

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИМИТАЦИЯ ИЗМЕНЕНИЙ СТРУКТУРЫ НЕТКАНОГО МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССЕ ИГЛОПРОКАЛЫВАНИЯ

П.А. СЕВОСТЬЯНОВ, Т.В. СЕРЯКОВА

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

Одним из распространенных механических способов производства нетканых материалов (НМ) является иглопробивной способ [1], при котором волокнистый холст скрепляется составляющими его волокнами в результате прокалывания его специальными иглами [2].

При погружении иглы в НМ игла захватывает волокна, находящиеся в области ее движения, и протягивает их сквозь НМ в направлении своего движения как при поступательном, так и при возвратном движении иглы. Из-за трения и сцепления волокна с соседними волокнами величина его перемещения тем меньше, чем дальше участок волокна от иглы, а направление перемещения также различно для разных участков волокна. Поэтому для оценки изменений в форме и взаимном положении волокон до и после прохода иглы целесообразно построить модель этих изменений. С этой целью предлагается следующая геометрическая модель изменения формы волокна в результате его взаимодействия с иглой.

Обозначим через $r(k)$, $k = 0, \dots, N$ – радиусы-векторы реперных точек волокна, имеющего внутри НМ произвольную форму и положение; N – число точек, причем $r(0)$ и $r(N)$ – векторы концов волокна. В промежутках между реперными точками элемент волокна аппроксимируется отрезком, вектор которого равен $dr(k) = r(k) - r(k-1)$, $k = 1, \dots, N$. При достаточно больших значениях $N \sim 100$ очевидно, что аппроксимация является вполне удовлетворительной. При известной длине волокна L длина элементов принимается одинаковой: $dr = L/N$. Поскольку форма и положение волокна в НМ имеют случайную форму, векторы $dr(k)$ и $r(k)$ являются случайными. Для их моделирования использован алго-

ритм, описанный в [3]: углы θ и φ локальной полярной системы координат для каждого элемента k генерируются как равномерно распределенные случайные величины $\theta \sim Un(-\pi/2; \pi/2)$; $\varphi \sim Un(0; 2\pi)$. Декартовы координаты векторов $dr(k)$ вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} dx(k) &= dr \cos \theta \cos \varphi, \\ dy(k) &= dr \cos \theta \sin \varphi, \\ dz(k) &= dr \sin \theta. \end{aligned} \quad (1)$$

Задавая координаты одного конца $r(0)$ волокна случайным образом в пределах моделируемого объема НМ, получаем все векторы $r(k) = r(k-1) + dr(k)$. Линейный сплайн по реперным точкам $r(k)$ дает гладкую форму волокна, но длина волокна при такой аппроксимации отличается от начальной длины L . Более приемлемым вариантом является аппроксимация кубическим сплайном, которая, помимо гладкой формы волокна, позволяет сохранить начальную длину волокна L .

Предположим, что игла перемещается вдоль оси z при $x = 0$ и $y = 0$. При радиусе R захвата волокон иглой область ее непосредственного действия является круговым цилиндром C в начале координат $(x; y)$ вдоль оси z радиуса R и высотой H , равной величине перемещения иглы. Найдем номер j реперной точки, ближайшей к игле:

$$j = \arg \min_k |r(k)|, \quad \forall r(k) \in C. \quad (2)$$

Вектору $r(j)$ найденной реперной точки присваивается новое значение, соответствующее перемещению иглы и конечному положению точки захвата: $r^N(j) = (0; 0; 0)$. Далее производится вычисление новых

$$f = r(k) - r^n(k-1); \quad r^n(k) = r^n(k-1) + d \ell \frac{f}{|f|}, \quad k = j+1, \dots, N, \tag{1}$$

$$f = r(k-1) - r^n(k); \quad r^n(k-1) = r^n(k) + d \ell \frac{f}{|f|}, \quad k = j, j-1, \dots, 1.$$

Здесь вектор f задает направление, в котором перемещается реперная точка. Это направление определяется исходным положением этой точки $r(k)$ и новым положением уже сместившейся соседней точки $r^n(k-1)$ при $k > j$ или $r^n(k)$ для точки $r(k-1)$ при $k < j$.

На рис.1 представлены результаты компьютерного моделирования процесса протаскивания иглы: волокно до и после перемещения иглы.

