

УДК 677.08.002.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ НЕТКАНОГО ПОЛОТНА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ LAP FORMAIR

Е.Л. Зимица, Н.В. Ульянова

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

*Исследовано влияние различных факторов на волокнистый холст во время его движения в секции охлаждения технологической линии LAP FORMAIR. Рассмотрено действие сил на холст со стороны каландра при его формировании. Установлена дифференциальная зависимость между начальной площадью сечения потока волокнистого материала, режимами работы выпускного каландра и выходными геометрическими параметрами готового полотна. Получены математические зависимости, позволяющие определить геометрические параметры нетканого материала.*

Объективной возможностью решения проблемы обращения с отходами производства является своевременная их переработка с целью вторичного использования. В текстильной промышленности вопрос вторичного использования отходов для изготовления различных полотен является перспективным направлением для науки, общества и бизнеса [1-3].

ООО «Акотерм Флакс» (г. Ореховск, Беларусь) оснащено современной технологической линией по выпуску нетканых материалов (НМ) компании «Cormatex», системой Air/au, получившей название Lap FormAir, в связи с чем возникла необходимость детального исследования технологических процессов производства продукта [4].

Одним из важных участков производства НМ, где закладываются их основные свойства, является участок формирования холста в зоне охлаждения, где происходит процесс окончательной фиксации нетканого полотна по толщине (рис. 1) путем уплотнения холста прижимным выпускным каландром к нижней металлической пластине. Скрепление волокнистых пучков в холсте осуществляется в печи при воздействии температуры за счет расплава связующих волокон. Толщина полотна регулируется путем изменения разводки между каландром и неподвижной пластиной. При этом, чем меньше толщина материала, тем больше его поверхностная плот-

ность, т.е. под давлением строение волокнистого холста изменяется [5, 6].

Технические характеристики печи термоскрепления следующие: рабочая ширина – 3400 мм; количество камер термоскрепления – 4 (общая длина 9000 мм); нагрев – с помощью двух газовых горелок прямого нагрева; количество конвейеров – 2 (верхний – для калибровки, нижний – для транспортировки волокон); максимальное расстояние между конвейерами – 250 мм; линейная скорость – до 25 м/мин; циркуляция воздуха – контролируемый цикл вдувания/всасывания; направление воздушного потока – двунаправленное в каждой камере (всего 8 разных направлений); рабочая температура – 80-220 °С.

Объектом исследования в работе являлся технологический процесс формования нетканого полотна из текстильных отходов различного волокнистого состава. Цель работы заключалась в получении математических зависимостей, позволяющих определить геометрические параметры готового нетканого материала.

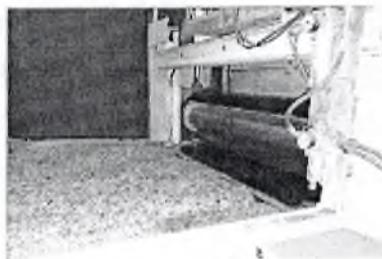


Рис. 1. – Секция охлаждения и фиксации полотна по толщине

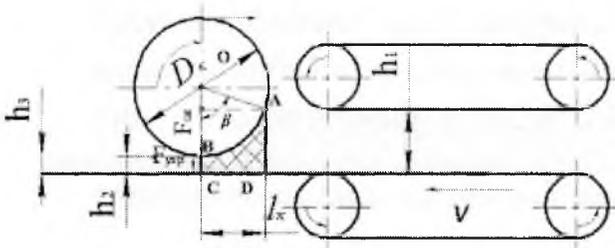


Рис. 2. Движение волокнистого холста в секции охлаждения

Известно, что в технологии НМ к явлениям, приводящим к уплотнению продукта, относят сближение частиц, заполнение промежутков между ними и объемное сжатие. В процессах формообразования изделий уплотнение материала происходит в результате упругой и пластической деформации наполнителя, вязкого течения матричной жидкости и ее перколяции через поровое пространство. Источниками давления являются как приложенные внешние силы, так и поверхностное натяжение матричной жидкости [7-9].

Экспериментально установлено, что на начальной стадии формирования холста волокнистые частицы при воздействии температуры в печи контактируют между собой, создавая каркас стохастической структуры. При выходе из печи в зону охлаждения волокнистый холст толщиной  $h_1$  втягивается в зазор между каландром и металлической пластиной силой трения  $T$  (рис. 2), возникающей между поверхностью холста и поверхностью каландра, и сжимается до толщины  $h_2$ . На выходе из каландра под действием силы упругости материал приобретает толщину  $h_3$ .

Изменение толщины волокнистого холста в процессе деформирования приводит к изменению доли объема, занимаемого воздухом. Относительная продольная деформация участка холста ( $\epsilon_{\text{прод}}$ ), попадающего под каландр, связана соотношением между толщиной холста на выходе из печи до деформации и толщиной холста под каландром после деформации

$$\epsilon_{\text{прод}} = (h_1 - h_2)/h_1 = \Delta h/h_1, \quad (1)$$

где  $h_1, h_2$  – толщина холста на выходе из печи до деформации и после деформации под каландром, м.

