

тонкостенный контейнер 1 возвращается к своим прежним размерам и между ним и изделием образуется зазор  $Z$ , позволяющий беспрепятственно извлечь изделие (рисунок 1, б).

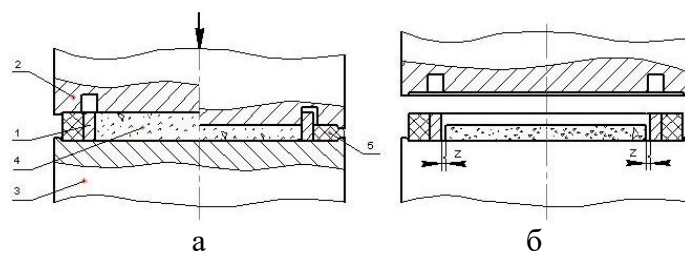


Рисунок 1 – Схема прессования в упруго деформируемом контейнере

Предложенная схема прессования была экспериментально опробована при изготовлении пластин диаметром 100 мм и толщиной 5 мм из порошковых керамических композиций TiN и  $YBa_2Cu_3O_7$ .

Металлическая упругая оболочка (контейнер) 1 была изготовлена из стали У10А, термообработана до твердости 54–58 HRC, и имела следующие размеры: внутренний диаметр 101 мм, толщину стенки 2 мм и высоту 7 мм. Кольцевая эластичная оболочка 5 с наружным диаметром 120 мм и внутренним диаметром 105 мм была изготовлена из полиуретана СКУ-7Л. На торцевой поверхности верхнего пуансона 2 был выполнен кольцевой паз глубиной 6 мм с внутренним диаметром 100 мм и наружным диаметром 105,5 мм.

При давлении прессования 100 МПа (для порошковой композиции  $YBa_2Cu_3O_7$ ) относительная плотность прессовки составляла 64,1 %. Полученные изделия не имели повреждений в виде трещин, сколов, расслоений и свободно извлекались из контейнера.

Такой метод может быть использован для прессования тонких пластин, колец и тонкостенных втулок, в том числе весьма малой плотности.

УДК 621.762.5

### Влияние давления прессования на структуру порошкового материала при электроимпульсной обработке

Студенты гр.10402112 Бахтин А. С., Стецко В. В.  
 Научный руководитель – Минько Д. В.  
 Белорусский национальный технический университет,  
 г. Минск

Электроимпульсная обработка порошковых материалов применяется в машиностроении, приборостроении и медицине для получения изделий (фильтроэлементов, радиаторов и имплантатов), имеющих проницаемую поровую ( $P=25-35\%$ ) структуру. Электроимпульсная обработка порошковых материалов основана на упругой деформации и электротермическом спекании порошковых частиц. Поровая структура порошковых материалов в этом процессе определяется распределением контактных механических напряжений в порошковой насыпке, которые зависят от ее линейных размеров и величины давления подпрессовки. С учетом этого, для порошковых частиц сферической формы, засыпанных в жесткую цилиндрическую матрицу и подпрессованных двумя электродами-пуансонами, исходя из решения уравнения:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \xi^2 \left( \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} \right), \quad (1)$$

где  $p$  – давление подпрессовки;

$r, z$  — цилиндрические координаты;  
 $\xi$  — коэффициент бокового давления.  
 Определена зависимость:

$$\frac{2 - 2\Pi + 2\Pi^2 + 3\Pi^3 - \Pi^4}{\Pi^3} = \frac{1}{\rho g L} p(z), \quad (2)$$

где  $L$  — высота порошковой насыпки;  
 $\rho$  — плотность материала порошковой частицы;  
 $g$  — ускорение свободного падения,

Данная зависимость устанавливает связь распределения локальной пористости от линейных размеров порошковых изделий.

Для оценки характера распределения давления в порошке при электроимпульсной обработке проведено моделирование с использованием прикладных программ «MathCAD». При моделировании в зависимостях, описывающих распределение давления в порошке, использовались такие относительные переменные, как  $\chi$  и  $\psi$ , характеризующие диаметр  $D$  и высоту  $H$  находящегося в жесткой цилиндрической матрице порошка, а также параметр  $\beta$ , определяющий соотношение  $H$  к  $D$ . При вычислениях относительные переменные  $\chi$  и  $\psi$  изменялись в пределах от нуля до единицы, а параметр  $\beta$  — в пределах от единицы до двух.

В качестве модельного использовался порошок, состоящий из сферических частиц диаметром 100 мкм с физико-механическими свойствами, аналогичными свойствам порошка титана. Считалось, что частицы порошка под действием предварительного двухстороннего прессования с помощью электродов-пуансонов испытывают только упругую деформацию. При этом сами электроды-пуансоны и стенки матрицы не деформировались. Давление предварительного прессования вдоль оси электродов-пуансонов задавалось в пределах 10–100 МПа.

Результаты моделирования в относительных координатах распределения давления в порошке на стадии, предшествующей протеканию импульсного тока, представлены рисунке 1.

