

НАНЕСЕНИЕ КЛЕЯ ВАЛИЧНЫМ СПОСОБОМ НА ПОВЕРХНОСТЬ РУЛОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е.Л. Кулаженко¹, В.И. Ольшанский²

Витебский государственный технологический университет
РБ г. Витебск, Московский пр-т, 72

Аннотация – Выполнен комплексный анализ взаимодействия клея с материалом основы при валичном способе нанесения. Определены основные кинематические и конструктивные параметры клеенамазного устройства, учитывающие физические свойства клея в условиях ламинарного режима движения капельных жидкостей.

Ключевые слова: многослойные материалы; клей; клеенамазная валик; плоская поверхность; формирование клеевой пленки; дифференциальные уравнения Эйлера; давление; зона контакта.

DRAWING GLUING THE PLATEN ON THE SURFACE OF ROLLED MATERIALS

E.L.Kulazhenko, V.I.Olshanskij

Vitebsk state technological university, PB Vitebsk, the Moscow avenue, 72

Summary – The complex analysis of interaction of glue with a basis material is made at a way of drawing by the platen. The cores kinematic and the design data of the smearing device considering physical properties of glue in the conditions of a laminar mode of movement of drop liquids are defined.

Keywords: multilayered materials; glue; the platen; a flat surface; formation of a glutinous film; Euler's differential equations; pressure; a contact zone.

Одним из этапов технологического процесса производства рулонных многослойных материалов с различным покрытием (например – волокнистого материала) является нанесение связующего состава на поверхность основы для закрепления волокнистых частиц. Поэтому при проектировании клеевого узла с целью получения определенной толщины клеевой пленки необходимо установить его основные параметры, а именно радиус и скорость вращения клеенамазного валика, давление валика на клеевой слой в зоне контакта с основой.

Рассмотрим схему нанесения клея на плоскую поверхность материала основы непрерывно вращающимися валиками (рис.1).

Обозначим глубину погружения клеенамазного валика в резервуар с клеем h ; уровень клея в резервуаре H . Клеенамазная валик и верхний транспортирующий валик имеют одинаковые радиусы $R_1=R_2=R$, ширину b и вращаются с одинаковыми угловыми скоростями $W_1=W_2$.

При исследовании процесса нанесения клея примем следующие допущения и условия:

- движение основы и нанесенного клеевого слоя являются плоскопараллельным;
- движение основы, валиков и клеевого слоя установившееся;

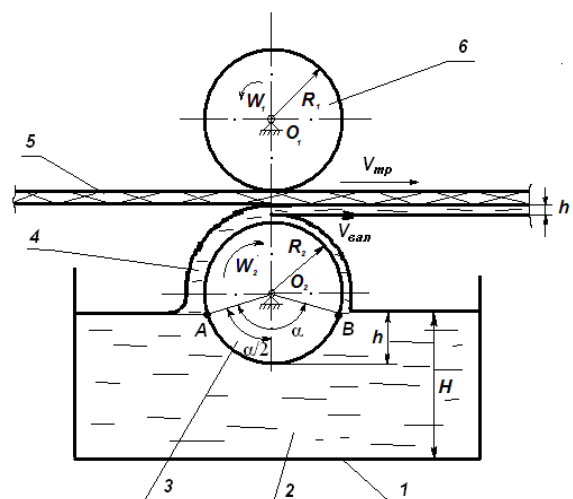


Рисунок 1. Схема нанесения клея валиками: 1 – резервуар с клеем, 2 – клей, 3 – клеенамазная валик, 4 – слой наносимого клея, 5 – основа, 6 – верхний транспортирующий валик

- клей рассматривается как вязкая ньютоновская жидкость;

- для предотвращения проскальзывания линейная скорость основы $V_{тр}$ и валиков $V_{вал}$ равны между собой;

- уровень клея H и глубина погружения клеенамазного валика h не изменяются.

Исходя из принятых обозначений и расчетной схемы, угол контакта клеенамазного валика с клеем равен

$$\frac{\alpha}{2} = \arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right). \quad (1)$$

Зависимость величины угла контакта клеенамазного валика с клеем от величины погружения представлена на рисунке 2.