Соответственно относительная поперечная деформация ( $\epsilon_{\text{поп}}$ ) равна

$$\epsilon_{\text{поп}} = (a_1 - a_2)/a_1 = \Delta a/a_1, \quad (2)$$

где  $a_1, a_2$  – ширина холста на выходе из печи до деформации и после деформации под каландром, м.

Среднюю ширину ( $a_{\text{ср}}$ ) и среднюю толщину ( $h_{\text{ср}}$ ) образца можно рассчитать как

$$a_{\text{ср}} = (a_1 + a_2)/2, \quad h_{\text{ср}} = (h_1 + h_3)/2, \quad (3)$$

где  $h_3$  – толщина полотна с учетом остаточной деформации, м.

Тогда коэффициенты сжатия ( $k_{\text{сж}}$ ) и уширения ( $k_{\text{ушир}}$ ) составят соответственно:

$$k_{\text{сж}} = h_1/h_2, \quad k_{\text{ушир}} = a_2/a_1. \quad (4)$$

Под весом каландра поверхность холста деформируется, и контакт происходит по некоторой площадке длиной  $l_k$ , м (длина очага деформации)

$$l_k = \sin \beta (D_k / 2), \quad (5)$$

где  $\beta$  – угол обхвата каландра волокнистым слоем, град;  $D_k$  – диаметр каландра, м.

Тогда объем волокнистого материала ( $Q_{\text{вмк}}, \text{м}^3$ ), попадающий под каландр, равен

$$Q_{\text{вмк}} = h_1 a_1 R_k \sin \beta, \quad (6)$$

где  $R_k$  – радиус каландра, м.

Относительное сжатие зависит от угла обхвата каландра волокнистым слоем, толщина которого зависит от высоты холста на выходе из печи до деформации  $h_1$  и расстояния между каландром и пластиной при условии, что диаметр каландра  $D_k = \text{const}$ .

При воздействии каландра обжимаемый волокнистый материал деформируется по периметру, т.е. получаем смещенный новый объем

$$Q_{\text{вмкс}} = (h_1 - h_2) l_k = \Delta h_1 a_1 R_k \sin \beta. \quad (7)$$

Относительный (удельный) смещенный объем ( $Q_v$ ) равен относительной продольной деформации:

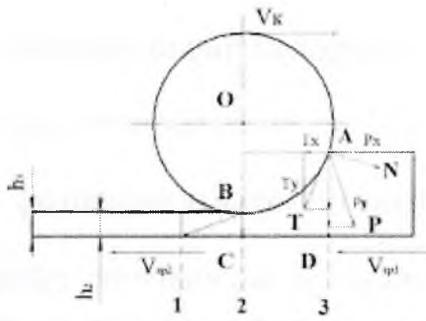


Рис. 3. Схема действия сил на волокнистый материал со стороны каландра

$$Q_y = Q_{\text{вмкс}} / Q_{\text{вмк}} = \Delta h a_1 R_k \sin \beta / h_1 a_1 R_k \sin \beta = \Delta h / h_1 = \varepsilon_{\text{прод}} \quad (8)$$

Контакт волокнистого холста с каландром осуществляется по дуге АВ – дуге захвата, а зона, ограниченная плоскостью входа АД, выхода ВС, дугой захвата и пластиной – есть зона деформации (рис. 3).

По мере продвижения холста вглубь зоны деформации точка приложения нормальной силы передвигается по направлению к плоскости выхода волокнистого материала из каландра. Так как волокнистый материал является упруго-пластичным, нормальной силе в зоне деформации со стороны волокнистого материала противодействует сила упругости, равная, согласно закону Гука [10]

$$F_{\text{упр}} = k_{\text{ж}} \Delta h, \quad (9)$$

где  $k_{\text{ж}}$  – коэффициент жесткости, Н/м.

Таким образом, масса волокнистого материала в сечениях 1, 2 и 3 соответственно равна  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_3$  и в любом из сечений элементарной пробы постоянна, так как по пути движения при входе под каландр и при выходе из него не расходует и дополнительно не поступает. То есть в какой-либо момент через сечение 1 прошло  $m_1$  волокнистого материала (в кг) и такое же количество в тот же момент времени пройдет через сечения 2 и 3.

Следовательно, правомерно воспользоваться уравнением постоянства масс

$$m_1 = m_2 = m_3 = \text{const}. \quad (10)$$

Запишем уравнение постоянства расхода как

$$\rho v S = \text{const}, \quad (11)$$

где  $\rho$  – объемная плотность потока, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  – скорость потока, м/с;  $S$  – площадь сечения потока, м<sup>2</sup>.

