

Е.Б.ЛОЖЕЧНИКОВ, А.К.ГАВРИЛЕНЯ

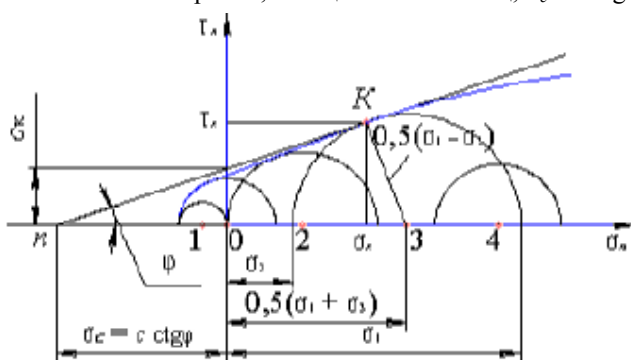
Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Учреждение образования  
«БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Минск, Барановичи, Беларусь

Находящийся между встречно вращающимися валками материал испытывает с ними силовое взаимодействие, определяемое граничными условиями и его физическими свойствами и состоянием.

Различие свойств твердых компактных и порошковых связноспучих материалов предопределяет отличия условий и механизмов их деформации. Частицы твердых компактных материалов, представляющие в массе порошок, находятся в контактом взаимодействии, определяемом критерием прочности Мора–Кулона – математическим описанием криволинейной огибающей кругов напряжения (рис. 1):

$$\tau_n = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + c = (\sigma_n + \sigma_c) \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где  $\tau_n$  и  $\sigma_n$  – касательное и нормальное напряжения к поверхностям сдвига;  $\varphi$  – угол межчастичного трения;  $c$  – сцепление частиц;  $\sigma_c = c \operatorname{ctg} \varphi$  [1, 2].



0 – чистый сдвиг,  $\tau_n = c$ ; 1 – одноосное растяжение,  $\sigma_n = -\sigma_1$ ;

2 – одноосное сжатие,  $\sigma_n = \sigma_1$ ; 3 – двухосное сжатие;

4 – двухосное сжатие без сдвига

Рис. 1. Диаграмма кругов предельного состояния Мора

Увеличение внешней нагрузки сопровождается ростом контактных между частицами напряжений, деформацией частиц и увеличением плотности твердого порошкового материала, описываемая выражением, [3, 4]

$$\rho_{\sigma} = \rho_{н} + kp^m, \quad (2)$$

где  $\rho_{\sigma}$ ,  $\rho_{н}$  – плотности твердого порошкового материала соответственно под давлением и насыпная;  $k$  и  $m$  – определяемые экспериментально параметры.

Пластическая деформация частиц, представляющих твердые компактные материалы, определяется условием пластичности Сен-Венана–Треска [5]:

$$\sigma_{\sigma_1} - \sigma_{\sigma_3} = \beta\sigma_s, \quad (3)$$

где  $\sigma_{\sigma_1}$  и  $\sigma_{\sigma_3}$  – большее и меньшее главные напряжения;  $\beta = 1 \dots 1,15$  – коэффициент напряженного состояния;  $\sigma_s$  – предел текучести материала.

Условие структурной (межзерной) деформации твердых порошковых материалов в виде разности главных напряжений, значение которой вытекает из рис. 1, имеет вид

$$\sigma_1 - \sigma_3 = (\sigma_1 + \sigma_3)\sin\varphi + 2c\cos\varphi. \quad (4)$$

Из этого следует, что условие деформации твердых порошковых материалов определяется не только их свойствами, но и величиной меньшего, а следовательно, и среднего  $\sigma = 0,5(\sigma_1 + \sigma_3)$  напряжений. Это, как и изменение объема (плотности) обрабатываемого давлением твердого порошкового материала, представляет собой отличие условий его деформации от твердых компактных материалов, уменьшающееся с увеличением давления прессования. В пределе по достижении компактного состояния вследствие  $\varphi \rightarrow 0$ , а  $2c \rightarrow \sigma_s$  выражение (4) преобразуется в (3).

Поскольку сцепление частиц уплотненного твердого порошкового материала меньше прочности его частиц ( $2c \leq \sigma_s$ ), условие (4) свидетельствует о возможности межзерной деформации ранее уплотненного твердого порошкового материала внешним нагружением, меньшим предшествующей обработке при условии уменьшения среднего и меньшего главного напряжений. В этом случае деформация вызывает разрыв ранее образовавшихся и образование новых контактов между частицами, площадь и прочность сцепления которых определяются действующими между ними напряжениями с возможностью разрушения уплотненного твердого порошкового материала на частицы, размер которых меньше исходного.

Условие деформации и разрушения частиц обрабатываемого давлением твердого порошкового материала определили совместным решением выражений (3) и (4):  $\sigma_s = (\sigma_1 + \sigma_3)\sin\varphi + 2c\cos\varphi$ , преобразованием которого получена величина среднего напряжения, вызывающего деформацию и измельчение твердого порошкового материала:

$$\sigma = (k_{\sigma} \sigma_s - 2c \cos \varphi) v_{\sigma} / 2 \sin \varphi, \quad (5)$$

где  $k_{\sigma} = \sigma_b / \sigma_s$  – коэффициент, учитывающий деформационную способность материала частиц; относительная плотность материала  $v_{\sigma}$  учитывает реальную площадь его сечения.

При этом большее главное напряжение определяется из известного соотношения напряжений в твердом порошковом материале:

$$\sigma_1 = \sigma (1 + \sin \varphi) - \sigma_c. \quad (6)$$

Затем по известным формулам [3] рассчитывают усилие на валки, крутящий момент и мощность привода валков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Соколовский, В. В.** Статика сыпучей среды / В. В. Соколовский. – М.: Физматгиз, 1966. – 243 с.
2. **Харр, М. Е.** Основы теоретической механики грунтов / М. Е. Харр. – М.: Стройиздат, 1971. – 320 с.
3. **Ложечников, Е. Б.** Прокатка в порошковой металлургии / Е. Б. Ложечников. – М.: Металлургия, 1987. – 185 с.
4. **Жданович, Г. М.** Теория прессования металлических порошков / Г. М. Жданович. – М.: Металлургия, 1968. – 268 с.
5. **Целиков, А. И.** Теория продольной прокатки / А. И. Целиков, Г.С. Никитин, С.Е. Рокотян. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.