

вання структурної самоподібності, а також розробки фрактального синтезу, що включає моделювання характерних геометричних форм (шляхом ітерацій) як способу для вивчення початкових структур в реальних матеріалах.

Література

1. Battat, B., Rose, D. Application of Fractals to Materials Science. *Advanced Materials And Processes Technology* 2001, № 12, pp. 33162–33166.
2. Mecholsky, J.J., Freiman, S.W., The Relationship Between Fractal Geometry and Fractography. *J. Am. Ceram. Soc.* 1989, 72.
3. Wang, L.; Tang, S. Investigation and Application of Fractals in Civil Engineering Materials. *Fractal Fract.* 2023, 7, 369. <https://doi.org/10.3390/fractalfract7050369>
4. Zhao, X.; Yang, B.; Niu, Y.; Yang, C. Seepage-Fractal Characteristics of Fractured Media Rock Materials Due to High-Velocity Non-Darcy Flow. *Fractal Fract.* 2022, 6, 685. [Google Scholar] [CrossRef]
5. Babič, M., Fragassa, C., Lesiuk, G., Marinković D. A New Method for Complexity Determination by Using Fractals and its Applications in Material Surface Characteristics. *IJQR* 2020, 14 (3) : 705–716. DOI:10.24874/IJQR14.03-04
6. Hornbogen, E. Intern. Mater. Rev. 1989. Vol. 34, № 6, pp. 277–296.

МОДЕЛЬ ГІДРОДИНАМІЧНОГО РОЗВОЛОКНЕННЯ ШКІРЯНИХ МАТЕРІАЛІВ

Скиба М. Є.¹, Кравчук А. Ю.², Магдін В. В.³
¹⁻³Хмельницький національний університет
E-mail:² iiiiokiiiiilokiiii@gmail, ³ synoleg@ukr.net

Розглянуті в [1] механічні методи ослаблення волокнистої структури при розволокненні шкіряних матеріалів виявляються мало-ефективними, коли розволокненню піддаються відходи шкіри площею, меншою за (1...3) см². І тут на перший план виступають гідродинамічні методи розволокнення відходів шкіряних матеріалів [1–3], які широко використовуються у виробництві взуттєвого картону. При розмелюванні у водяному середовищі відбувається розщеплення над-фібрилярної структури шкіри, так звана фібрилізація волокон [3, 4]. Відповідно до існуючих фізико-хімічних уявлень, у цьому випадку виникає двофазна суспензія [4]. При цьому частина макромолекул

залишається зв'язаною з поверхнею найпростіших структурних елементів – фібрил, здатних утримувати велику кількість води [3]. Така двовимірна суспензія існує тільки до визначеного ступеня розмелювання, потім можуть відбуватися певні хімічні зміни макромолекул волокна [4].

При рідинному розмелюванні шкіряних відходів повинна підтримуватися певна концентрація маси, що обробляється, тому що її зниження призведе до подрібнення й утворення занадто коротких волокон. Для розмелювання використовують в основному конічні роли і дискові млини. Принцип дії устаткування для розмелювання заснований на роздавлюванні, розтягуванні між розмелювальними поверхнями волокнистого шкіряного матеріалу [5].

Широкого поширення останнім часом набуло використання гідродинамічної кавітаційної обробки двовірних суспензій, яка дозволяє різко знизити витрати енергії і ресурсів на проведення технологічних процесів диспергування і дезинтеграції. Численні гіпотези, що пояснюють природу кавітаційного впливу, багато в чому суперечливі і не до кінця досліджені [4–5].

Сьогодні більшість дослідників схиляються до гіпотези кавітаційного впливу на суспензії, що обробляються за допомогою механічних сил. У рамках цієї гіпотези ми і будемо розглядати концепцію гідродинамічного розволоknення відходів шкіряних матеріалів.

У рамках зазначеної гіпотези існує, як мінімум, два основних припущення:

- ослаблення волокнистої структури шкіри здійснюється за рахунок механічного ударного впливу гідродинамічних хвиль, які виникають при схлопуванні кавітаційних бульбашок;
- розволоknення і ніби «розплутування» волокон здійснюється за рахунок механічного впливу ударів і проникнення кумулятивних струминок рідинної фази у міжволоконний простір шкіри.

Крім розглянутих вище гіпотез і припущень були прийняті додаткові припущення, які будуть розглянуті в процесі викладення матеріалів цього розділу.

При впливі кавітаційної струминки на частинку шкіряного матеріалу, що знаходиться в завислому стані в суспензії, виникає ударний тиск, який долає не тільки когезійну міцність шкіри, але й енергію її руху. При цьому контактний тиск кумулятивного струменя на частинку, у випадку удару, складе, як вказано у [5]:

$$p = \frac{1}{2} \rho_k (V_k - V)^2, \quad (1)$$

де V – швидкість руху контактної поверхні, ρ_k – густина рідини в кумулятивній струминці, V_k – швидкість кумулятивної струминки.

У [5] встановлено, що в умовах кумулятивного впливу матеріал твердих частинок поводить як в'язка рідина, тому з рівняння Бернуллі для матеріалу частинки одержимо:

$$p = \frac{1}{2} \rho_c V^2 + \sigma_T, \quad (2)$$

де ρ_c – ефективна густина суспензії; σ_T – границя плинності матеріалу частинки.

