

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЛОКОН В СЛОЯХ НЕТКАНОГО ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА В РЕЗУЛЬТАТЕ МНОГОКРАТНОГО ИГЛОПРОКАЛЫВАНИЯ

Изложен подход к решению задачи о распределении волокон в слоях нетканого иглопробивного волокнистого материала в результате многократного иглопрокалывания. В основу подхода взята независимость процесса прокалывания любой из игл. В работе получены выражения для определения массы и процентного содержания (по массе) волокон в каждом из слоев волокнистого материала после их сшивания путем многократного иглопрокалывания.

В работе [1] решена задача о распределении волокон в n слоях нетканого волокнистого материала в результате их однократного иглопрокалывания.

Однако технология изготовления большинства нетканых иглопробивных слоистых волокнистых материалов во многих случаях требует многократного прокалывания слоев. Это связано в первую очередь с тем, что такой технологический процесс приводит к увеличению прочности нетканого материала. Поэтому существенный интерес вызывает проблема распределения волокон в слоях нетканого волокнистого материала в результате их многократного иглопрокалывания. Настоящая работа посвящена этой проблеме.

Рассмотрим кусок нетканого волокнистого материала длиной D , шириной W и толщиной T , состоящий из n слоев размером $D \times W \times h_i$, где h_i — толщина i -го слоя, причем $T = \sum_{i=1}^n h_i$. Пусть m_i^0 и Π_{mi}^0 — соответственно масса i -го слоя и процентное содержание (по массе) волокон первого

вида (предполагается, что каждый слой куска нетканого волокнистого материала состоит из расположенных случайным образом в нем волокон двух видов) в i -м слое ($i = \overline{1, n}$). Этот кусок с помощью матрицы, состоящей из пробивных игл, расположенных по определенному закону, прижимают и прокалывают, в результате чего происходит сшивание n слоев. Задача о распределении волокон, образующемся при однократном иглопрокалывании, решена в [1]. Выпишем из этой работы выражения, которые понадобятся в дальнейшем.

Выражение для определения массы каждого из n слоев после их сшивания путем однократного иглопрокалывания I иглами имеет вид

$$m_i^1 = m_i^0 + 2I \left\{ h_i \sum_{j=1}^{i-1} k_j^1 [\Pi_{kj}^0 \rho_{1j} S_{1j} + (1 - \Pi_{kj}^0) \rho_{2j} S_{2j}] - \right. \\ \left. - k_i^1 [\Pi_{ki}^0 \rho_{1i} S_{1i} + (1 - \Pi_{ki}^0) \rho_{2i} S_{2i}] \left(\sum_{p=i+1}^n h_p + h_{in+1}^1 \right) \right\} \quad (i = \overline{1, n}), \quad (1)$$

а выражение для определения массы волокон первого вида в каждом из слоев после их сшивания

$$m_{\Sigma 1i}^1 = m_i^0 \Pi_{mi}^0 + 2I \left[h_i \sum_{j=1}^{i-1} k_j^1 \Pi_{kj}^0 \rho_{1j} S_{1j} - \right. \\ \left. - k_i^1 \Pi_{ki}^0 \rho_{1i} S_{1i} \left(\sum_{p=i+1}^n h_p + h_{in+1}^1 \right) \right] \quad (i = \overline{1, n}). \quad (2)$$

Масса всех волокон, вытянутых наружу, определяется следующим образом:

$$m_{n+1}^1 = 2I \sum_{j=1}^n k_j^1 h_{jn+1}^1 [\Pi_{kj}^0 \rho_{1j} S_{1j} + (1 - \Pi_{kj}^0) \rho_{2j} S_{2j}], \quad (3)$$

а масса волокон первого вида, вытянутых наружу, — по формуле

$$m_{\Sigma 1n+1}^1 = 2I \sum_{j=1}^n k_j^1 h_{jn+1}^1 \Pi_{kj}^0 \rho_{1j} S_{1j}. \quad (4)$$

© П. Н. Сорока, Л. Н. Ганюк, 1993

Процентное содержание (по массе) волокон первого вида в каждом из n слоев после их сшивания путем однократного иглопрокалывания находится

$$\Pi_{mi}^1 = m_{\Sigma i}^1 / m_i^1 \cdot 100 \% \quad (i = \overline{1, n}). \quad (5)$$

