

УДК 621.762

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОРИСТОЙ ВСТАВКИ ХИРУРГИЧЕСКИХ ИМПЛАНТАТОВ С ПОВЫШЕННЫМИ РАЗМЕРАМИ ПОР И ПОРИСТОСТЬЮ

Шелухина А.И.¹, Пронкевич С.А.², Савич В.В.¹¹Институт порошковой металлургии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь²Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Пористые порошковые материалы (ППМ) с анизотропной поровой структурой в направлении прессования (пористость в поверхностном слое частиц больше, чем в объеме материала) показали свою эффективность в процессах фильтрации жидких и газовых сред, диспергирования газов в жидкостях, гашения акустических колебаний, в качестве пористых вставок в хирургических имплантатах, в которые врастают костные ткани.

Методы сухого изостатического [1] и гидродинамического прессования [2] позволяют равномерно распределять давление по поверхности отдельных частиц на внешней поверхности прессовки с помощью эластичной оболочки, отделяющей порошковую засыпку от передающей давление на нее среды (жидкости), не деформируя эти частицы и оставляя тем самым открытые поры поверхностного слоя [3]. Однако до сих пор не предпринималось попыток моделирования процессов, имеющих место в поверхностном слое засыпки при прессовании композиционным инструментом – стальным пуансоном, плакированным эластичной облицовкой.

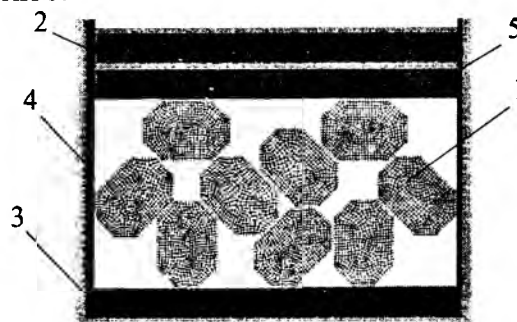
Целью настоящей работы является исследование процесса получения из несферических порошков титана ППМ с повышенными пористостью и размерами пор на поверхности, облегчающими условия врастания в них костных тканей в хирургических имплантатах.

В качестве объекта для исследований были выбраны пористые вставки в хирургические имплантаты из губчатого порошка титана марки ТПП-5, а в качестве предмета исследования – технология их получения прессованием.

Образцы пористых вставок получали из порошка фракции 0,63 - 1,0 мм в виде дисков диаметром 20 и толщиной 2 - 3 мм одноосным прессованием композиционным пуансоном с эластичной облицовкой формирующей поверхности в металлической пресс-форме. Облицовка толщиной 2 мм была получена обработкой резанием из литых заготовок полиуретана марки ППУ-1 ТУ РБ 700069297.008-2000. Жесткость полиуретана составляла 92 ед. по Шору А. Образцы ППМ прессовали при разных давлениях в диапазоне 50 - 120 МПа. Спекание сформованных образцов проводили в вакууме при температуре 1090 °С в течение 70 минут.

В работе [4] нами был предложен представительный элемент (ПЭ) (рис.1) поровой струк-

туры засыпки губчатого порошка титана марки ТПП-5.



1 – частицы; 2, 3 – верхний и нижний пуансон; 4 – матрица; 5 – эластичная облицовка пуансона.

Рисунок 1 – Представительный элемент порошковой засыпки

ПЭ имеет размеры 3x5,86 мм и межчастичную пористость 37,4 %, что соответствует плотности утряски 1400 кг/м³ с точностью до 3,1 %. Частицы разработанного представительного элемента имеют длину 1 мм и ширину 0,7 мм, т.е. относятся к фракции 0,63–1,0 мм.

Моделирование выполнялось с помощью системы конечно-элементного анализа ANSYS. Модель жестко закреплялась по боковым граням матрицы 4 и низу пуансона 3 (рис.1). Для предотвращения неинформативной деформации модели было наложено связанное перемещение точек (Couple DOFs) на верхнюю грань пуансона 2 (набор 1), и нижнюю грань пуансона 2 и верхнюю грань облицовки 5 (набор 2).

К верхней грани стального пуансона 2 прикладывалось давление прессования Р.

Механические свойства материалов модели описывались следующими параметрами: модуль упругости материала частицы (титан) $E_1 = 9,6 \cdot 10^{10}$ Па; коэффициент Пуассона $\nu_1 = 0,36$; предел прочности на сжатие $\sigma_{с1} = 450$ МПа; предел текучести $\sigma_{т1} = 300$ МПа; плотность $\rho_1 = 4500$ г/м³; модуль упругости материала пуансона (сталь) $E_2 = 2 \cdot 10^{11}$ Па; коэффициент Пуассона $\nu_2 = 0,3$; плотность $\rho_2 = 7850$ кг/м³.