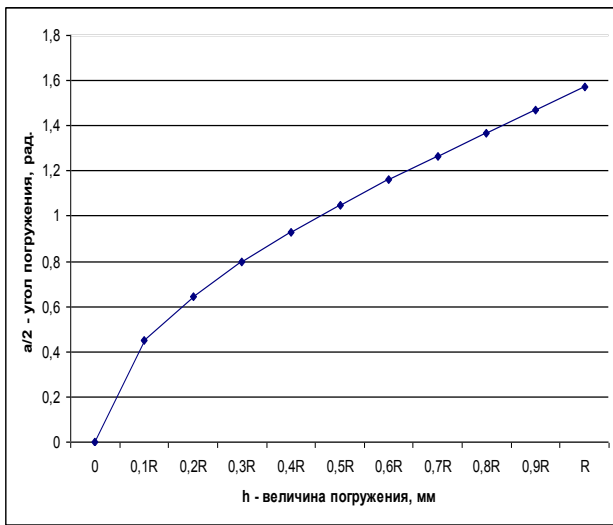


Рисунок 2. Зависимость угла контакта от величины погружения

Длина дуги контакта валика с клеем, определяется из отношения:

$$l_{\cup AB} = 2R \arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right). \quad (2)$$

Определим величину радиуса клеенамазного валика из условия ламинарного режима движения вязкой жидкости из условия, что критерий Рейнольдса – Re для поверхностей, отличающихся от круглого сечения равен $Re = 580$ [1, с.148].

Критерий Рейнольдса определяется по известной в механике жидкости и газа формуле:

$$Re = \frac{V d_{\text{э}}}{\nu}, \quad (3)$$

где ν – кинематическая вязкость клея, $\text{м}^2/\text{с}$; V – линейная скорость клеенамазного валика, $\text{м}/\text{с}$, $V = V_{вал} = V_{тр}$; $d_{\text{э}}$ – экви-

валентный диаметр, м , $d_{\text{э}} = 4R_{\text{гидр}}$, или

$$d_{\text{э}} = \frac{2l_{\cup AB}^3}{l_{\cup AB} + \vartheta}, \quad \text{где } R_{\text{гидр}} \text{ – гидравлический радиус, м,}$$

$$R_{\text{гидр}} = \frac{f}{p}, \quad \text{или}$$

$$R_{\text{гидр}} = \frac{l_{\cup AB}^3}{2(l_{\cup AB} + \vartheta)}; f \text{ – площадь нанесения клея, м}^2, f = l_{\cup AB} \vartheta; p \text{ – смоченный}$$

$$\text{клеем периметр, м, } p = 2(l_{\cup AB} + \vartheta).$$

Тогда,

$$Re = \frac{2V l_{\cup AB}^3}{(l_{\cup AB} + \vartheta) \nu}. \quad (4)$$

Длина дуги контакта

$$l_{\cup AB} = \frac{Re \nu \vartheta}{2V \vartheta - Re \nu} \quad (5)$$

Учитывая соотношение (2), получим

$$2R \arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right) = \frac{Re \nu \vartheta}{2V \vartheta - Re \nu}. \quad (6)$$

При максимальном погружении валика в резервуар, т.е. $h=R$, получим для реального технологического процесса изготовления многослойных материалов с использованием текстильных отходов. Принимаем (по данным предприятия – изготовителя) $\vartheta=0,5\text{м}$, $V=2\text{м}/\text{с}$, $\nu=12 \cdot 10^{-4} \text{м}^2/\text{с}$.

$$R = \frac{Re \nu \vartheta}{\pi(2V \vartheta - Re \nu)} =$$

$$= \frac{580 \cdot 12 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5}{(2 \cdot 2 \cdot 0,5 - 580 \cdot 12 \cdot 10^{-4}) 3,14} = 0,0849, \quad (7)$$

м.

Следовательно, диаметр клеенамазного валика $D = 2R \approx 170\text{мм}$. Угловая скорость клеенамазного валика W , определяется из условия $V_{тр} = V_{вал}$:

$$W = \frac{2V_{тр}}{D} = \frac{2 \cdot 2}{0,17} \approx 23,5, \text{ с}^{-1}. \quad (8)$$

Движение клея в зазоре между клеенамазным валиком и основой имеет ламинарный характер для чисел Рейнольдса, определяемых неравенством [2, с. 190].

$$Re \leq 30 \sqrt{\frac{D}{h_1}}, \quad (9)$$

где h_1 – толщина клеевой пленки, м.

$$h_1 \geq \frac{D \cdot 900}{\text{Re}^2} \geq \frac{0,17 \cdot 900}{580^2} \geq 0,46 \cdot 10^{-3}, \text{ м.}$$

Для практических расчетов принимаем $h_1 = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м или $h_1 = 0,5$ мм.

