Как следует из вывода формулы (13) деформации в нее необходимо подставлять по модулю.

Таким образом, при нахождении величины модуля сдвига необходимо определить площадь поперечного сечения стержня, приложить по оси стержня растягивающую силу, определить относительную продольную и относительную поперечную деформации. Такой подход является удобным при выполнении экспериментальных исследований по определению физической постоянной материала — модуля сдвига.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подскребко, М.Д. Сопротивление материалов: учебник / М.Д.Подскребко. – Мн.: Выш. шк., 2007. – 797 с.

УДК 662.6/9

ТЕОРЕТИЧЕСКЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПЕЛЛЕТ

Е.С. Кабак, А.В. Волче – студенты 3 курса БГАТУ
Научный руководитель – к.т.н., доцент Д.М. Гайдукевич

Пеллеты образуются посредством прессования под давлением в сотни атмосфер предварительно измельчённых отходов растительного происхождения в многочисленные отверстия (фильеры) специальных дисковых или кольцевых матриц, в которых собственно и происходит процесс агрегатирования. В этой связи при разработке оборудования необходимо учесть условия, обеспечивающие образование пеллет, определить параметры процесса, а затем обеспечивать эти параметры с помощью соответствующего оборудования. Для достижения этой цели выполняется серия экспериментов по прессованию сыпучего материала в недеформируемой цилиндрической капсуле. В результате определяется уравнение состояния деформируемой среды, выражающее собой зависимость давления прессования $P_{пр}$ от степени сжатия λ, характеризующей изменения первоначального объёма недеформированной среды.

Уравнения состояния недеформируемой среды используется далее для расчёта энергии формообразования единицы объёма исходного материала, необходимой для последующего энергетического анализа и расчёта параметров прессового оборудования.

Для оценки верхнего значения энергии формообразования $E(\lambda)$ связь между давлением и степенью сжатия аппроксимировалась линейной зависимостью

$$E(\lambda)=\frac{P_{\text{пр}}}{\lambda_{\text{пр}}}\times\ln\lambda\,. \qquad (1)$$

Для определения вклада в (1) энергии, соответствующей работе сил трения о стенки цилиндрического отверстия фильеры, принималось, что сила давления передающаяся на боковую поверхность пропорционально величине давления в продольном направлении с коэффициентом пропорциональности μ (μ – аналог коэффициента Пуассона).

В указанном приближении приходим к расчетной зависимости, характеризующей эффективность процесса прессования через коэффициент полезного действия

$$\eta=1-\frac{4G\left(\lambda_{\text{пр}}-1\right)\times\mu\times f}{\lambda_{\text{пр}}\times\ln\lambda_{\text{пр}}}, \qquad (2)$$

где f – коэффициент трения; $G=L/D$ – соответствующий параметр формы отверстия фильеры.

Полученные зависимости и изложенный анализ используем далее для определения условий, которым должны удовлетворять отверстия матрицы. Исходя из технологической необходимости отверстия в матрице выполняются из двух частей, приемной конической с параметрами l и α и рабочей цилиндрической с параметрами L и D, где и происходит формирование готовой продукции (рис. 1).

Для исключения залипания прессуемого материала на стенках приёмной части отверстия, параметр α необходимо выбирать из условия

$$\alpha>\text{arctg}f\,, \qquad (3)$$

т. е. угол α должен быть больше угла трения и угла естественного откоса. Исходя из условия перехода материала из приёмной части в рабочую, за один проход, необходимо удовлетворить требованиям равенства объёмов

$$2\prod D^2L=\frac{1}{2}l\left[-\prod D^2+\prod\left(D+l\times\text{ctg}\alpha\right)^2\right], \qquad (4)$$

