

МЕХАНИЗМ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПЛОТНЕНИЯ МЕДНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

В. М. Капцевич, В. К. Корнеева, А. Н. Рыхлик

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
Минск, Беларусь*

Ранее нами было установлено [1], что медные кабельные отходы (МКО) являются объектами волоконного строения и могут быть использованы для изготовления фильтрующих волоконных материалов (ФВМ). Отличительной особенностью МКО от медных волокон является присутствие в них наряду с дискретными элементами волоконного строения с близкими значениями диаметров и различными длинами, волоконных элементов меньшего диаметра в виде крючков и свертышей [1]. Такой дисперсный состав МКО может существенно повлиять на характер их уплотнения при изготовлении ФВМ.

Целью работы является разработка механизма деформационного уплотнения МКО.

Ю. Г. Дорофеев [2] показал, что при уплотнении металлических волокон важное значение имеет то, что на первой его стадии давление прессования следует рассчитывать не по величине контактного сечения, а по напряжению, определяемому сопротивлением волокон изгибу, и предложил следующее выражение для определения зависимости между давлением прессования P волоконного тела и его плотностью $\rho = 1 - \Pi$:

$$P = K\sigma_{т0}(1 - \Pi)^m, \quad (1)$$

где K , m – постоянные; σ_{m0} – предел текучести материала волокон; Π – пористость.

В свою очередь, М. Ю. Бальшин доказал [3], что уравнение (1) является контактным уравнением, т. е.

$$P = K\sigma_{т0}(1 - \Pi)^3 = P_k\alpha_k, \quad (2)$$

где $P_k = K\sigma_{т0}$ – критическое контактное напряжение при прессовании; $\alpha_k = (1 - \Pi)^3$ – критическое контактное сечение.

Согласно теории Ю. Г. Дорофеева, в рассматриваемом нами случае критическое контактное сечение $\alpha_k = (1 - \Pi)^m$.

Ранее нами были определены коэффициенты K и m для МКО различного фракционного состава и доказана применимость уравнения (1) при их уплотнении [4].

На основании экспериментальных данных [4] на рис. 1 представлены зависимости изменения критического контактного сечения α_k от пористости Π и давления прессования P для МКО различных фракций.

Анализ представленных зависимостей изменения критического сечения α_k от давления прессования P (рис. 1, а) показал, что характер изменения α_k различен на разных участках кривой. Сопоставляя зависимости (рис. 1, а и б) были выделены следующие участки при уплотнении МКО. На первой стадии (стадия I) при пористости 0,8–0,5 происходит резкий рост критического контактного сечения. Далее кривая при пористости 0,5–0,4 замедляет свой рост (стадия II). При пористости 0,4–0,3 происходит дальнейшее замедление роста критического сечения (стадия III), а при пористости 0,3–0,15 – резкое нарастание контактного сечения по линейной зависимости (стадия IV).

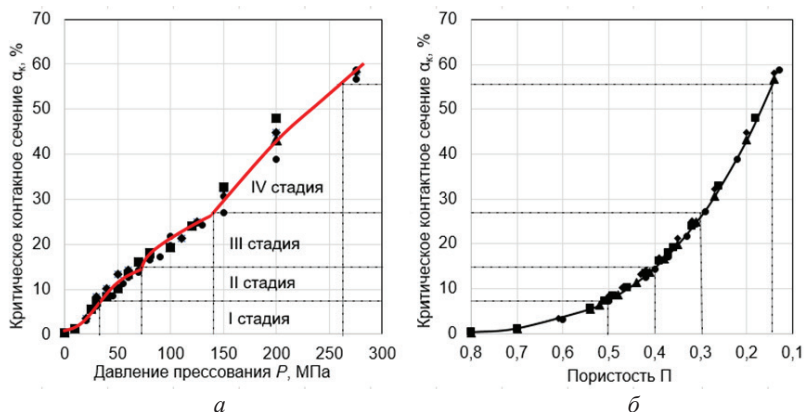


Рис. 1. Зависимости критического контактного сечения α_k от пористости Π (а) и давления прессования P (б) для МКО различных фракций: \blacklozenge – $(-0,2...+0,1)$ мм; \blacksquare – $(-0,315...+0,2)$ мм; \blacktriangle – $(-0,4...+0,315)$ мм; \bullet – $(-0,63...+0,4)$ мм

Проведенный анализ позволил предложить следующий механизм деформационного уплотнения МКО (рис. 2):

первая стадия (рис. 2, *б*) – свободное перемещение волокон в направлении, совпадающим с направлением действия усилия (стадия I, рис. 1, *а*)

вторая стадия (рис. 2, *в*) – упруго-пластический изгиб и кручение волокон (стадия II, рис. 1, *а*);

третья стадия (рис. 2, *г*) – объемное упруго-пластическое сжатие (стадия III, рис. 1, *а*);

четвертая стадия (рис. 2, *д*) – объемное упруго-пластическое сжатие с резким нарастанием контактного сечения (стадия IV, рис. 1, *а*).

Процесс уплотнения волоконных материалов наряду с уменьшением пористости характеризуется изменением внутренних структурных характеристик ФВМ: координационного числа Z , межконтактного расстояния l_1 , количества контактов N . В работах [5, 6] предложены следующие выражения для расчета этих параметров:

$$Z = \frac{4l[1 - \Pi(1 - \ln \Pi)]}{d(1 - \Pi)}; \quad (3)$$

$$N = \frac{8(1 - \Pi)^2}{\pi d^3}; \quad (4)$$

$$l_1 = \frac{d}{4(1 - \Pi)}, \quad (5)$$

где d – диаметр волокна; l – длина волокна.