Материал эластичной облицовки – полиуретан. Нами принят модуль упругости полиуретана $E_3 = 69$ МПа, плотность $\rho_3 = 1200$ кг/м³, коэффициент Пуассона $\nu_3 = 0,49$ (практически несжимаемый материал), предел прочности на сжатие $\sigma_{с3} = 8,2$ МПа, предел текучести $\sigma_{т3} = 3,3$ МПа. Толщина эластичной облицовки – 0,5 мм.

При моделировании использовались объемные конечные элементы SOLID 186 (двадцати-узловые гексагональные конечные элементы). Контактное взаимодействие между телами (частицы, матрица, пуансоны) моделировалось путем создания «контактной пары» - специальных элементов (TARGE170 и CONTA174) обеспечивающих взаимодействие двух разных тел. Тип контакта задавался как Bonded для контактов между частицами и частиц с пуансонами, и как No Separation – для контактов частиц и пуансона с матрицей. Производилась автоматическая выборка зазоров и внедрений (Close gap/Reduce penetration).

Полученные деформации ПЭ δ , изменения пористости $\Delta П$, расчетные пористости ПЭ $П$, и экспериментально определенные пористости образцов $П_Э [5]$ и погрешность определения пористости при моделировании δ представлены в таблице.

Таблица – Деформация ПЭ поровой структуры засыпки порошка титана при одностороннем прессовании композиционным пуансоном

P, МПа	δ , мм	$\Delta П$, %	П, %	$П_Э [5]$, %	δ , %
50	0,019	0,6	58,4	64,0	8,8
70	0,036	1,2	57,8	60,5	4,5
100	0,070	2,5	56,7	60,2	5,8
120	0,117	3,8	55,2	58,5	5,6

Результаты моделирования удовлетворительно (с погрешностью 4 – 9 %) совпадают с результатами ранее проведенных экспериментальных исследований. Так, при давлении 50 МПа при расчете получено значение пористости 58,4 %, а в эксперименте 64,0 % (погрешность 8,8 %), при давлении 120 МПа соответствующие значения составили 55,2 и 58,5 % (погрешность 5,6 %). Для уменьшения погрешности моделирования необходимо уточнить свойства полиуретана.

На рисунке 2 показаны результаты моделирования прессования частиц порошка титана ТПП композиционным пуансоном при давлении 120 МПа. Видно, что при прессовании происходит увеличение площади контакта частиц между собой и с нижним пуансоном, а также течение материала частиц в свободное пространство. У частицы, расположенной у стенки матрицы, также увеличивается площадь контакта с соседними частицами и матрицей, а также «залипание» материала частицы на стенке при прессовании и зализывание поры. При этом частицы, входящие в контакт с эластичной облицовкой пуансона, сохраняют свою форму вследствие более равномерного распределения давления прессования полиуретаном.

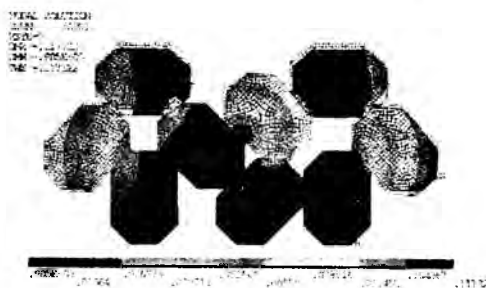


Рисунок 2 – Деформация частиц при одностороннем прессовании композиционным пуансоном при давлении 120 МПа

В дальнейшем на основе построенной модели деформации ПЭ при одностороннем прессовании композиционным пуансоном планируется провести подбор оптимальных технологических параметров процесса производства вставок в хирургические имплантаты (давление прессования, свойства эластичной облицовки пуансона).

1. Реут, О.П.. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов / О.П. Реут, Л.С. Богинский, Е.Е. Петюшик Минск: Дзёрб, 1998.–258с.
2. Anaschenko, M.P Porous Ozone Disperser from sintered Powder of Technically Pure Titanium / M.P Anaschenko, S.A. Bedenko, L.P. Pilinevich and all// Proceedings of the 1998 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition - Granada, Spain, October 18-22, 1998. Vol.5. - P. 253-258.
3. Ильюшенко, А.Ф. Проблемы изготовления пористых материалов из губчатых порошков титана / Ильюшенко А.Ф., Савич В.В., Пилиневич Л.П. // Технология легких сплавов. – 2010. - №1. – с. 176-186.
4. Савич, В.В. Разработка представительного элемента поровой структуры для модели прессования порошкового материала применительно к поверхностному слою засыпки / В.В. Савич, А.И. Шелухина, С.А. Пронкевич, В.М. Горохов// «Перспективные материалы и технологии»: материалы 8-ого Международного симпозиума/ ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси». – 2013 г. – в печати.
5. Савич, В.В. Исследование влияния жесткости формирующего инструмента на интегральные характеристики поровой структуры образцов, полученных прессованием губчатого порошка титана/ В.В. Савич, А.И. Бобровская, А.М. Тарайкович // Порошковая металлургия, № 35 – Мн., 2012 – с. 144 - 151.