

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ КОСТНОГО КОМПОЗИТА,  
АРМИРОВАННОГО КОЛЛАГЕНОВЫМИ ВОЛОКНАМИ****Куриленко А.В.**

*Article simulated destruction of the bone composite reinforced with collagen fibers. Calculated maximum stress fibers in the longitudinal direction.*

Кость является основным материалом опорно-двигательного аппарата. В компактной костной ткани половину объема составляет неорганический материал, минеральное вещество кости – гидроксилпатит. Это вещество представлено в форме микроскопических кристалликов. Другая часть объема состоит из органического материала, главным образом коллагена (высокомолекулярное соединение, волокнистый белок, обладающий большой эластичностью). Способность кости к упругой деформации реализуется за счет минерального вещества, а ползучесть – за счет коллагена. Известно, что межклеточный органический матрикс компактной кости составляет около 20 %, неорганические вещества – 70 % и вода – 10 % [1].

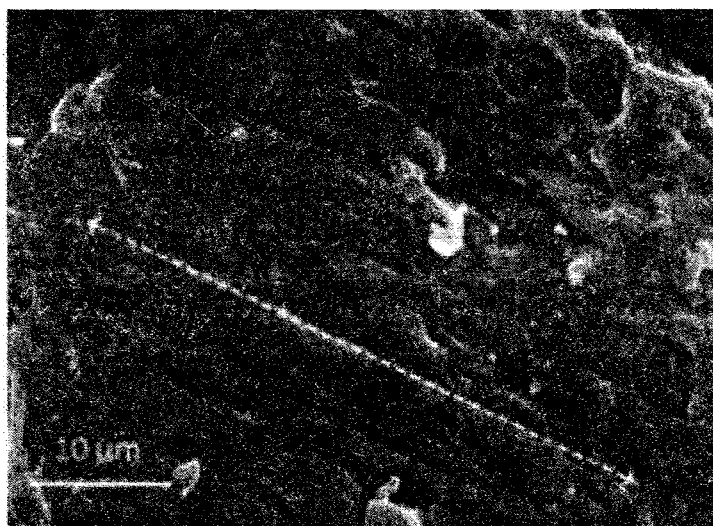
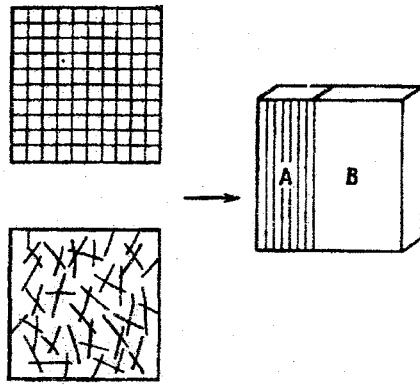


Рисунок 1 – Строение костной ткани

Кость является армированным композитным материалом. Композит, армированный волокном, можно представить двумя слоями: слоем армирующего материала и матричным слоем (рисунок 2).



*A – упрочняющая фаза, B – матричная фаза.  
Рисунок 2 – Приближенный состав композита, армированного волокном*

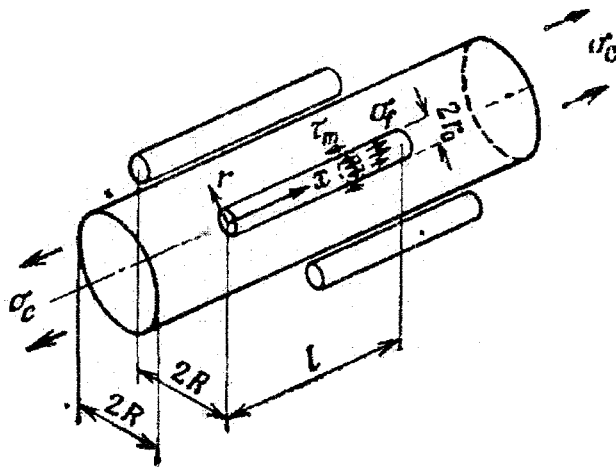
В данной работе, представив кость армированным композитным материалом, рассчитаем максимальное напряжение волокна в продольном направлении в соответствии с моделью Кокса [2].

Положим, что направление действия нагрузки параллельно направлению волокна и что распределение напряжений и деформаций в слоях являются равномерными, тогда модуль упругости и напряжения равны:

$$E_c = \alpha E_f V_f + E_m V_m, \quad \sigma_c = \beta \sigma_{fu} V_f + (\sigma_m)_{efu} V_m, \quad (1)$$

где  $E_f$  и  $E_m$  – модули упругости первого рода соответственно для волокна и матрицы;  $E_c$  и  $\sigma_c$  – модуль упругости первого рода и разрушающее напряжение для композита;  $\sigma_{fu}$  – разрушающее напряжение для волокна;  $(\sigma_m)_{efu}$  – напряжение в матрице, соответствующее разрушающей деформации волокна;  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты, зависящие от расположения волокна (при однонаправленном упрочнении равны 1,0).

Тонкое волокно длиной  $l$  заключено в упругой матрице, а соединение волокна с матрицей является идеальным. При создании напряжений в волокне, действующих в осевом направлении, деформации на границах раздела матрицы и волокна являются одинаковыми (рисунок 3).



*Рисунок 3 – Модель Кокса*

Максимальное напряжение волокна в продольном направлении  $\sigma_{f \max}$  при  $x = l/2$  определяется по формуле:

$$\sigma_{f \max} = (E_f - E_m) \left( 1 - \operatorname{ch} \frac{\beta l}{2} \right) \varepsilon, \quad \varepsilon = \frac{\sigma_c}{E_m}, \quad (2)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{G_m}{E_f} \frac{2\pi}{A_f \ln(R/r_0)}}, \quad (3)$$

где  $r_0$  – радиус поперечного сечения волокна,  $2R$  – расстояние между центрами поперечных сечений волокон;  $A_f$  – площадь поперечного сечения волокна,  $G_m$  – модуль упругости второго рода матрицы.

Исходные данные для расчета:  $E_f = 10^8$  Па,  $V_f = 0,25$ ,  $\sigma_{fu} = 10^8$  Па,  $r_f = 27,5 \cdot 10^{-9}$  м,  $A_f = 0,24 \cdot 10^{-14}$  м,  $l = 67 \cdot 10^{-9}$  м,  $R = 10^{-6}$  м,  $E_m = 10^{11}$  Па,  $V_m = 0,75$ ,  $(\sigma_m)_{efu} = 2 \cdot 10^8$  Па,  $G_m = 4,5 \cdot 10^{10}$ .

Рассчитав по формуле (2) максимальное напряжение волокна получили  $\sigma_{f \max} = 5,0 \cdot 10^7$  Па, что не превышает предела прочности для данного композита  $\sigma_c = 5,5 \cdot 10^8$  Па.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дубровский, В.И. Биомеханика: учебник для вузов / В.И. Дубровский, В.Н. Федорова. – М.: ВЛАДОС-ПРЕСС, 2008. – 669 с.
2. Фудзии, Т. Механика разрушения композиционных материалов: пер. с японск / Т. Фудзии, М. Дзако. – М.: Мир, 1982. – 224 с.

Поступила 21.11.11