Клеенамазной валик, равномерно вращаясь в вязкой среде, испытывает сопротивление, обусловленное вязким жидкостным трением. Сила жидкостного трения T определяется по известной формуле

$$T = -\mu^* S^* \frac{dV}{dh}, \quad (10)$$

где μ^* – динамическая вязкость клея, Па·с, $\mu \approx 1,5$; S^* – площадь трущихся слоев жидкости, м²; dV/dh – градиент скорости, с⁻¹.

Для ламинарного режима движения жидкости градиент скорости dV/dh можно заменить отношением V/h_1 , тогда

$$T = -\mu^* S^* \frac{V}{h_1}. \quad (11)$$

Площадь трущихся слоев жидкости можно определить, зная длину дуги контакта $l_{\cup AB}$ и известной ширине валика ϵ_k :

$$S^* = l_{\cup AB} \epsilon_k = 2 \arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right) \epsilon_k. \quad (12)$$

При максимальной дуге контакта $l_{\cup AB} = \pi R$, площадь равна

$$S^* = \pi R \epsilon_k. \quad (13)$$

После подстановки в формулу получим

$$T = -\mu^* \pi R \epsilon_k \frac{V}{h_1}. \quad (14)$$

Момент силы жидкостного трения будет равен

$$M_{mp} = -TR = -\mu^* \pi R^2 \epsilon_k \frac{V}{h_1}. \quad (15)$$

Необходимый крутящий момент $M_{кр}$ должен быть $M_{кр} \geq M_{mp}$.

С учетом потерь на работу сил трения, фактический крутящий момент на клеенамазном валике $M_{кр\phi}$ равен

$$M_{кр\phi} \geq -\frac{\mu^* \pi R^2 \epsilon_k V}{h_1 \eta}, \quad (16)$$

где η – к.п.д.

Необходимая мощность определяется по условию $N_{\phi} = M_{кр\phi} W$, Вт.

Определим закон распределения давления валика на клеевой слой в зоне контакта с основой. Считаем, что вся масса жидкости движется с линейной скоростью, равной скорости транспортирования основы и относительного сдвига частиц клея не происходит. Такое движение клея можно рассматривать как относительное равновесие, для которого справедливо уравнение равновесия капельной жидкости Эйлера [1, с.49]

$$dP = \rho(Xdx + Ydy + Zdz), \quad (10)$$

где dP – дифференциал давления, н/м²; ρ – плотность, кг/м³; X, Y, Z – единичные массовые силы в проекциях на координатные оси.

На рисунке 3 представлена расчетная схема процесса в плоской координатной системе.

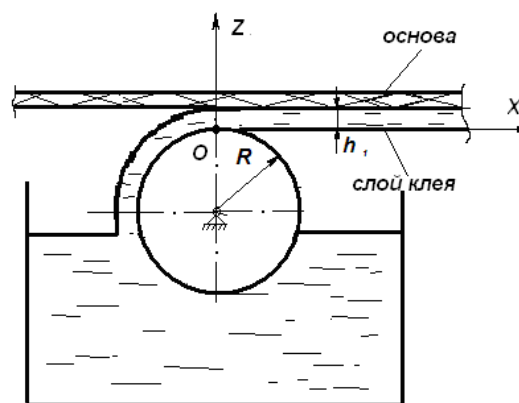


Рисунок 3. Расчетная схема процесса нанесения клея

В проекции на координатные оси единичные массовые силы равны

$$\begin{cases} Z = W^2 R - g \\ X = -\mu \frac{dV}{dz h_1 \rho} \\ Y = 0 \end{cases}. \quad (11)$$

Тогда дифференциальное уравнение (10) примет вид

$$dP = \rho \left[(W^2 R - g) dz - \mu \frac{dV}{dz h_1 \rho} dx \right]. \quad (12)$$

В виду малой толщины клеевого слоя, градиент скорости по толщине dV/dz можно заменить отношением V/h_1 , тогда:

$$dP = \rho \left[(W^2 R - g) dz - \mu \frac{V}{h_1 \rho} dx \right]; \quad (13)$$

$$P = \rho W^2 R h_1 - \gamma h_1 - \mu \frac{V}{h_1^2} X, \quad (14)$$

где $\gamma = \rho g$ – удельный вес клея, н/м³; μ – динамическая вязкость клея, Па·с, $\mu \approx 1.5$.