Из уравнения (11) следует:

$$\rho_1 v_1 a_1 h_1 = \rho_2 v_2 a_2 h_2 = \rho_3 v_3 a_3 h_3. \quad (12)$$

Тогда высота полотна на выходе из-под каландра будет равна

$$h_3 = \rho_1 v_1 a_1 h_1 / \rho_3 v_3 a_3 = \rho_2 v_2 a_2 h_2 / \rho_3 v_3 a_3. \quad (13)$$

Однако в формуле (12) не учитываются силы упругости и сжатия. Поэтому рассмотрим поток волокнистого материала как случай стационарного одномерного потока жидкости. В этом случае можно применить уравнение Эйлера [11, 12]:

$$v(dv/dx) = (1/\rho)(dF_{\text{сж}}/dx), \quad (14)$$

где  $F_{\text{сж}}$  – сила сжатия, Н/м<sup>2</sup>.

Установим дифференциальную зависимость между площадью сечения потока волокнистого материала и его скоростью, тогда выражение (14) примет вид:

$$v dv = dF_{\text{сж}}/\rho = -(dF_{\text{сж}}/d\rho)(d\rho/\rho). \quad (15)$$

Волокнистый материал обладает упругостью, которую можно выразить через коэффициент сжатия

$$\beta_{\text{сж}} = -(1/\rho)(d\rho/dF_{\text{сж}}). \quad (16)$$

Из уравнения (16) следует, что

$$dF_{\text{сж}}/d\rho = 1/\beta_{\text{сж}}\rho. \quad (17)$$

Подставив данные формулы (17) в выражение (15) получим:

$$v dv = -(1/\beta_{\text{сж}}\rho)(d\rho/\rho). \quad (18)$$

Прологарифмируем выражение (11) и проинтегрируем его:

$$\ln(\rho v F) = \ln(\text{const}) = \ln \rho + \ln v + \ln F. \quad (19)$$

После преобразований выражение (18) примет вид

$$v^2/2 = (1/\beta_{\text{сж}}\rho \ln v) + (1/\beta_{\text{сж}}\rho \ln F) + C, \quad (20)$$

где  $C$  – константа.

Умножив обе части уравнения (20) на  $(\beta_{\text{сж}}\rho)$ , получим:

$$\beta_{\text{сж}}\rho v^2/2 = \ln v + F + \ln C' = \ln(C' v F). \quad (21)$$

Так как  $(\beta_{\text{сж}}\rho)$  для исходного волокнистого материала постоянная, тогда

$$C\beta_{\text{сж}} = \ln C', \quad (22)$$

где  $C'$  – константа, полученная экспериментальным путем при эталонных замерах.

Тогда

$$C' v a h = \exp^{\beta_{\text{сж}}\rho v^2/2}. \quad (23)$$

В формуле (23) высота потока  $h$  есть не что иное, как толщина полотна, выходящего из каландра  $h_3$ , и значит,

$$h_3 = \exp^{\beta_{\text{сж}}\rho v^2/2} / C' a v. \quad (24)$$

Таким образом, полученные математические зависимости (13) и (23) позволят определить толщину готового НМ заданной поверхностной плотности при различных параметрах работы оборудования и начальных характеристиках холста. И наоборот, при заданной толщине готового полотна возможно определить поверхностную плотность продукта, что обусловит область дальнейшего его применения.

#### Библиографический список

1. Мясникович М.В. // Белорусск. экономич. журн. 2011. № 2. – С. 4-15.
2. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. – Минск: Нац. статистич. комитет Республики Беларусь. 2018. – 228 с.
3. Радюк А.Н., Борозна В.Д. и др. // Вестник Витебск. гос. технологич. ун-та. 2019. № 2(37). – С. 62.
4. Зими́на Е.Л., Коган А.Г., Ольшанский В.Л. Технологические и теоретические основы получения материалов с использованием текстильных отходов: монография. – Витебск: ВГТУ, 2019. – 230 с.
5. Zimina E.L., Ul'yanova N.V., Vashchenko O.D. // Fibre Chem. 2022. V. 54. No. 1. – P. 9-13.
6. Горчакова В.М., Сергеев А.П., Волощук Т. Оборудование для производства нетканых материалов. Учебник для студентов вузов, обучающихся по спец. технология текстильных изделий. В 2 ч. Ч. 1. – М.: МГТУ им. А. Н. Косыгина. 2006. – 680 с.
7. Федута А.А., Чигарев А.В. Теоретическая механика и математические методы [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов вузов. Электронные данные (11 977 550 байт). – Минск: Технопринт, 2000. – 503 с.
8. Ольшанский В.И., Мульц В.Г., Зими́на Е.Л. // Вестник Витебск. гос. технологич. ун-та. 2021. № 2(41). – С. 43.
9. Тимофеев С.И., Савченкова С.С. Теоретическая механика (динамика): учеб. пособ. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. – 442 с.
10. Стружанов В.В., Бурмашева Н.В. Теория упругости: основные положения: учеб. пособие – Екатеринбург: Уральск. федер. ун-т, 2019. – 204 с.
11. Жуков А.Д. Технология теплоизоляционных материалов: учеб. пособ. Ч. 2. Теплоэффективные строительные системы. – М.: МГСУ, 2011. – 248 с.
12. Довгяло В.А., Юркевич О.Р. Композиционные материалы и покрытия на основе дисперсных полимеров: технологические процессы. АН Беларуси. Инст. механики металлополимерных систем. – Минск: Наука і тэхніка, 1992. – 256 с.