

УДК 669.018.25

## ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМОВАНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ СМЕСЕЙ

А. Н. ЖАРИКОВ, А. Н. ЖИГАЛОВ, О. В. ЦУМАРЕВ

Институт технологии металлов НАН Беларуси

Могилев, Беларусь

Известно, что твердосплавные изделия изготавливаются по технологическим процессам порошковой металлургии. И самым распространенным методом для формования твердосплавных смесей перед спеканием является холодное прессование в жестких пресс-формах. Однако имеющихся теоретических и экспериментальных данных по сущности процесса прессования недостаточно для прогнозирования качественного изготовления твердосплавных изделий. Отсюда возникает потребность в математическом моделировании процесса формования твердосплавных смесей, в частности, методом холодного прессования в жестких пресс-формах, методология которого заключается в следующем (рис. 1): на этапе I производится засыпка твердосплавной смеси в матрицу; на этапе II происходит уплотнение смеси (прессование) посредством встречного движения верхнего и нижнего пуансонов (этим задается степень уплотнения заготовки и ее форма); на этапе III производится выпрессовка компактированной заготовки, готовой для спекания [1].

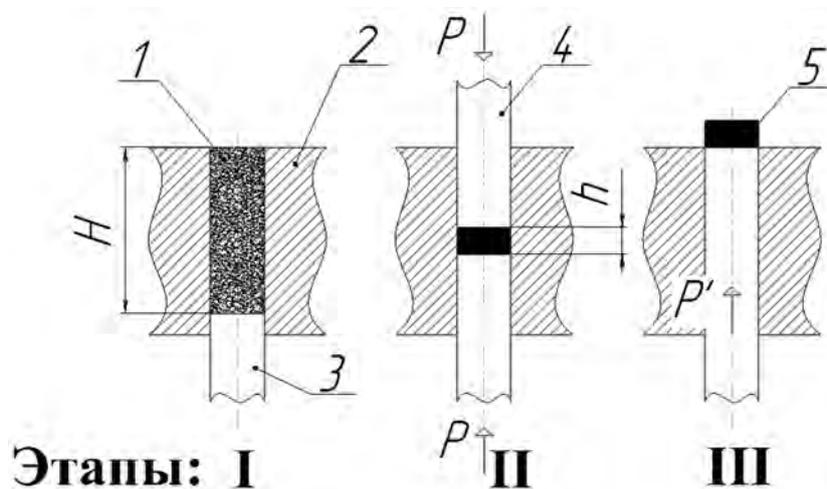


Рис. 1. Иллюстрация процесса холодного прессования в жесткой пресс-форме: 1 – твердосплавная смесь; 2 – матрица; 3 – нижний пуансон; 4 – верхний пуансон; 5 – компактированная заготовка

Готовая твердосплавная смесь с пластификатором представляет собой изотропную трехфазную пористую структуру, отличающуюся высоким модулем упругости за счет наличия непластичных карбидных частиц, высокой дисперсности и малой текучести [2, 3]. Совокупность этих особенностей вызывает проблемы с достижением требуемой степени уплотнения смеси,

с целью обеспечения высокой прочности заготовки, без риска появления «расслоенных» трещин. Решение данных проблем возможно за счет оптимизации рассматриваемого процесса формования, которую можно осуществить посредством построения математической модели и далее компьютерного моделирования.

Для создания и исследования математической модели формования твердосплавных смесей в жесткой пресс-форме в качестве основы предполагается построение континуальных уравнений, описывающих механику многофазных систем, путем усреднения микроуравнений микроскопических параметров трех фаз по объему каждой фазы. Данный методологический подход дает возможность учитывать широкий спектр как механических, так и структурных особенностей порошкового твердосплавного материала.

В качестве математического обеспечения предлагается использовать полный тензор напряжений рассматриваемой гетерогенной системы  $\sigma^{kl}$ , представляющей собой сумму усредненных напряжений в фазах:

$$\sigma^{kl} = \alpha_1 \langle \sigma_1'^{kl} \rangle_1 + \alpha_2 \langle \sigma_2'^{kl} \rangle_2 + \alpha_3 \langle \sigma_3'^{kl} \rangle_3; \langle \sigma_i'^{kl} \rangle_i = \frac{1}{dV} \int_{dV_i} \sigma_i'^{kl} dV,$$

где  $\alpha_i$  – объемная концентрация  $i$ -фазы;  $V_i$  – объем  $i$ -фазы,  $i = 1, 2, 3$  (1 – пластификатор; 2 – связка; 3 – карбид); ' (штрих) относится к параметрам, являющихся средними в пределах микрообъема  $dV$  (намного меньшего характерного размера пор) [4].

Математическая модель холодного прессования твердосплавных смесей в жесткой пресс-форме даст возможность перейти к процессу компьютерного моделирования. Это позволит экономно и в кратчайшее время прогнозировать поведение твердосплавных заготовок в ходе процесса прессования и после снятия нагрузки, а также даст представления о физико-механических характеристиках спрессованного материала. Эта информация позволит осуществить подготовку не только качественных компактированных заготовок для последующего этапа процесса изготовления твердосплавных изделий – спекания, но и значительно ускорить разработку новых твердосплавных материалов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Панов, В. С.** Технология, свойства и области применения спеченных твердых сплавов : учебное пособие / В. С. Панов, Ж. В. Еремеева. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 148 с. : ил.
2. **Нигматулин, Р. И.** Основы механики гетерогенных сред / Р. И. Нигматулин. – Москва: Наука, 1978. – 336 с.
3. **Колтунов, М. А.** Ползучесть и релаксация / М. А. Колтунов. – Москва : Высшая школа, 1976. – 277 с.
4. **Схоутен, Я. А.** Тензорный анализ для физиков: пер. с англ. / Я. А. Схоутен. – Москва : Наука, 1965. – 456 с. : ил.