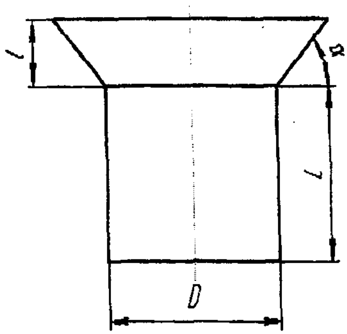

Рис. 1

Давление P на границе отверстия должно определяться условием равновесия верхней части (рис. 2)

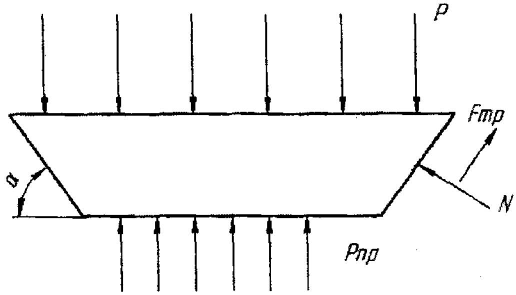

Рис. 2

Для определения связи между P и $P_{пр.}$ целесообразно упростить расчёты, пологая что сила N обусловлена взаимодействием однородного давления $P = P_{пр.}$, тогда

$$N = P_{пр} \times \cos\alpha \,, \tag{5}$$

$$F_{тр} = f \times N \,, \tag{6}$$

где N и $F_{тр}$ – силы действующие на единицу поверхности. Из условия равновесия элемента на рисунке 2. находим

$$N \cdot S_б \cdot \sin\alpha + F_{тр} \cdot S_б \cdot \cos\alpha + P_{пр} \cdot \pi \cdot D^2 = P \cdot \pi \cdot \left(D + l \cdot \mathrm{tg}\alpha\right)^2 \,, \tag{7}$$

Для оценки верхней границы величины давления используем

$$S_б = \pi \cdot \left(D + \frac{l}{D} \cdot \mathrm{ctg}\alpha\right) \cdot l \,, \tag{8}$$

тогда

$$P_{\text{В}} = P_{\text{тб}}\left[\left(1+\frac{1}{D}\operatorname{ctg}\alpha\right)^2+\cos\alpha\left(1+\frac{1}{2D}\operatorname{ctg}\alpha\right)+f\cdot\cos\alpha\left(1+\frac{1}{2D}\operatorname{ctg}\alpha\right)\right]. \quad (9)$$

Формула (9) используется для расчёта нижней границы давления в зоне прессования в зависимости от параметров приёмной части отверстия в матрице.

Теперь рассмотрим равновесие элемента в цилиндрической части отверстия. Если приёмная часть рассматривалась в целом, то здесь необходимо рассматривать два случая для определения длинны L. Необходимо рассмотреть равновесие всего элемента с учётом текущего состояния. Для установления зависимости $P=P(x)$ выделим слой толщиной x (рис. 3), тогда

$$\frac{dN}{dS}=P(x), \quad (10)$$

$$\frac{dF_{\text{тр}}}{dS}=f\cdot\mu\cdot P(x), \quad (11)$$

где: dS – элемент площади боковой поверхности; $P(x)$ и $P(x+dx)$ давления в поперечных сечениях x и $x+dx$.

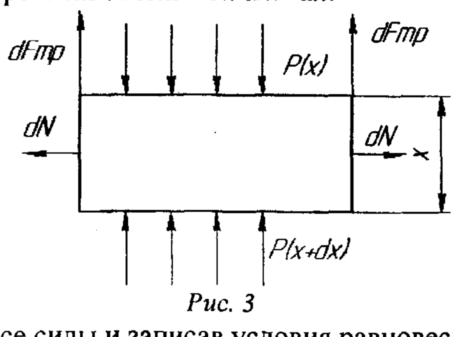

Рис. 3

Суммируя все силы и записав условия равновесия слоя, полчим

$$P(x)\cdot\pi r^{2p}-P(x+dx)\cdot\pi D^2=2\pi Ddx\cdot f\cdot\mu\cdot P(x) \quad (12)$$

