

УДК 677.865.3
DOI 10.47367/0021-3497_2021_2_46

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ВОРСОВОГО ПОКРОВА
В ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОФЛОКИРОВАНИЯ
НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ОРИЕНТАЦИИ ВОРСА**

**THEORETICAL ANALYSIS OF PILE COVER FORMATION
IN ELECTROFLOCKING TECHNOLOGY
BASED ON A PILE ORIENTATION MODEL**

О.М. ИВАНОВ, Т.А. АНИСИМОВА

O.M. IVANOV, T.A. ANISIMOVA

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

(St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design)

E-mail: in.tek-moda@yandex.ru

В работе проведен теоретический анализ модели формирования ворсового покрова, основанный на представлении об ориентации ворса. Показана взаимосвязь относительной ориентации ворса с относительной плотностью ворсового покрова, которая носит общий характер и не зависит от параметров ворса и условий его нанесения. Выявлено существенное влияние начальной ориентации ворса на скорость достижения требуемой плотности ворсового покрова.

The paper presents a theoretical analysis of the pile cover formation model, based on the notion of pile orientation. The relationship of the relative orientation of the pile with the relative density of the pile cover, which is of a general nature and does not depend on the parameters of the pile and the conditions of its application, is shown. A significant effect of the initial orientation of the pile on the rate of achievement of the required density of the pile cover was revealed.

Ключевые слова: ворс, электрическое поле, нормальное распределение, поверхностная плотность, ориентация ворса.

Keywords: pile, electric field, normal distribution, surface density, orientation of pile.

Процесс формирования ворсового покрова в технологии электрофлокирования [1], [4] осуществляется путем нанесения коротких заряженных волокон (0,5...3,0 мм), ориентированных в электрическом поле высокого напряжения на поверхность, покрытую клеевым составом.

Нанесение ворса на лабораторной установке происходит в электрическом поле, сформированном двумя электродами. Верхний электрод представляет собой бункер с сетчатым дном. К нему подключают источник высокого напряжения. Благодаря вибрации бункера ворс сквозь сетку проникает в пространство между электродами, где приобретает заряд и движется к нижнему электроду, на котором расположен материал, покрытый клеевым составом. Напряженность электрического поля определяется разностью потенциалов и расстоянием между электродами и обычно составляет от 3 до 6 кВ/см.

Заряд ворсинок распределен по их длине [2], [3] и обеспечивает их ориентацию вдоль силовых линий. Достигнув нижнего электрода, они либо внедряются в клеевой слой и закрепляются, либо, наткнувшись на ранее закрепившуюся ворсинку, перезаряжаются и возвращаются к верхнему электроду. Постепенно происходит заполнение всей площади материала. Внедрившиеся ворсинки ориентированы достаточно хаотично, но центром распределения по углам наклона можно считать вертикаль (рис. 1 – увеличенное изображение среза флокированного образца). В ряде работ [1], [4], [5] было показано, что распределение ворсинок по углам наклона близко к нормальному распределению и характеризуется параметром распределения σ . Следовательно, количественно ориентацию можно характеризовать этим параметром. Чем меньше его значение, тем лучше ориентация ворсинок.

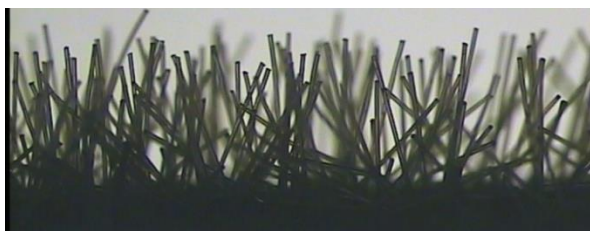


Рис. 1

Анализ процесса формирования ворсового покрова.

Процесс заполнения ворсинками всей площади можно представить следующим образом [5]: в первый момент в клеевом слое закрепляются все ворсинки, достигшие клеевой поверхности, по мере роста их количества на поверхности, сокращается размер промежутков между ними и достичь клеевой поверхности могут только те ворсинки, которые лучше ориентированы. В конце концов вся площадь будет перекрыта, и новые ворсинки проникнуть в клеевой слой уже не могут.

