Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, 1986, т. 108

УДК 669.162.1

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ ПРИ УПЛОТНЕНИИ ФОРМ ВСТРЯХИВАНИЕМ С ВЕРХНЕЙ ПОДПРЕССОВКОЙ

А. П. БАТАЛОВ, И. А. ЕФИМОВ, Д. Ю. СЕРГЕЕВ

Изучение напряженно-деформированного состояния формовочной смеси при уплотнении является базой для разработки инженерных методов расчета рациональных технологических параметров процесса формовки, оптимизации параметров формовочных машин и оснастки, повышения качества отливок.

Формовочные смеси представляют собой агрегаты из твердых частиц кварцевого песка и других добавок в водно-глинистых оболочках с пустотами между ними. Формовочные смеси обладают сложным комплексом физико-механических свойств, проявляющихся в зависимости от состояния смеси. Так, в рыхлом состоянии формовочные смеси показывают свойства дискретной сыпучей среды. При уплотнении смеси происходит деформация глинистых оболочек и обнаруживаются упругие и вязко-пластические свойства. В исследованиях по теории формовки использовались различные модели, представляющие формовочную смесь как сплошное упруго-вязко-пластическое, сыпуче-связное или дискретное тело.

Наибольшее развитие получили математические модели формовочной смеси как сплошного тела [1,4,7-9], а также сыпуче-связного тела [5,6]. Более правильным, но и сложным для изучения является представление формовочной смеси в виде дискретной среды, изменяющей свои свойства в зависимости от поведения ее частиц при различных воздействиях на основе статистической механики. Общей разработке математической модели формовочной смеси как дискретной неоднородной среды посвящены работы [8,9].

Применим аналитическое исследование напряженно-деформированного состояния смеси в опоке без модели при уплотнении на встряхивающей машине с верхней подпрессовкой на основе дискретной модели сыпучей среды. Такая модель была подробно рассмотрена в статьях [2,3].

При свободном насыпании рыхлой формовочной смеси в круглую опоку распределенные давления в горизонтальной s и вертикальной p плоскостях определяются в соответствии со следующими формулами:

$$s = \frac{\gamma g D_{ц}}{4 f_1}\left(1 - u^{\frac{2h}{D_{ц} tg\beta}}\right); \qquad (1)$$

$$p = 0{,}3\,\frac{\gamma g\, tg\beta}{|\ell n\, u|}\left(1 - u^{\frac{2h}{D_{ц} tg\beta}}\right)\left(D_{ц} + \sqrt{D_{ц}^2 - 4x^2}\right); \qquad (2)$$

$$p_{ср} = \frac{\gamma g\, tg\beta D_{ц}}{2|\ell n\, u|}\left(1 - u^{\frac{2h}{D_{ц} tg\beta}}\right), \qquad (3)$$

где γ – плотность формовочной смеси, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, м/с^2; $D_ц$ – диаметр круглой опоки, м; f_1 – коэффициент трения формовочной смеси по стенкам опоки; h – глубина рассматриваемого сечения от верхней поверхности опоки, м; β – угол естественного откоса при свободном насыпании формовочной смеси, град.; x – расстояние рассматриваемого сечения от центра круглой опоки, м;

$$u = \frac{C_1 - f_1 A_1}{C_1 + f_1 A_1},$$

$$C_1 = \sin\beta + f\cos\beta\sqrt{\frac{1+\cos^2\beta}{1+\sin^2\beta}}; \quad A_1 = \cos\beta - f\sin\beta\sqrt{\frac{1+\cos^2\beta}{1+\sin^2\beta}};$$

f – коэффициент трения между частицами смеси.

Для прямоугольных опок распределенное горизонтальное давление можно определить на основе следующей зависимости:

$$s = \frac{\gamma g b}{2 f_1}\left(1 - u^{-\frac{h}{b\,tg\beta}}\right), \qquad (4)$$

где b – размер короткой стороны опоки; при размере длинной стороны опоки $\geqslant 1{,}5\,b$ пренебрегаем влиянием на распределение давлений коротких сторон.