З огляду на те, що в кожний момент часу існує рівність тисків, прирівнюємо вирази (1) і (2), у результаті одержимо:

$$\frac{1}{2} p = \rho_k (V_k - V)^2 = \frac{1}{2} \rho_c V^2 + \sigma_T. \quad (3)$$

Розв'язуючи отримане рівняння відносно швидкості контактуючої частинки, одержимо:

$$V = \frac{1}{1 - v} \left(V_k - v \sqrt{\frac{V_k^2 + A}{v}} \right), \quad (4)$$

$$\text{де } v = \sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_k}}; \quad A = \frac{2\sigma_T(1-v)}{\rho_c}.$$

Прийmemo припущення, що вплив кумулятивного струменя на шкіряну частинку подібний до впливу рідинного клина на в'язкопружне середовище.

Відповідно до припущення про вплив кумулятивного струменя на шкіряну частинку як рідинного клина на в'язкопружне середовище, розглянемо рух контактуючої поверхні середовища. При цьому контактуюча з клином поверхня в'язкопружного середовища, нормальна до осі струминки, за проміжок часу dt пройде шлях $dl_g = Vdt$, де l_g – глибина проникнення рідинного клина.

Приймаємо як вихідний механізм схлопування кавітаційної бульбашки [5, 6], кумулятивна струминка якого, проникаючи за час dt , зменшує свій радіус з $2R_{\max}$ до $2r_{\min}$ і збільшує свою довжину за

час контакту з частинкою на величину $dl_c = V_k dt$. Тоді час проникнення клина у в'язкопружне середовище визначається рівністю:

$$dt = \frac{dl_g}{V} = \frac{dl_c}{V_k}. \quad (5)$$

Глибина проникнення струминки (клина) у середовище визначиться інтегруванням рівності (5) по довжині проникнення:

$$l_g = \int_{2r}^{2R} \frac{V}{V_k} dl_c. \quad (6)$$

Швидкості V і V_k є функціями кавітаційної бульбашки, яка схлопується, і визначають інтенсивність процесу кавітаційного диспергування волокнистого середовища.

Підставляючи значення швидкості диспергованої частинки з виразу (4) у (6), одержимо значення глибини проникнення кавітаційної струминки в середовище:

$$l_g = \int_{2r}^{2R} \frac{1}{1-v} \left(V_k - v \sqrt{\frac{V_k^2 + A}{v}} \right) dl_c. \quad (7)$$

Інтегрування виразу (7) дозволяє визначити глибину проникнення l_g кавітаційної струминки в частинку волокнистого середовища за умови пружно-пластичного удару, коли частинка торкається бульбашки, а зіткнення відбувається по довжині струминки, яка дорівнює початковому радіусу бульбашки $l_c = 2R$.

При повному схлопуванні кавітаційної бульбашки під найменшим її радіусом r слід розуміти мінімальний радіус кумулятивної струминки в області зіткнення її з перешкодою. Місцеве руйнування частинки за один удар струминки відбудеться в тому випадку, якщо глибина проникнення l_g буде більшою чи дорівнюватиме середньому поперечному розміру частинки за напрямком поширення струменя. При цьому, з огляду на те, що міцність міжволоконного простору значно нижча за міцність колагенових волокон [7], кумулятивні струминки будуть намагатися зруйнувати саме найменш протяжну і менш міцну частину волокнистого середовища – міжволоконний простір.

У сучасних суперкавітаційних апаратах діаметри бульбашок можуть змінюватися в широких межах, аж до 50 мм, і за кількістю від

$1 \cdot 10^3$ до $30 \cdot 10^6$ бульбашок у секунду через 1 см^2 поперечного потоку суспензії. Схлопування кавітаційних бульбашок приводить до утворення кумулятивних мікроструминок, діаметри яких коливаються в межах $(5 \dots 200) \cdot 10^{-6} \text{ м}$ і створюють тиск у точках схлопування до 1500 МПа , при швидкості кумулятивного струменя до 1500 м/с [5].

Такий інтенсивний вплив на волокнистий матеріал неможливо отримати в жодній механічній системі розволокнення. Тому для досягнення умови розволокнення шкіряних відходів при відомому середньостатистичному розмірі волокна необхідно формувати кавітаційним апаратом бульбашки такого радіусу $R = l_c$, щоб глибина проникнення кумулятивних струменів l_g була більшою від товщини матеріалу h_k ($l > h_k$). Тоді значення глибини проникнення кумулятивної струминки зі швидкістю V_k у частинку суспензії буде дорівнювати:

$$l = \int_{2r}^{2R} \frac{2V_k}{(1-v)} \left(1 - \sqrt{v \left(1 + \frac{A}{V_k^2} \right)} \right) dR. \quad (8)$$

Аналіз рівнянь (6) – (8) показує, що вирішальний вплив на глибину проникнення кумулятивних струминок у товщу матеріалу мають швидкість руху частинок суспензії V_k , контактний тиск p у момент зіткнення і пластичні властивості матеріалу частинок σ_T .

Література

1. Hertwing K. Production and Application Kollagen of Leather // Bonded Leather. – 2015. – № 9. – P. 181–186.
2. Erickson Paul R. Wet blue staving the green solution // World Leather. – 2017. – № 7. – P. 57–69.
3. Zahn H. Stanzabfallen fur die production von Lederfaster – werkstoffen // Schuh-Techn. Int. – 2009. – № 5–6. – P. 54–59.
4. Кошубин В. С. Переработка кожевенных отходов // Кожевенно-обувная промышленность. – 2019. – № 12. – С. 34–35.
5. Скиба М. Є. Концепція гідродинамічного розволокнення відходів шкіряних матеріалів у виробництві взуттєвих картонів // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – № 5. – С. 178–186.
6. Wiljam G. Ladungsstruktur von Kollagen und Leder // Leder und Hautemarkt. – 2019. – № 23. – P. 37–41.
7. Kramer E. Problem aller festen Abfälle in der Gerberei // Leder und Hautemarkt. – 2016. – № 48. – P. 6–10.