В свете сказанного распределение ворсинок по углам наклона к вертикали должно изменяться по мере возрастания их поверхностной плотности. Это можно представить, как изменение параметра ориентации σ (рис. 2 – плотность распределения ворса по углам наклона к вертикали: 1 – начальное распределение, 2 – конечное распределение).

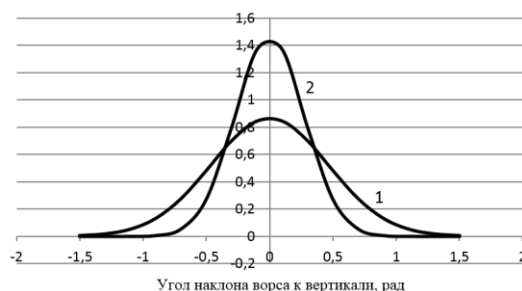


Рис. 2

Математически скорость роста поверхностной плотности ворсового покрова будет выглядеть следующим образом [4], [5]:

$$\frac{dn}{dt} = 2P\Phi\left[\frac{\pi}{2}\left(1 - \frac{\ell d}{\sqrt{2\pi}}\sigma n\right)\right] \quad (1)$$

где P – скорость поступления ворса к поверхности материала, $1/(\text{мм}^2 \cdot \text{с})$; ℓ – длина ворса, мм; d – диаметр ворса, мм; n – количество ворсинок на 1 мм^2 ; σ – параметр распределения ворсинок по углам наклона, рад.

Здесь $\Phi(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^X e^{-X^2/2} dX$ – интеграл вероятности. Аргументом функции яв-

ляется верхний предел интегрирования $X = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{ld}{\sqrt{2\pi}} \sigma n\right)$.

С другой стороны, на основе обширных экспериментальных данных о зависимости плотности ворсового покрова от длительности нанесения получено соотношение [5], [6] вида:

$$n(t) = n_{\max}(1 - e^{-t/\tau}) \quad (2)$$

где τ – постоянная времени, определяющая скорость роста плотности ворсового покрова, с; t – продолжительность нанесения ворса, с; n_{\max} – предельная плотность ворсового покрова, 1/мм².

Эта зависимость, как показали многочисленные исследования, хорошо описывает динамику изменения плотности ворсового покрова. Ее можно представить, как взаимосвязь относительной плотности ворсового покрова и относительной продолжительности флокирования:

$$\frac{n}{n_{\max}} = f(t/\tau) = 1 - e^{-t/\tau} \quad (3)$$

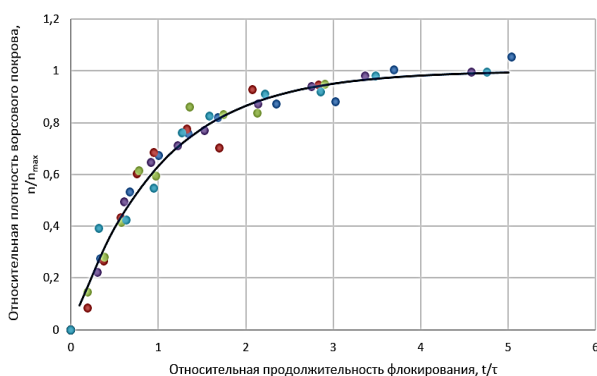


Рис. 3

Универсальный характер зависимости подтверждается тем, что для любого ворса и условий нанесения ее вид сохраняется

неизменным. На рис. 3 представлена кривая (3) и экспериментальные значения относительной плотности ворсового покрова для пяти серий при различных условиях флокирования и для различного ворса.