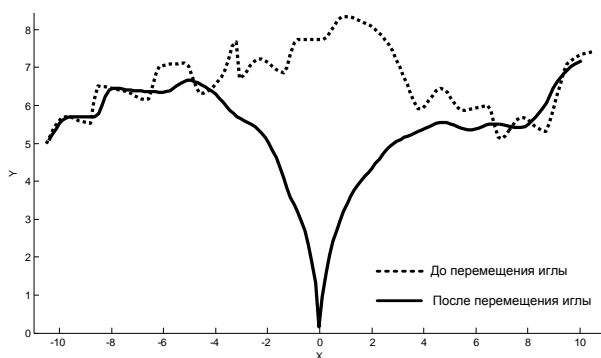


Рис. 1

Как известно [4], цель иглопрокалывания – упрочнение НМ за счет увеличения его плотности и взаимодействия между волокнами. Это достигается за счет изменения положения, размеров и формы той области, которую занимает волокно до и после иглопрокалывания, увеличения плотности волокнистой массы в пределах этой области и увеличения числа точек касания между волокнами, имеющими общую область расположения.

Для оценки результатов моделирования использовался подход, предложенный авторами [5]. Оценка осуществлялась по двум характеристикам: мере расстояния между двумя волокнами D и мере формы и извитости волокна до и после иглопрокалывания α .

Расчет данных характеристик при компьютерной имитации процесса выполнялся методом статистического моделирования. Для этого имитировались описанным выше методом два волокна, затем моделировалось движение иглы и вызванное им изменение формы волокон, после чего оценивались перечисленные характеристики положения, формы каждого волокна и их близости до и после действия иглы. Эти этапы повторялись M раз для получения статистически надежных оценок.

На рис. 2 приведены распределения (полигоны) D расстояний между волокнами до и после иглопрокалывания. Как видно из рисунка, после перемещения иглы увеличилось число волокон и элементов длины волокон, расстояния между которыми сократились, что позволяет сделать вывод о произошедшем уплотнении НМ.

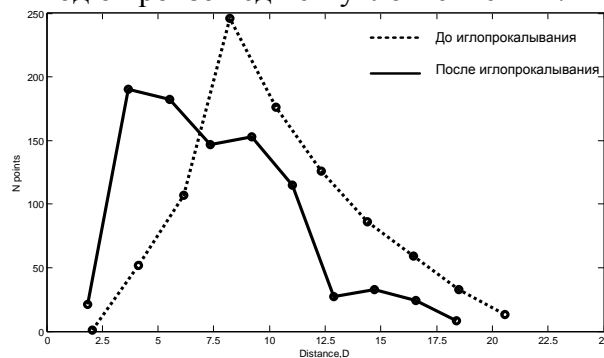


Рис. 2

На рис. 3 представлены распределения меры α углов извитости между соседними радиус-векторами реперных точек волокон. Как видно из рисунка, после перемещения иглы значительно увеличилось число волокон и элементов длины волокон, между которыми угол извитости стремится к 0, что говорит о произошедшем распрямлении волокон НМ.

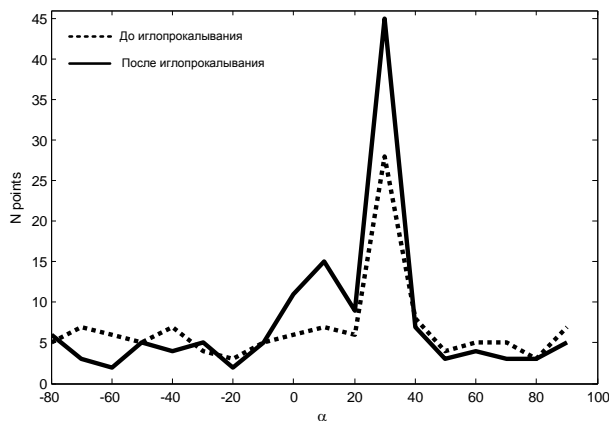


Рис. 3

ВЫВОДЫ

1. Для исследования изменения структуры НМ в процессе иглопрокальвания разработана геометрическая модель и алгоритм имитации изменения формы волокна в результате его взаимодействия с иглой.

2. Проведено компьютерное моделирование изменения формы и положения во-

локна в результате его взаимодействия с иглой. Показано, что с помощью предложенных критериев может быть оценена степень этих изменений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Севостьянов А.Г., Осьмин Н.А., Щербаков В.П. и др. Механическая технология текстильных материалов. – М.: Легпромбытиздат, 1989.
2. Соловьев А. Н., Кукин Г. Н. Текстильное материаловедение. – Часть III. – М: Легкая индустрия, 1967.
3. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры. – М.: Физматлит, 2005.
4. Сергеев А.Н. Теория процессов, технология, оборудование подготовки смесей и холстообразования. – М.: МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2004.
5. Севостьянов П.А., Серякова Т.В. // Изв. вузов: Технология текстильной промышленности. – 2009, №1. С.111...115.

Рекомендована кафедрой информационных технологий и систем автоматизированного проектирования. Поступила 28.11.08.