Усредненное вертикальное давление на глубине h:

$$p_{ср} \cong \frac{\gamma g b\, tg\beta}{\ln u}\left(u^{-\frac{h}{b\,tg\beta}} - 1\right). \qquad (5)$$

При встряхивании смеси давление в ней возрастает в соответствии с величиной ускорений, которые приближенно изменяются по показательной функции в зависимости от глубины h рассматриваемого сечения при высоте опоки h_0,

$$a_h = g\, m^{h/h_0}, \qquad (6)$$

где m – кратность ускорений при встряхивании, $m = a/g \cong h_п/h_т$; a – ускорение встряхивающей плиты, м/с^2; $h_п$ – путь подъема плиты, м; $h_т$ – путь торможения плиты при уплотнении, м.

Для расчета напряжений смеси при уплотнении встряхиванием подставляем в формулы (I)-(4) вместо g значения a_h по формуле (6), что значительно изменяет распределение давлений в опоке.

При подпрессовке верхней плитой круглой опоки принимаем ее воздействие на формовочную смесь как равномерно распределенное давление интенсивностью q, благодаря чему на вертикальную площадку возрастает давление на величину

$$s_Δ = \frac{q\,|\ln u|}{2 f_1\, tg\beta}\, u^{-\frac{2h}{D_ц\, tg\beta}}, \qquad (7)$$

а на горизонтальную

$$p_{Δ ср} = q\, u^{-\frac{2h}{D_ц\, tg\beta}}. \qquad (8)$$

Подобные приращения давлений в прямоугольной опоке:

$$S_{\Delta} = \frac{q|\ln u|}{2f_1 \operatorname{tg}\beta} u^{\frac{h}{b\operatorname{tg}\beta}}; \qquad (9)$$

$$p_{\Delta ср} = q\, u^{\frac{h}{b\operatorname{tg}\beta}}. \qquad (10)$$

В результате встряхивания опок с последующей верхней подпрессовкой в формовочной смеси создаются напряжения, которые формовочная смесь "запоминает". Суммарные напряжения по вертикальным площадкам для круглых опок:

$$\sigma_1 = S + S_{\Delta} = \frac{\gamma g m^{h/h_0} D_{ц}}{4f_1}\left(1 - u^{\frac{2h}{D_{ц}\operatorname{tg}\beta}}\right) + \frac{q|\ln u|}{2f_1 \operatorname{tg}\beta} u^{\frac{2h}{D_{ц}\operatorname{tg}\beta}}; \qquad (11)$$

по горизонтальным площадкам для круглых опок:

$$\sigma_2 = p_{ср} + p_{\Delta ср} = \frac{\gamma g m^{h/h_0} \operatorname{tg}\beta D_{ц}}{2|\ln u|}\left(1 - u^{\frac{2h}{D_{ц}\operatorname{tg}\beta}}\right) + q\, u^{\frac{2h}{D_{ц}\operatorname{tg}\beta}}. \qquad (12)$$

Соответствующие суммарные напряжения для прямоугольных опок:

$$\sigma_1 = \frac{\gamma g m^{h/h_0} b}{2f_1}\left(1 - u^{\frac{h}{b\operatorname{tg}\beta}}\right) + \frac{q|\ln u|}{2f_1 \operatorname{tg}\beta} u^{\frac{h}{b\operatorname{tg}\beta}}; \qquad (13)$$

$$\sigma_2 = \frac{\gamma g m^{h/h_0} b \operatorname{tg}\beta}{|\ln u|}\left(1 - u^{\frac{h}{b\operatorname{tg}\beta}}\right) + q\, u^{\frac{h}{b\operatorname{tg}\beta}}. \qquad (14)$$

Рассчитаем вертикальные и горизонтальные напряжения в круглой и прямоугольной опоках при следующих исходных данных: g = 9,8 м/с^2; γ = = 1200 кг/м^3; $b = D_{ц}$ = 0,8 м; f_1 = 0,6; f = 0,6; β = 31^0; h_0 = 0,4 м; m = 30; 40; q = 0,5; 0,8 МПа; h = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 м. Такие параметры процесса характерны для песчано-глинистых формовочных смесей при использовании встряхивающих машин с верхней подпрессовывающей колодкой и металлических опок.