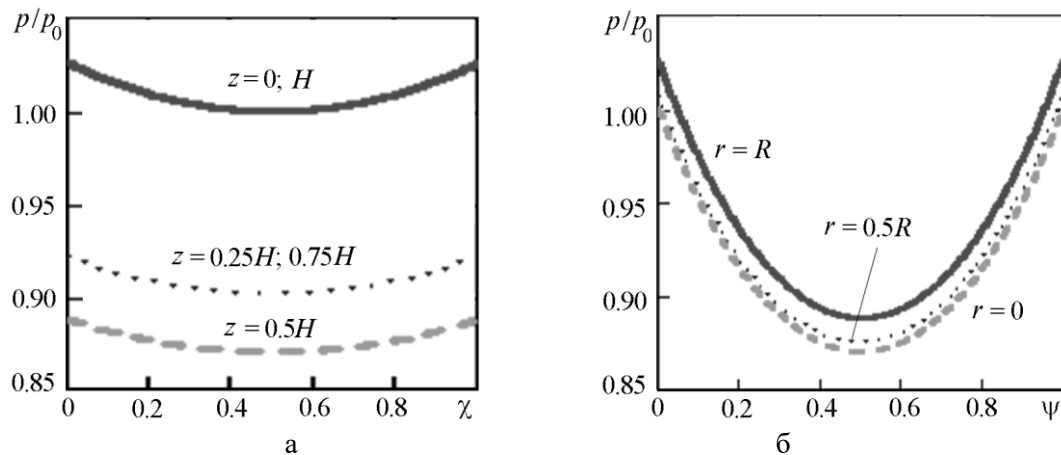


Рисунок 1 – Относительное распределение давления в поперечных (а) и в продольных (б) сечениях порошковой насыпки

Анализ результатов моделирования показал, что давление в продольном сечении порошковой насыпки при одноосном двухстороннем прессовании монотонно уменьшается от периферии к центру по осям цилиндрической системы координат  $z$  и  $r$ , где и достигает своего минимума. При этом своего максимума давление достигает на границах соприкосновения порошка с торцами электродов-пуансонов. Величину неравномерности распределения давления в порошке определяет отношение высоты к диаметру порошковой насыпки. При

высоте насыпки, равной диаметру, неравномерность распределения давления в поперечном сечении будет несущественной и составит, в среднем, два-три процента. В то же время неравномерность распределения давления по высоте продольного сечения может составить 8–9 %. При увеличении высоты насыпки в два раза характер распределения давления в поперечном сечении не изменится, а неравномерность распределения давления в продольном сечении составит 10–12 %. При увеличении высоты насыпки в четыре раза неравномерность распределения давления в продольном сечении возрастет до 16–17 %.

Разработанная феноменологическая методика моделирования позволяет оценивать характер распределения давления в порошковой насыпке. Благодаря этому она может использоваться в расчетах по оптимизации режимов электроимпульсной обработки, обеспечивающих получение порошковых материалов с относительно равномерной плотностью. В методике имеются зависимости, учитывающие в определенном виде связь с пикнометрической плотностью исследуемой дисперсно-порошковой среды, а также с формой частиц, составляющих эту среду, включая способность материала к линейной деформации при сжатии и растяжении. Это позволяет при проведении моделирования распределения давления при электроимпульсной обработке учитывать индивидуальные особенности исследуемой дисперсно-порошковой среды и свойства ее частиц.

Результаты решения уравнений (1) и (2) могут быть использованы в оптимизации режимов электроимпульсной обработки порошковых материалов при получения титановых фильтрующих элементов и изделий медицинского назначения.

УДК 621.771.013

### **Технологические возможности процесса сферодвижной штамповки**

Студенты гр. 10402114 Фролов А. В., Крук Д. С.  
Научный руководитель – Ленкевич С. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Экономическая эффективность, того или иного способа изготовления детали, определяется повышенным коэффициентом использования металла, а оборудования минимально возможной мощностью привода и его габаритных размеров.

В этой связи, перспективным является расширение промышленного использования штамповки с обкатыванием или сферодвижной штамповки. Применение данной технологии при изготовлении широкой номенклатуры изделий, в конечном счете, приводит к ощутимому снижению себестоимости изготовления, повышению показателей качества и конкурентоспособности производителя.

Процесс сферодвижной штамповки позволяет деформировать наружные, внутренние и торцевые поверхности полых и сплошных металлических заготовок. При их реализации можно осуществлять формоизменяющие операции высадки, обратного и прямого выдавливания.

Кинематическая схема сферодвижного механизма предложенная ленинградским изобретателем А.Н. Силичевым представлена на рисунке 1.

Асинхронные электродвигатели 1 через упругие муфты 2 обеспечивают вращение червяков 3, связанных с червячным колесом 4. Водило 5 благодаря возможности поворота своей цапфы в подшипнике 10 преобразует вращательное движение в круговое качательное, которое передается инструменту 6. Заготовка 7 установлена в матрице 8. При вертикальном перемещении стола или ползуна пресса осуществляется штамповка заготовки 7. Технологическое усилие, воспринимаемое пуансоном 6, передается на сферический подшипник 9, который служит опорой водила 5. При круговом качании горизонтальная линия контакта пуансона с заготовкой поворачивается в горизонтальной плоскости с постоянной