В выражениях (1) — (4) $I = DW/S_0$ — количество игл, воздействующих на кусок исследуемого волокнистого материала; S_0 — элемент площади, на которую воздействует одна игла; Π_{ki}^0 — процентное содержание волокон первого вида в i -м слое до сшивания (в работе [1] Π_{ki}^0 определено выражением (8)); k_i^1 — количество волокон из i -го слоя, которые цепляет и протягивает одна игла в последующие слои (в работе [1] k_i^1 определено выражениями (15), (17)); S_{1i} и S_{2i} — площадь поперечного сечения одного волокна соответственно первого и второго видов в i -м слое; ρ_{1i} и ρ_{2i} — плотность одного волокна соответственно первого и второго видов в i -м слое; h_{in+1}^1 — расстояние, на которое вытянуты наружу волокна из i -го слоя. Следует также отметить, что верхним индексом 0 обозначены значения величин до сшивания n слоев, верхним индексом 1 — значения величин, получающиеся в результате сшивания слоев путем однократного иглопрокалывания, а без верхнего индекса обозначены величины, которые не меняются при сшивании слоев. Как и в работе [1], предполагается, что волокна, зацепленные зазубринами, расположенными на ребрах лезвия иглы [2], не соскальзывают и не рвутся при их протягивании через последующие слои.

Технология сшивания n слоев путем двукратного иглопрокалывания заключается в том, что кусок нетканого волокнистого материала, полученный в результате сшивания n слоев путем однократного иглопрокалывания, затем с помощью той же матрицы, состоящей из пробных игл [4], немного сдвинутой относительно исходного (или предыдущего) положения, прижимают и прокалывают. В результате происходит сшивание слоев путем двукратного иглопрокалывания. Для определения массы и процентного содержания (по массе) волокон в каждом из n слоев после их сшивания путем двукратного иглопрокалывания на основании описанного технологического процесса в качестве исходных данных берутся величины m_i^1 и Π_{mi}^1 ($i = \overline{1, n}$). Искомые выражения получаются подобно тому, как это сделано в работе [1], однако приводить их нет необходимости, так как их легко найти из выражений (1) — (5) заменой верхнего индекса 0 на 1, а 1 на 2. При этом Π_{ki}^1 определяются выражением (8) из [1], а k_i^2 — выражениями (15), (17) из [1], в которых в качестве исходных данных также взяты m_i^1 и Π_{mi}^1 ($i = \overline{1, n}$).

Отметим, что технология сшивания n слоев путем трехкратного (или многократного) иглопрокалывания аналогична случаю двукратного иглопрокалывания. Следовательно, для случая трехкратного иглопрокалывания в качестве исходных данных берутся величины m_i^2 и Π_{mi}^2 ($i = \overline{1, n}$). Выражения для определения массы и процентного содержания (по массе) в каждом из n слоев после их сшивания путем трехкратного иглопрокалывания получаются из выражений (1) — (5) заменой верхнего индекса 0 на 2, а 1 на 3. Аналогично, для случая t -кратного иглопрокалывания в качестве исходных данных взяты величины m_i^{t-1} и Π_{mi}^{t-1} ($i = \overline{1, n}$), полученные в результате определения массы и процентного содержания (по массе) волокон в каждом из n слоев после их сшивания путем $(t-1)$ -кратного иглопрокалывания. Выражения для определения массы и процентного содержания (по массе) волокон в каждом из n слоев после их сшивания путем t -кратного иглопрокалывания получаются из выражений (1) — (5) заменой верхнего индекса 0 на $t-1$, а 1 на t . Выражение для определения массы каждого из n слоев после их сшивания путем t -кратного иглопрокалывания I иглами

$$m_i^t = m_i^{t-1} + 2I \left\{ h_i \sum_{j=1}^{t-1} k_j^t [\Pi_{kj}^{t-1} \rho_{1j} S_{1j} + (1 - \Pi_{kj}^{t-1}) \rho_{2j} S_{2j}] - \right. \\ \left. - k_i^t [\Pi_{ki}^{t-1} \rho_{1i} S_{1i} + (1 - \Pi_{ki}^{t-1}) \rho_{2i} S_{2i}] \left(\sum_{p=i+1}^n h_p + h_{in+1}^t \right) \right\} \quad (i = \overline{1, n}), \quad (6)$$

а выражение для определения массы волокон первого вида в каждом из слоев после их сшивания

$$m_{\Sigma 1i}^t = m_i^{t-1} \Pi_{mi}^{t-1} + 2I \left[h_i \sum_{j=1}^{i-1} k_j^t \Pi_{kj}^{t-1} \rho_{1j} S_{1j} - k_i^t \Pi_{ki}^{t-1} \rho_{1i} S_{1i} \left(\sum_{p=i+1}^n h_p + h_{i,n+1}^t \right) \right] \quad (i = \overline{1, n}). \quad (7)$$