Результаты расчета по формулам (11)-(14) для круглых и прямоугольных опок без моделей при глубине рассматриваемых слоев 0,1; 0,2; 0,3 и 0,4 м приведены на рис.1. Анализ зависимостей (11)-(14) показывает, что при определенном сочетании исходных данных можно получать минимальные значения напряжений в полости формы, положение которых можно изменять комбинацией значений кратности ускорений при торможении m и интенсивности давления подпрессовки q. Величина напряжений и их распределение в значительной мере зависят от формы опок. В круглой опоке минимум напряжений находится в нижней четверти, а в прямоугольной – в верхней половине опоки (рис.1). Распределение напряжений зависит также и от конфигурации модели. На рис.2 приведены расчетные значения напряжений для прямоугольной опоки и металлической модели при m = 40 и q = 0,8 МПа. Минимальные значения напряжений возникают в узких и глубоких впадинах ("карманах") модели, где будут наименьшие плотность и прочность смеси. По рис.2 и расчету разница максимальных и минимальных напряжений – одиннадцатикратная.

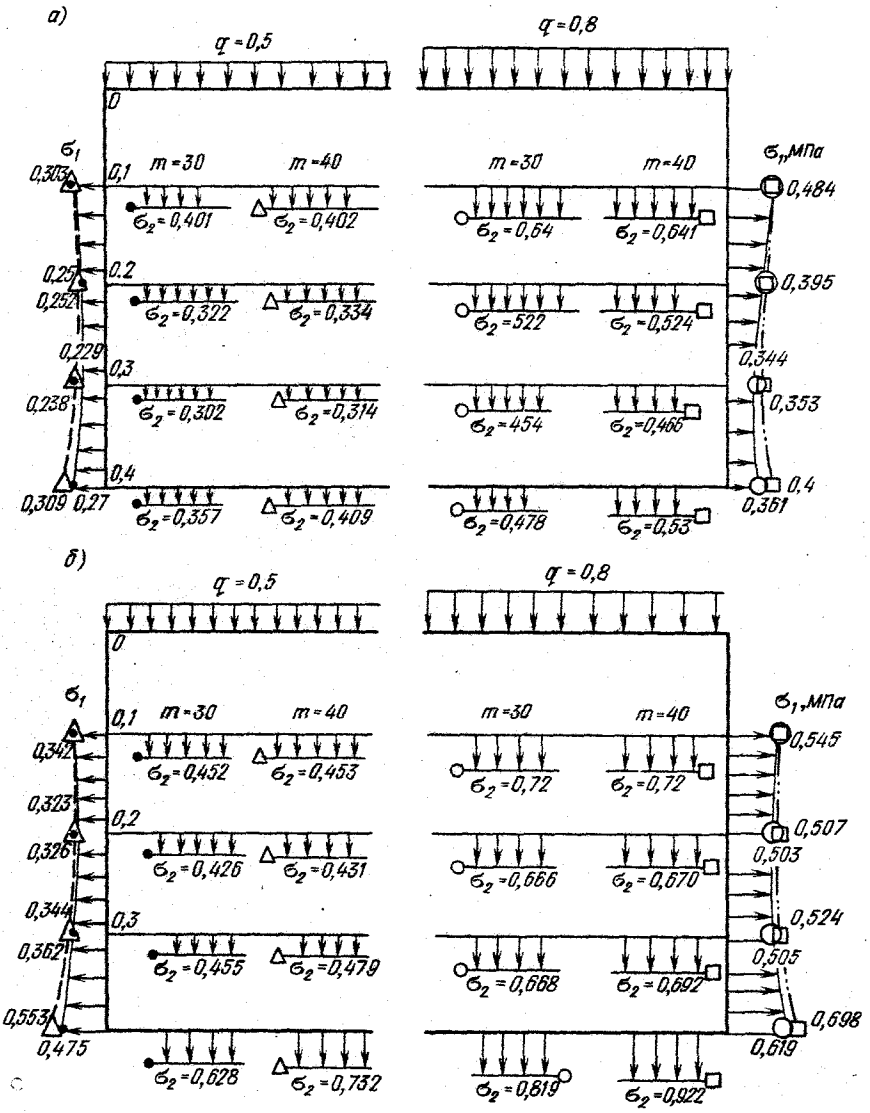


Рис. 1. Распределение напряжений в смеси при "пустых" круглых (а) и прямоугольных (б) опоках

