] // Textile Research Journal. — 2016. — Vol. 86, No. 9. — P. 948–959.

References

1. Russell S. J. Handbook of nonwovens / S. J. Russell. — CRC Press, 2007. — 530 p.
2. Chapman R. Applications of nonwovens in technical textiles / R. Chapman. — Woodhead Publishing in association with the Textile Institute, 2010. — 212 p.
3. Lim H. A review of spunbond process / H. Lim // Journal of Textile and Apparel, Technology and Management. — 2010. — Vol. 6, No. 3. — P. 1–13.
4. Battocchio F. Fibre behaviour in the spunbonding process. Part I: characterisation of air flow and fibre motion in the diffuser / F. Battocchio, M. Sutcliffe, F. Teschner // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. — 2015.
5. Fedorova N. Strength optimization of thermally bonded spunbond nonwovens / N. Fedorova, S. Verenich, B. Pourdeyhimi // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. — 2007. — Vol. 2. — P. 38–48.
6. Battocchio F. Fibre behaviour in the spunbonding process. Part II: modelling fibre dynamics in the diffuser / F. Battocchio, M. Sutcliffe, F. Teschner // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. — 2017. — Vol. 231, No. 3. — P. 407–417.
7. Zhao B. Modeling polypropylene polymer air drawing in the spunbonding nonwoven process / B. Zhao // International Journal of Clothing Science and Technology. — 2014. — Vol. 26, No. 2. — P. 184–194.
8. Zhao B. Predicting the fiber diameter of spunbonding nonwovens fabrics by means of physical model, statistical method and artificial neural network theory / B. Zhao // International Journal of Clothing Science and Technology. — 2015. — Vol. 27, No. 2. — P. 262–271.
9. Wang M. The influence of drawing pressure on the properties of PET/PA6 bicomponent spunbonded fibers / M. Wang, B. Yu, J. Han[et al.] // Journal of Industrial Textiles. — 2017. — Vol. 46, No. 5. — P. 1281–1293.
10. Liu Q. Structure and mechanical property of polylactide fibers manufactured by air drawing / Q. Liu, Y. Sun, S. Xia[et al.] // Textile Research Journal. — 2016. — Vol. 86, No. 9. — P. 948–959.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ ФОРМОВАНИИ ПП ВОЛОКОН БУДАШ Ю. А.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Повышение физико-механических характеристик ПП волокон за счет усовершенствования конструкции шахты и условий охлаждения струй при фильерном вытягивании.

Методика. Получение ПП волокон осуществляли методом экструзии на промышленной линии для производства нетканых материалов аэродинамическим способом. Физико-механические характеристики волокон определяли стандартными методами

испытаний. Для определения диаметра волокон использовали методы оптической микроскопии, анализа изображений и статистической обработки данных.

Результаты. Определены основные технологические факторы, влияющие на физико-механические свойства ПП волокон и нетканых материалов, получаемых аэродинамическим методом формования. Предложена усовершенствованная конструкция шахты охлаждения, которая может обеспечить увеличение относительной прочности волокон ~ на 28% в сравнении со стандартной шахтой.

Научная новизна. Определена зависимость диаметра ПП волокон и их физико-механических характеристик, полученных в условиях аэродинамического формования, от способа их охлаждения при фильерном вытягивании.

Практическая значимость. Использование усовершенствованной конструкции шахты охлаждения может обеспечить повышение прочностных свойств ПП волокон и, как следствие, улучшение качества нетканых материалов, получаемых аэродинамическим методом формования.

Ключевые слова: нетканый материал, волокно, эжектор, полипропилен, аэродинамическое формование, Spunbond.

IMPROVEMENT OF THE COOLING METHOD OF HIGH-SPEED AERODYNAMIC FORMATION OF PP FIBERS

BUDASH Yu. O.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Increase of mechanical characteristics of PP fibers due to improvement of mine design and cooling conditions of jets during spun drawing.

Method. The production of PP fibers was carried out by extrusion on an industrial line for the production of non-woven materials by the aerodynamic method. The physical and mechanical characteristics of the fibers were determined by standard test methods. To determine the fiber diameter, optical microscopy, image analysis and statistical data processing were used.

Results. The main technological factors affecting the physical and mechanical properties of PP fibers and nonwoven materials produced by the aerodynamic molding method are determined. An improved design of the cooling shaft is proposed, which can provide an increase in the relative strength of the fibers ~ by 28% in comparison with the standard shaft.

Scientific innovation. The dependence of the diameter of the PP fibers and their characteristics obtained under the conditions of aerodynamic formation on the method of their cooling during spun drawing is determined.

Practical value. The use of an improved design of the cooling shaft can improve the strength properties of PP fibers and improve the quality of nonwoven materials produced by the aerodynamic formation method.

Keywords: nonwoven fabric, fiber, ejector, polypropylene, aerodynamic formation, spunbond.