Масса всех волокон, вытянутых наружу, определяется следующим образом:

$$m_{n+1}^t = 2I \sum_{j=1}^n k_j^t h_{j,n+1}^t [\Pi_{kj}^{t-1} \rho_{1j} S_{1j} + (1 - \Pi_{kj}^{t-1}) \rho_{2j} S_{2j}], \quad (8)$$

а массу волокон первого вида, вытянутых наружу, находим по формуле

$$m_{\Sigma 1n+1}^t = 2I \sum_{j=1}^n k_j^t h_{j,n+1}^t \Pi_{kj}^{t-1} \rho_{1j} S_{1j}. \quad (9)$$

Процентное содержание (по массе) волокон первого вида в каждом из n слоев после их сшивания путем t -кратного иглопрокалывания находим с помощью соотношения

$$\Pi_{mi}^t = m_{\Sigma 1i}^t / m_i^t \cdot 100 \% \quad (i = \overline{1, n}). \quad (10)$$

В выражениях (6) — (10) Π_{ki}^{t-1} — процентное содержание волокон первого вида в i -м слое после $(t-1)$ -го иглопрокалывания; k_i^t — количество волокон из i -го слоя, которые цепляет и протягивает одна игла в последующие слои во время t -го иглопрокалывания; $h_{i,n+1}^t$ — расстояние, на которое вытянуты волокна из i -го слоя наружу во время t -го иглопрокалывания. Заметим, что Π_{ki}^{t-1} определяется выражением (8) [1], а k_i^t — выражениями (15), (17) [1], в которых в качестве исходных данных взяты m_i^{t-1} и Π_{mi}^{t-1} ($i = \overline{1, n}$). Выражения (6) — (10) дают решение поставленной задачи.

Рассмотрим подход, позволяющий существенным образом упростить полученные выражения (6) — (10). Пусть вероятность попадания иглы, например во время 2-го иглопрокалывания в то же место, что и время 1-го иглопрокалывания, мала. Для моделируемого в настоящей статье технологического процесса данное предположение действительно имеет место, так как эта вероятность определяется отношением S_{Δ}/S_0 , а $S_{\Delta}/S_0 < 0,01$ (S_{Δ} — площадь поперечного сечения лезвия иглы). Следовательно, с вероятностью $1 - S_{\Delta}/S_0$ (довольно большой) можно считать, что структура i -го слоя практически не меняется в области 2-го иглопрокалывания, а в слагаемых, описывающих технологический процесс сшивания n слоев путем двукратного иглопрокалывания с той же вероятностью $1 - S_{\Delta}/S_0$, можно положить $k_i^2 = k_i^1 = k_i$, а $\Pi_{ki}^1 = \Pi_{ki}^0 = \Pi_{ki}$ ($i = \overline{1, n}$), что существенно упрощает расчетные формулы (6) — (9) для случая $t = 2$.

Вероятность того, что игла во время t -го иглопрокалывания попадет в одно из мест, в которые она попала во время 1, 2, ... или $(t-1)$ -го иглопрокалываний, определяется отношением $(t-1) S_{\Delta}/S_0$, т. е. с увеличением кратности иглопрокалывания увеличивается. И если отношение $(t-1) \times S_{\Delta}/S_0$ сравнительно невелико, то с вероятностью $1 - (t-1) S_{\Delta}/S_0$ можно считать, что структура i -го слоя мало меняется в области t -го иглопрокалывания. Так что в слагаемых, описывающих технологический процесс сшивания n слоев путем t -кратного иглопрокалывания, с вероятностью $1 - (t-1) S_{\Delta}/S_0$ можно положить $k_i^t = k_i^{t-1} = \dots = k_i^2 = k_i^1 = k_i$, а $\Pi_{ki}^{t-1} = \Pi_{ki}^{t-2} = \dots = \Pi_{ki}^1 = \Pi_{ki}^0 = \Pi_{ki}$ ($i = \overline{1, n}$), что существенно упрощает расчетные формулы (6) — (9).

1. Ганюк Л. Н., Сорока П. Н., Гуняев А. А. // Химия, физика и технология поверхности. — 1993. — См. наст. сб. — С. 145—150.

2. ОСТ 27—09—262—75. Иглы пробивные.