

ТЕХНИКА ИЛИМДЕРИ. КУРУЛУШ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО
TECHNICAL SCIENCE. CONSTRUCTION

Мамбеталиев Т.С.

**SEIATSU ПРОЦЕССИН ФОРМАЛАР КОШУНДУУЛАРЫНЫН ТЫГЫЗДООСУН
 МАТЕМАТИКАЛЫК МОДЕЛДӨӨ МҮМКҮНЧҮЛҮКТӨРҮ**

Мамбеталиев Т.С.

**ВОЗМОЖНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УПЛОТНЕНИЯ
 ПЕСЧАНЫХ ФОРМ ПРИ SEIATSU ПРОЦЕССЕ**

T.S. Mambetaliev

**THE MATHEMATICAL SIMULATION CAPABILITY OF MOULD
 COMPACTING BY SEIATSU**

УДК: 621. 742

Металл куйуу өндүрүштө SEIATSU процесс (кумдуу формалар башында аз кысымдуу абалын желли менен, аягында пресс менен тыгыздоолот) ийгиликтүү колдонулат. Бул процессти моделдөө жолунда башындагы аз басымдуу аба желли катышкан динамикалык процесстерди изилдеш керек. Ушул изилдөөлөрдүн математикалык моделдөөнүн бир ыкмасы төмөндө көрсөтүлөт.

Негизги сөздөр: моделдөө, динамикалык процесстер, аба желли, изилдөөлөр, математикалык моделдөө, өндүрүш.

Способ уплотнения формовочных смесей воздушным потоком с прессованием (SEIATSU процесс) универсален и успешно применяется в литейном производстве. Разработка системы моделирования требует, прежде всего, базовых уравнений и зависимостей, описывающих процесс. Предлагается подход к описанию динамических процессов на стадии предварительного уплотнения воздушным потоком. Результаты математического моделирования являются частью системы моделирования процесса импульсного уплотнения песчаных форм.

Ключевые слова: моделирование, динамические процессы, воздушный поток, исследования, математическое моделирование, производство.

The method SEIATSU – Air Flow Squeeze Moulding Process is universal and pass using in Foundry. Working out the simulation system required base equations of process. This article introduced the approach of description of dynamic processes on the precompacting period with Air Flow. The results of mathematical simulation are part of simulation system of mould sand compacting process under impulsive load.

Key words: modelling, dynamic processes, air flow studies, mathematical modeling, production.

Введение

SEIATSU процесс – способ уплотнения формовочных смесей так называемым «слабым» импульсом с последующим прессованием. Этот способ, являющийся одним из методов импульсного уплотнения литейных форм, позволяет получать достаточные сложные литейные формы высокого качества.

Объектом наших исследований является процесс предварительного уплотнения формовочной смеси воздушным потоком, характерный не только для SEIATSU процесса, но и пескоструйного или пескострельного способов. На рис. 1 представлена схема предварительного уплотнения формовочной смеси воздушным потоком.

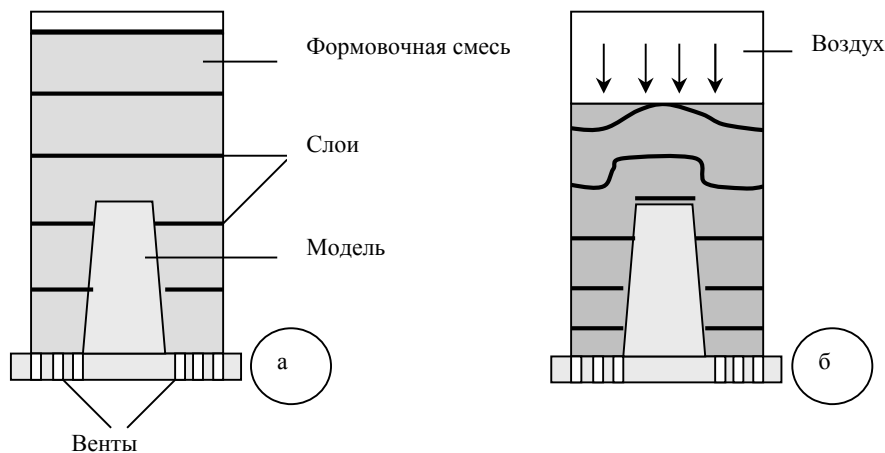


Рис. 1. Схема предварительного уплотнения формовочной смеси при SEIATSU процессе: а – начало; б – конец процесса [1].

При прохождении воздушного потока от свободной поверхности формовочной смеси в сторону модели, частицы песка перемещаются («текут») вместе с потоком в нижние части формы. От слоя к слою по направлению потока воздуха возрастает плотность формовочной смеси, т. е. происходит ее уплотнение. Сжатый воздух, достигая модельной плиты, удаляется в атмосферу через венты.

Формовочные машины, реализующие метод SEIATSU, обычно имеют рабочее давление сжатого воздуха $P_{max} = 0,4 \dots 0,6$ МПа с максимальным градиентом давления $dP_{max}/dt = 0,18 \dots 0,2$ МПа/с. При этом время рабочего процесса составляет около $0,3 \dots 0,4$ с.