• – m = 30; q = 0,5 МПа; □ – m = 40; q = 0,8 МПа; ○ – m = 30; q = 0,8 МПа; △ – m = 40; q = 0,5 МПа

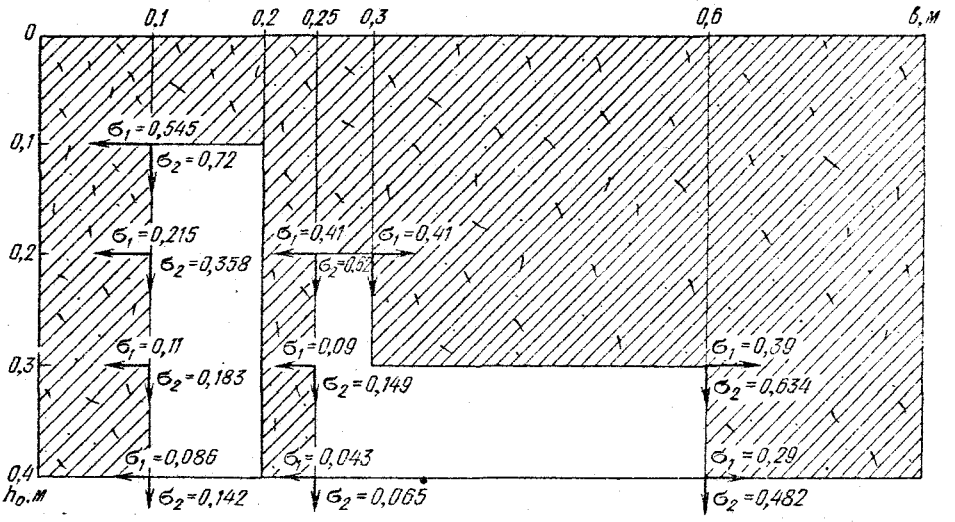


Рис. 2. Распределение напряжений в прямоугольной опоке при $h_0 = 0{,}4$ м, $b = 0{,}8$ м с моделью

Все приведенные расчетные зависимости содержат параметры, имеющие четкий физический смысл, и позволяют оценить уровень напряжений в формовочной смеси при уплотнении встряхиванием с верхней подпрессовкой. Эти данные позволяют расчетом определить зоны низких напряжений, а следовательно, и малой прочности формы, подобрать оптимальные технологические параметры процесса и приемов формовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баландин Г.Ф. Об эмпирических уравнениях уплотнения форм прессованием. – Известия вузов, Машиностроение, 1968, № 1.

2. Баталов А.П. Аналитический способ решения задачи о распределении сил давления сыпучем. – Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1970, № 5.

3. Баталов А.П. К аналитическому решению задач о распределении сил давления в сыпучем, находящемся в вертикальном цилиндрическом сосуде. – В кн.: Развитие калийной промышленности. Л., изд. ВНИИГ, 1970, вып. 3.

4. Воробьев М.И., Семенов В.И. Исследование уплотнения форм прессованием. – Известия вузов, Машиностроение, 1964, № 1.

5. Киян Э.Ф., Иванов Д.П., Комаров Л.Е. Методы исследования уплотнения форм прессованием. – Известия вузов, Машиностроение, 1968, № 5.

6. Орлов Г.М. Некоторые закономерности механики формовочных смесей. – Известия вузов, Машиностроение, 1970, № 11.

7. Степанов А.А., Воронин М.П., Боровский Ю.В. и др. Структурные характеристики формовочных песков. – Известия вузов, Литейное производство, 1969, № 4.

8. Теория формовки / Под ред. Б.Б. Гуляева. М., Изд-во АН СССР, 1961.

9. Технологические свойства формовочных смесей / Под ред. Б.Б. Гуляева. М., Наука, 1968.

10. Формирование качества поверхности отливок / Под ред. Б.Б. Гуляева. М., Наука, 1969.