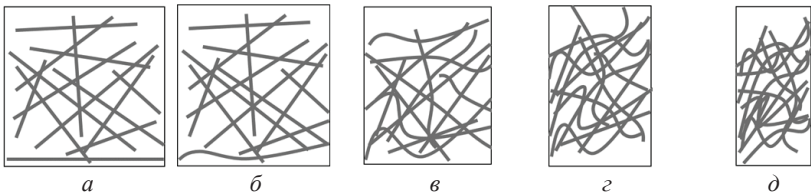


Рис. 2. Механизм деформационного уплотнения МКО: *а* – исходное состояние после войлокования; *б* – свободное перемещение; *в* – упруго-пластический изгиб и кручение; *г* – объемное упруго-пластическое сжатие; *д* – объемное упруго-пластическое сжатие с резким нарастанием контактного сечения

На рис. 3 представлены результаты расчетов Z , l_1 и N (3)–(5) для рассматриваемых фракций МКО ($-0,2...+0,1$) мм, ($-0,315...+0,2$) мм, ($-0,4...+0,315$) мм; ($-0,63...+0,4$) мм, характеризующихся, соответственно, диаметрами d , равными 100, 200, 300, 400 мкм и длиной $l = 5$ мм.

Анализ полученных данных (рис. 3) показал, что на первой стадии уплотнения (пористость 0,8–0,5) значения координационного числа Z возрастают в 2,7–2,9 раза для всех фракций, межконтактное расстояние l_1 уменьшается в 2,4–2,6 раза, а количество контактов N увеличивается в 6,3–6,5 раза. На второй (пористость 0,5–0,4) и третьей (пористость 0,4–0,3) стадии рост координационного числа Z замедляется до 1,2–1,3 раза, а на четвертой (пористость 0,3–0,15) незначительно возрастает до 1,3–1,4 раза. Характер изменения межконтактного расстояния l_1 на второй, третьей и четвертой стадии характеризуется уменьшением в 1,1–1,3 на каждой стадии уплотнения. Количество контактов N на второй стадии увеличивается в 1,4–1,5 раза, на третьей – увеличивается в 1,2–1,4 раза, а на четвертой – 1,4–1,6 раза.

Проведенные исследования показали, что каждая стадия уплотнения характеризуется различной интенсивностью изменения внутренних структурных характеристик Z , l_1 и N . Это позволяет показать различие в поведении МКО на каждой стадии

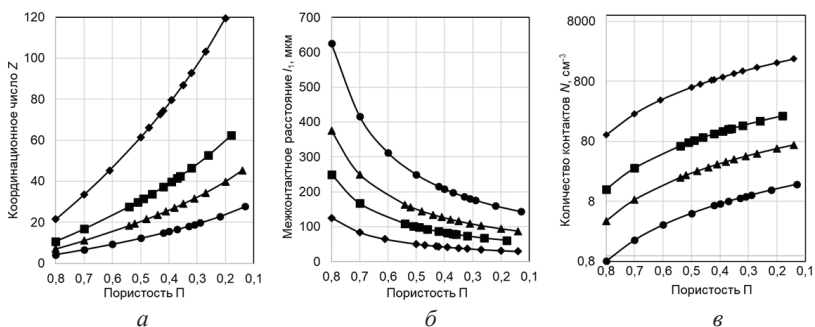


Рис. 3. Зависимости изменения координационного числа Z (а), межконтактного расстояния l_1 (б) и количества контактов N (в) от пористости Π для различных фракций МКО: \blacklozenge – ($-0,2...+0,1$) мм; \blacksquare – ($-0,315...+0,2$) мм; \blacktriangle – ($-0,4...+0,315$) мм; \bullet – ($-0,63...+0,4$) мм

уплотнения и обосновать предложенный механизм деформационного уплотнения.

Выводы. Предложен механизм деформационного уплотнения медных кабельных отходов, включающий свободное перемещение волокон при пористости 0,8–0,5, упруго-пластический изгиб и кручение при пористости 0,5–0,4, объемное упруго-пластическое сжатие при пористости 0,4–0,3 и объемное упруго-пластическое сжатие с резким нарастанием контактного сечения при пористости 0,3–0,15.

Литература

1. *Ильющенко, А. Ф.* Проницаемые материалы из медных кабельных отходов. Сообщение 1. Свойства медных волоконных отходов / А. Ф. Ильющенко, В. М. Капцевич, В. К. Корнеева // Порошковая металлургия: респ. межвед. сб. науч. тр. / редкол.: П. А. Витязь [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2013. – Вып. 36. – С. 243–249.

2. *Дорофеев, Ю. Г.* Динамическое горячее прессование пористых материалов / Ю. Г. Дорофеев. – М.: Наука, 1968. – 120 с.

3. *Бальшин, М. Ю.* Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна / М. Ю. Бальшин. – М.: Металлургия, 1972. – 336 с.

4. *Ильющенко, А. Ф.* Проницаемые материалы из медных кабельных отходов. Сообщение 2. Закономерности уплотнения медных волоконных отходов / А. Ф. Ильющенко, В. К. Корнеева, В. М. Капцевич // Порошковая металлургия: Респ. межвед. сб. науч. тр. / редкол.: П. А. Витязь [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2013. – Вып. 36. – С. 250–256.

5. *Klimenko, V. N.* Research of structural (frame) characteristics of porous materials from discrete fibres / V. N. Klimenko, A. G. Kostornov // Proceedings of V Minsk International Seminar «Heat Pipes, Heat Pumps. Refrigeratorjs», Minsk, Belarus, Sept. 8–11, 2003. – Minsk, 2003 – P. 409–412.

6. *Klimenko, V. N.* Coordination number and bulk porosity of porous fibrous materials / V. N. Klimenko, A. G. Kostornov, Yu. N. Kryuchkov // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – Vol. 38. – № 3–4. – 1999. – P. 202–204.