или

$$-\frac{dP}{dx}=\frac{2}{D}f\mu P. \quad (13)$$

Интегрируя (13), получим

$$P=P_{\text{пр}}\cdot e^{-\frac{2f\mu}{D}x}. \quad (14)$$

Предельное значение L определяется из (14), положив P =

1 атм, если $P_{пр}$ измеряется в атмосферах

$$\frac{2f\mu}{D} \cdot \leq l_п \cdot P_{пр}, \tag{15}$$

откуда

$$\frac{D}{L} \geq \frac{2\mu f}{l_п \cdot P_{пр}}. \tag{16}$$

Ограничение параметра L определено условием выдавливания пеллеты, т.е. когда движущая сила равная $P_{пр} \cdot \pi \cdot D^2$ будет больше силы трения, определяемой величиной равной $P_{пр} \cdot \mu \cdot f \cdot 2 \cdot \pi \cdot D \cdot L$.

Составим неравенство обеспечивающее выдавливание прессуемой массы из отверстия в матрице

$$P_{пр}\pi D^2 \geq P_{пр} f 2\pi DL. \tag{17}$$

Из (17) получим:

$$L \leq \frac{\pi D^2}{2\pi D\mu f} = \frac{D}{2\mu f} \tag{18}$$

Таким образом, можно ограничиться условием

$$\frac{D}{L} \geq 2f\mu \tag{19}$$

Условие (19) более жесткое по сравнению с (16) поэтому в дальнейшем будем опираться на (19).

Отметим еще одно требование которое необходимо учесть для того чтобы повысить качество получаемого товара. Дело в том, что при достижении в верхней зоне цилиндрического участка давлений равных предельному формируется твердотельное состояние материала и его физико-механическое поведение подчиняется закону Гука

$$P = E \cdot \varepsilon \tag{20}$$

где: P – величина давления; E – модуль упругости первого рода.

Из (19), с учетом коэффициента Пуассона, можно определить величину поперечной деформации

$$\varepsilon = \frac{P}{E} \cdot \mu. \tag{21}$$

Формула (21) служит для расчёта величины расширения цилиндрической части отверстия, чтобы по мере падения давления при приближении к выходу (рис. 4) происходило постепенное величение диаметра пеллеты, исключающее её растрескивание.

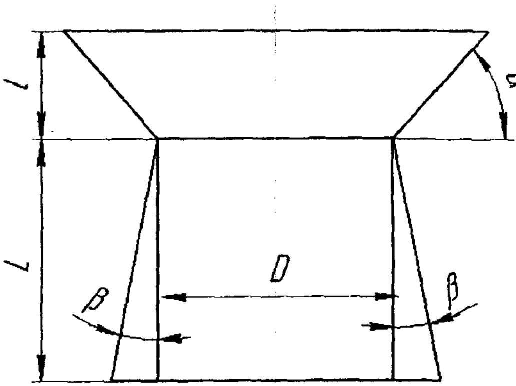

Рис. 4

Из рисунка 4 видно, что угол β определен условием:

$$tg\beta \approx \varepsilon \frac{D}{L}. \qquad (22)$$

С учетом (22) условие (23) пример вид:

$$\mathrm{tg}\beta = \frac{P_{\text{пр}} \cdot \mu \cdot G}{2E}. \qquad (23)$$

На основании выполненного анализа получена система уравнений, определяющая параметры отверстий матрицы для формирования пеллет.

Исходя из численного значения параметра D, заданного техническим заданием, по формуле (18) находим значение параметра L, далее по формуле (23) определяем величину угла β, что позволяет при α=arctg$f$ определить значение параметра L. Далее, используя выражение (9), определяем величину давления $P_{\text{В}}$ которое должно развиваться в контактной зоне, что позволяет выполнить анализ процессов, происходящих в зоне контакта катка и матрицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тиайненен В.С. Преимущества прессового биотоплива: топливные гранулы и брикеты. Леспроминформ, № 11, 2003 г., с. 42-45.

2. http: //pellets.ucoz.su/index/0-5.