Математическое моделирование процесса

Предположим, что в начальной стадии процесса преобладает сила P , (влиянием остальных сил пока пренебрегаем), приложенная к частицам песка в объеме Δz (рис.2) со стороны воздуха, содержащегося в этом объеме.

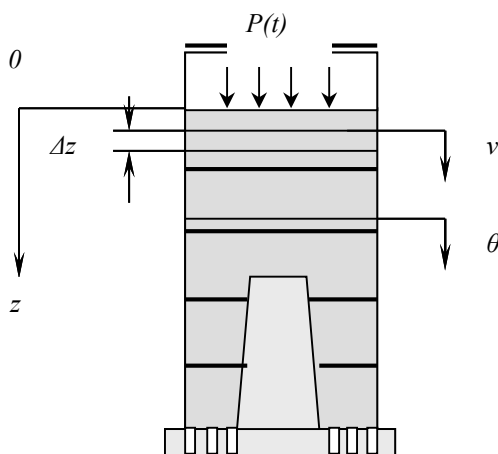


Рис. 2. Схема моделирования процесса SEIATSU в начальной стадии процесса.

Используя подход, примененный в работе [2], составим нижеследующие зависимости для описания динамических процессов в уплотняемой формовочной смеси. Уравнение движения песчинок будет

$$\gamma(1-m) \frac{Dv}{Dt} = P, \quad (1)$$

где

P – сила действующая со стороны воздуха на песчинки;

v – скорость перемещения песчинок;

γ – удельный вес песчинок;

m – пористость формовочной смеси.

При равномерном распределении пористости для воздушного потока справедливо следующее уравнение движения

$$\rho m \left(\frac{du}{dt} \right) = -\delta - \frac{\partial p m}{\partial z}, \quad (2)$$

где ρ и p – плотность и давление воздуха в сечении Δz ;

u – скорость воздуха.

Составим уравнения изменения количества движения для песчинок:

$$\gamma(1-m) \frac{Dv}{dt} = P - \gamma(1-m) \frac{\partial M_s}{\partial z}, \quad (3)$$

где M_s – потенциал массовых сил песка.

То же для массы воздуха

$$\rho m \frac{du}{dt} = -\delta - \frac{\partial p m}{\partial z} - \rho m \frac{\partial M_L}{\partial z}, \quad (4)$$

где ∂M_L – потенциал массовых сил воздуха.

Уравнение сохранения энергии для частиц песка можно представить в виде:

$$\gamma(1-m) \cdot v \frac{Dv}{Dt} = P \cdot v - \frac{\partial M_s}{\partial z} (1-m) \cdot \gamma \cdot v \quad (5)$$

При составлении уравнения сохранения энергии для воздуха необходимо учесть, что происходит уменьшение пор, т.е. $\frac{Dm}{Dt} < 0$. При этом если считать процесс сжатия идеальным квазистатическим,

то работа внешних сил равна $p \left(\frac{Dm}{Dt} \right)$, а уравнение сохранения энергии будет

$$\begin{aligned} \rho m \left[u \frac{du}{dt} + \frac{de}{dt} \right] = \\ = -P \cdot v - p \frac{Dm}{dt} - \frac{\partial p m u}{\partial z} - \frac{\partial M_z}{\partial z} \rho m u \end{aligned}, \quad (6)$$

где e – внутренняя удельная энергия единицы массы, определяемая по [2] как:

$$e = \frac{1}{x-1} \cdot \frac{p}{\rho} + const, \quad (7)$$

где $x = \frac{C_p}{C_v}$,

где C_p, C_v – теплоемкости воздуха при постоянном давлении и объеме.

На этой стадии процесса наличие контактов между частицами и силы, возникающие между ними, считаем пренебрежимо малыми. Но при увеличении плотности формовочной смеси (уменьшении пористости), их значения могут быть соизмерены со значе-

ниями P . Дальнейшее движение формовочной смеси, приводящее к ее уплотнению, может быть описано уравнениями для импульсного уплотнения методами GAS – IMPACT или AIR – IMPACT, как в работах [3, 4]. В этом случае распространение волны сжатия в основном обусловлено передачей сил через контакты между частицами песка.

Таким образом, на первой стадии SEIATSU процесса уплотнение происходит за счет выравнивания объемов пор (дробления конгломератов) и уменьшения объема пор до некоторого предела, определяемого возрастающими силами сопротивления уплотнению, которые будут определяться контактными силами между частицами. Дальнейшая передача внешнего усилия осуществляется через контакты между частицами песка. А движение воздушного потока может стать устойчивым и проходить в образовавшихся мельчайших трубочках, как, например, установлено в работе [1]. Можно сделать предположение, что первая стадия процесса, описываемая уравнениями (1 – 7) продолжается от начала процесса до момента достижения воздухом вентиляционных отверстий.