Производная функции (2) будет равна:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{n_{\max}}{\tau} e^{-t/\tau} \quad (4)$$

Объединим полученные соотношения (1) и (4), учитывая связь $\tau = n_{\max}/P$ [6], и получим следующее соотношение:

$$\Phi \left[\frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{ld}{\sqrt{2\pi}} \sigma n\right) \right] = \frac{1}{2} e^{-t/\tau} \quad (5)$$

Таким образом, в первый момент времени ($t = 0$; $n = 0$) в клеевой слой внедряются все ворсинки (угол наклона от 0 до $\pi/2$), а по мере роста плотности ворсового покрова до $n = n_{\max}$ значение X сокращается до 0:

$$\sigma_{\max} = \sigma(n_{\max}) = \frac{\sqrt{2\pi}}{ldn_{\max}} \quad (6)$$

Если характер взаимосвязи (3) признать обоснованным, то, используя его и (6), мы можем записать соотношение (5) в следующем виде:

$$\Phi \left\{ \frac{\pi}{2} \left[1 - \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} (1 - e^{-t/\tau}) \right] \right\} = \frac{1}{2} e^{-t/\tau} \quad (7)$$

Результаты численных расчетов зависимости относительной ориентации σ/σ_{\max} и относительной плотности ворсового покрова n/n_{\max} от относительной длительности флокирования t/τ на основе соотношения (7) представлены в табл. 1 (взаимосвязь относительных параметров процесса флокирования).

Таблица 1

t/τ	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
n/n_{\max}	0,095	0,393	0,632	0,777	0,864	0,918	0,95	0,97	0,982	0,989	0,993
σ/σ_{\max}	1,268	1,161	1,10	1,055	1,031	1,018	1,0105	1,0063	1,0038	1,0023	1,0014

Полученная зависимость $\sigma/\sigma_{\max} = f(n/n_{\max})$ является линейной (рис. 4 – зависимость относительной ориентации от относительной плотности ворсового покрова) и универсальной для ворса любых геометрических размеров и для любых условий нанесения. Математически полученное соотношение с достоверностью 0,9958 выглядит следующим образом:

$$\sigma/\sigma_{\max} = 1,286 - 0,286 n/n_{\max}. \quad (8)$$

Первое важное следствие – это постоянство соотношения: $\sigma_0/\sigma_{\max} = 1,286$. Это означает, что при неизменном режиме флокирования начальная ориентация ворса определяет его конечную ориентацию, соответствующую предельной плотности ворсового покрова, и, тем самым, ориентацию в любой момент времени.

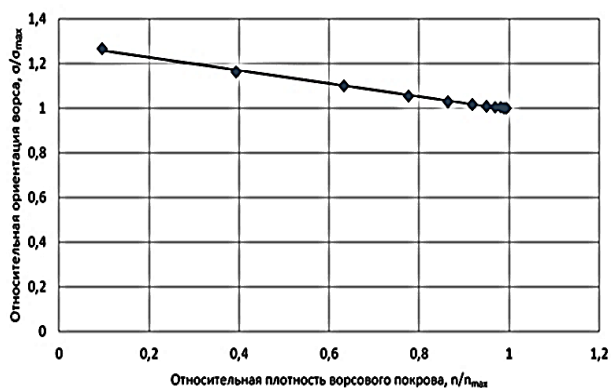


Рис. 4

Аналогичное положение вытекает из зависимости относительной ориентации от относительной продолжительности процесса флокирования $\sigma/\sigma_{\max} = f(t/\tau)$.

Эта зависимость не является линейной и ее можно записать следующим образом:

$$\sigma/\sigma_{\max} = 0,286 e^{-t/\tau} + 1. \quad (9)$$

Ее следствие аналогично предыдущему: в начальный момент времени параметр ориентации в 1,286 раз больше конечного значения. Динамика формирования ворсового покрова определяется ориентацией ворса в начальный момент, то есть ориентацией ворса, подлетающего к поверхности материала.