Максимальное давление на клеевой слой P_{\max} будет в зоне контакта клеенамазного валика с клеем при $x=0$. Тогда

$$P_{\max} = \rho W^2 R h_1 - \gamma h_1 \quad (15)$$

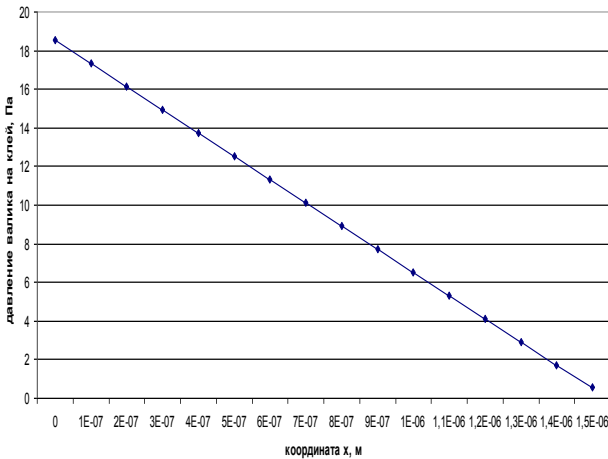


Рисунок 4. Зависимость давления валиков от координаты x

Минимальное давление $P_{\min}=0$ происходит на некотором расстоянии x_0 определяемом из условия:

$$\rho W^2 R h_1 - \gamma h_1 - \mu \frac{V}{h_1^2} x_0 = 0; \quad (16)$$

$$x_0 = \frac{(W^2 R \rho h_1 - \gamma h_1) h_1}{\mu V} =$$

$$= \frac{h_1 (W^2 R \rho - \gamma)}{\mu V}, \text{ м}; \quad (17)$$

$$x_0 = \frac{0.0005 \cdot (23.5^2 \cdot 0.0849 \cdot 1000 - 9800)}{1.5 \cdot 2} = 1.5 \cdot 10^{-6}, \text{ м}.$$

Численное значение максимального давления на клеевой слой в зоне контакта клеенамазного валика с клеем при $x=0$ рассчитанное по формуле (15) равно

18,5 Па; минимального – при $x_0 = 1.5 \cdot 10^{-6}$, м – 0,5 Па.

Полученная теоретически зависимость давления валиков от координаты x согласно формулы 14 представлена на рисунке 4. Она построена с помощью программы Maple 9.5 при заданных показателях: $\rho=1000$ кг/м³, $W=23,5$ с⁻¹, $R=0,0849$ м, $h_1=0,0005$ м, $\gamma=9800$ Н/м³, $\mu=1,5$ Па·с, $V=2$ м/с.

Из графика видно, что при увеличении расстояния от точки соприкосновения клеенамазного валика с поверхностью основы давление на клеевой слой уменьшается.

Выводы.

Выполнен комплексный анализ взаимодействия клея с материалом основы при валичном способе нанесения. Установлена зависимость длины зоны контакта валиков с конструктивными параметрами клеенамазного устройства. Определены основные кинематические и конструктивные параметры клеенамазного устройства, учитывающие физические свойства клея в условиях ламинарного режима движения капельных жидкостей. Для установившегося режима движения жидкости решены дифференциальные уравнения Эйлера, определены значения давления и зоны контакта, соответствующие качественному процессу формирования клеевой пленки. Полученные на базе теоретических исследований результаты хорошо согласуются с параметрами устройств для нанесения клея валичным способом, установленных на промышленных предприятиях.

Литература

1. Калекин, А. А. Гидравлика и гидравлические машины: учебное пособие для студентов вузов / А. А. Калекин.– Москва : Мир, 2005. – 512с.
2. Бутаев, Д. А. Сборник задач по машиностроительной гидравлике / Д. А. Бутаев, З. А. Калмыкова, Л. Г. Подвидз [и др.].– Москва : Машиностроение, 1972. – 472с.

¹ Кулаженко Елена Леонидовна – к.т.н., доцент, доцент кафедры Конструирование и технология одежды Витебского государственного технологического университета, тел. 297186603, alenakul26@mail.ru;

² Ольшанский Валерий Иосифович – к.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительного производства», тел. 297186603, alenakul26@mail.ru.