Предположим, что по движущимся частицам песка и воздуха, имеющим начальные скорости v_0 и u_0 , во второй стадии процесса проходит волна одного направления от свободной поверхности смеси к модельной плите (возможно и обратное направление). Тогда из закона сохранения массы воздуха получим:

$$(\theta - u_0)\rho_0 m_0 = (\theta - u)\rho m, \quad (8)$$

где ρ_0 , m_0 и ρ , m – плотность воздуха и пористость формовочной смеси перед и за фронтом ударной волны;

θ – скорость распространения ударной волны в уплотняемой форме.

Из закона сохранения массы песка:

$$(\theta - v_0)(1 - m_0) = (\theta - v)(1 - m) \quad (9)$$

Скорость распространения фронта волны будет равна

$$\theta = \frac{\rho m u - \rho_0 m_0 u_0}{\rho m - \rho_0 m_0} \quad \text{или}$$

$$\theta = \frac{(1 - m) \cdot v - (1 - m_0) \cdot v_0}{(1 - m) - (1 - m_0)} \quad (10)$$

Важнейшей характеристикой для этой стадии процесса является импульс силы давления (F), передающийся воздухом частицам песка на фронте ударной волны. Очевидно, что он будет определяться не только изменением давления на фронте ударной волны, но и деформационными характеристиками формовочной смеси (упруго – вязко – пластическими), которые изменяются в процессе уплотнения.

Уравнение изменения количества движения для частиц песка формовочной смеси равно

$$(\theta - v_0)(1 - m_0)\gamma(v - v_0) = F \quad (11)$$

Для воздуха оно равно

$$(\theta - u_0)\rho_0 m_0(u - u_0) = -F + pm - p_0 m_0 \quad (12)$$

Для описания движения воздуха в возможных мельчайших трубочках – каналах необходимо оценить отношение площадей этих трубочек к рассматриваемой площади какого-либо сечения. Это отношение по аналогии, принятой в работе [5], может быть оценено просветностью ω и введением коэффициента $\beta = \beta(m)$. При этом предполагается, что часть песчинок неподвижна и скреплена между собой.

Тогда уравнения движения и сохранения энергии без учета массовых сил могут быть записаны по аналогии с [2]

$$\rho m \frac{du}{dt} = -P - \frac{\partial p \omega}{\partial z}; \quad \omega = m + (1 - m)\beta \quad (13)$$

$$\rho m \left[u \frac{du}{dt} + \frac{de}{dt} \right] = -Pv - \frac{\partial p \omega u}{\partial z} - A_p, \quad (14)$$

где $A_p = p(1 - \beta) \frac{Dv}{Dt}$ – работа, совершаемая воздухом на уменьшение пористости.

Предполагается, что при достижении определенного уровня плотности в рассматриваемом объеме формовочной смеси для заданной внешней нагрузки частицы песка становятся неподвижными ($v=0$) и истечение воздуха представляет собой фильтрацию через пористую среду. Тогда и представляется возможным определение фильтрационных характеристик в уплотняемой литейной форме (абсолютной скорости течения воздуха, скорости фильтрации и др.). Потери давления воздуха в этом случае будут зависеть от величины $m \cdot u$ [5] и от потерь давления воздуха при дросселировании через вентиляционные отверстия.

Заключение

Представленная методика моделирования, описывающая движение частиц песка и воздуха, является базой для создания системы моделирования процесса уплотнения песчаных форм при использовании метода SEIATSU для практических целей. Очевидно, что полученные теоретические решения (уравнения сохранения масс, изменения количества движения и баланса энергии) должны быть дополнены результатами экспериментальных исследований и данными из практики. Процессы фильтрации газа (с понижением и повышением давления), дросселирования (внезапного расширения), как наименее

изученные для рассматриваемых систем, требуют проведения отдельных исследований. Для создания базовой модели процесса уплотнения песчаных форм необходимо также рассмотреть вопросы, связанные с геометрией модельной плиты и другие технологические характеристики системы, учитывающие сложность формы. Исследование моделей позволит разработать практические рекомендации для повышения эффективности конкретных типов машин и режимов.

Литература:

1. Мушна К. Seiatsu – способ уплотнения форм воздушным потоком с прессованием. Литейное производство, 1992, №11, с. 14-16.
2. Христианович С.А. Неустановившееся течение грунтовой массы, содержащей в порах газ высокого давления. ФТПРПИ, № 3, 1982, с. 3-19.
3. Мамбеталиев Т. С., Подлесная Г. А. Модель процесса уплотнения формовочной смеси при GAS – IMPACT методе. В кн.: Современные технологии и управление качеством в образовании, науке и производстве: опыт адаптации и внедрения. Бишкек, 2001, с. 332-335.
4. Мамбеталиев Т.С. Исследование и моделирование процесса импульсного уплотнения песчаных форм. В кн.: Современное состояние научных исследований в Кыргызстане. Бишкек, 2001, с. 40-45.
5. Христианович С. А. Об основах теории фильтрации. ФТПРПИ, № 5, 1989, с. 3-18.

Рецензент: к.т.н., доцент Жумаев Т.Ж.