Попробуем оценить влияние начальной ориентации ворса на производительность процесса. Относительную продолжительность (t_0/τ) формирования заданной плотности ворсового покрова n_0 можно определить как:

$$t_0/\tau = \ln(1 - n_0/n_{\max}). \quad (10)$$

Используя (6) и то, что $\sigma_{\max} = \sigma_0/1,286$, можно записать:

$$t_0/\tau = \ln\left(1 - \ell d n_0 \sigma_0 / (1,286 \sqrt{2\pi})\right). \quad (11)$$

Это соотношение позволяет рассчитать, насколько изменится время формирования заданной плотности ворсового покрова n_0 , если изменится начальная ориентация ворса.

Для ворса длиной $\ell = 1$ мм, $d = 0,02$ мм и линейной плотности $T = 0,33$ текс при заданном значении плотности ворсового покрова $n_0 = 80$ г/м² и постоянной времени 10 с изменение начальной ориентации от 14,5 до 10° приведет к сокращению необходимого времени в 1,5 раза, что позволит существенно увеличить производительность процесса.

ВЫВОДЫ

1. Предложена и обоснована на теоретическом и экспериментальном уровне обобщенная модель формирования ворсового покрова при нанесении заряженного ворса в электрическом поле.

2. Обоснована взаимосвязь относительной ориентации ворса и относительной плотности ворсового покрова для любого ворса, который может быть использован в технологии электрофлокирования.

3. Показана однозначная взаимосвязь ориентации ворса при достижении предельной плотности ворсового покрова с начальной ориентацией ворса на поверхности материала.

4. Показано существенное влияние начальной ориентации ворса на эффективность (производительность) технологического процесса электрофлокирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванов О.М.* Теоретические аспекты технологии электрофлокирования. – СПб., СПГУТД, 2004.
2. *Иванов О.М., Бабина Н.А., Безносова В.В.* Расчет заряда ворса в технологии электрофлокирования при нелинейном распределении плотности заряда // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2013, №3. С. 8...12.
3. *Иванов О.М., Иванова С.Ю.* Оценка максимального заряда ворса в технологии электрофлокирования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 2. С. 11...13.
4. *Иванов О.М., Бабина Н.А.* Влияние ориентации ворса на динамику роста поверхностной плотности ворсового покрова в технологии электрофлокирования // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2014, №2. С. 77...80.
5. *Иванов О.М., Бабина Н.А., Иванова С.Ю.* Процесс формирования ворсового покрова в технологии электрофлокирования // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2014, №2. С.64...67.
6. *Иванов О.М., Безносова В.В.* Анализ процесса электрофлокирования с использованием новых технологических параметров // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2015, №3. С.66...69.

REFERENCES

1. *Ivanov O.M.* Teoreticheskie aspekty tekhnologii elektroflokirovaniya. – SPb., SPGUTD, 2004.
2. *Ivanov O.M., Babina N.A., Beznosova V.V.* Raschet zaryada vorsa v tekhnologii elektroflokirovaniya pri nelineynom raspredelenii plotnosti zaryada // *Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti.* – 2013, №3. S. 8...12.
3. *Ivanov O.M., Ivanova S.Yu.* Otsenka maksimal'nogo zaryada vorsa v tekhnologii elektroflokirovaniya // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2015, № 2. S. 11...13.
4. *Ivanov O.M., Babina N.A.* Vliyanie orientatsii vorsa na dinamiku rosta poverkhnostnoy plotnosti vorsovogo pokrova v tekhnologii elektroflokirovaniya // *Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti.* – 2014, №2. S. 77...80.
5. *Ivanov O.M., Babina N.A., Ivanova S.Yu.* Protsess formirovaniya vorsovogo pokrova v tekhnologii elektroflokirovaniya // *Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti.* – 2014, №2. S. 64...67.
6. *Ivanov O.M., Beznosova V.V.* Analiz protsessa elektroflokirovaniya s ispol'zovaniem novykh tekhnologicheskikh parametrov // *Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti.* – 2015, №3. S. 66...69.

Рекомендована кафедрой технологии и проектирования текстильных изделий. Поступила 09.04.21.