

PACS: 81.40.Lm, 62.20.Fe

В.Г. Сынков

СРАВНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАТРИЦ ПРИ ГИДРОЭКСТРУЗИИ И ВОЛОЧЕНИИ

Институт физики горных процессов НАН Украины
ул. Р. Люксембург, г. Донецк, 83114, Украина

Статья поступила в редакцию 5 марта 2004 года

Тензометрией и методом конечных элементов проведено сравнение напряженного состояния поверхности рабочего канала матриц при гидропрессовании и волочении металлов.

При формоизменении материалов обработкой давлением (волочение, прессование, гидроэкструзия) широко применяются камеры высокого давления с переменной по длине толстостенностью (матрицы, фильеры). Их внутренний канал состоит из сопряженных конических и цилиндрических участков, а нагрузка распределена на части длины поверхности рабочего канала. Аналитическое исследование напряженно-деформированного состояния таких матриц встречает серьезные трудности даже при самых простых формах распределения нагрузок. Это связано с поиском решения системы дифференциальных уравнений (выраженных через функцию напряжений), удовлетворяющего граничным условиям на внутренней и наружной поверхностях при реальных геометрических соотношениях узла: $H/D \approx 1$ (где H – высота, D – наружный диаметр матрицы) [1]. Особый интерес представляют результаты тензометрии наружной поверхности модели матрицы, нагруженной по схеме гидроэкструзии [2], и сопоставление их с данными, полученными при моделировании волочения [3].

Геометрические соотношения модели определяются параметрами рабочего канала нагружающего контейнера: $H = 40$ mm, $D = 40$ mm, $d_k = 8$ mm, $h_k = 5$ mm, $\alpha = 10^\circ$ (где d_k , h_k – соответственно диаметр и высота калибрующего отверстия, α – угол наклона образующей рабочего канала к оси), которые близки к аналогичным при моделировании волочения. Длина участка нагружения $h_l = 12.5$ mm, расстояние от участка нагружения до тонкого торца $h_0 = 22.5$ mm.

Коэффициент трения в матрице при ее взаимодействии с заготовкой определяли методом Бриджмена [2]. Делали запись деформации поверхности матрицы в функции давления жидкости P_f , а затем сравнивали давление на этапах разгрузки P_{unl} и нагрузки P_l при одинаковых деформациях. Коэффициент трения f_f и контактное напряжение в зоне заготовки P_c определяли из соотношений:

$$f_f = \frac{P_{\text{unl}} - P_l}{P_{\text{unl}} + P_l} \text{tg}\alpha, \quad P_c = \frac{P_f R^2}{(R^2 - r^2)(1 + f_f \text{ctg}\alpha)},$$

где R, r – соответственно максимальный и минимальный радиусы контакта заготовки с моделью матрицы. Коэффициент трения $f_f = 0.04–0.06$.

При значениях отношения $R^2/r^2 < 5$ контактное напряжение P_c , как правило, превышает нагружающее давление P_f . Деформацию от воздействия заготовки на матрицу вычисляли следующим образом. Из общей деформации наружной поверхности при давлении нагружения P_f и контактном давлении P_c вычитали деформацию, соответствующую нагружению только давлением P_f по всей образующей матрицы (эту деформацию измеряли предварительно при гидростатическом нагружении конусной части матрицы). Затем оставшуюся долю деформаций нормировали по разности $P_c - P_f$ и путем умножения на P_c получали величину деформации только от взаимодействия заготовки с матрицей ε_b .

Анализ соотношения для контактного напряжения между заготовкой и матрицей применительно к процессам гидрокструзии труднодеформируемых материалов ($f = 0.05–0.1$, $\alpha = 10–20^\circ$, $\mu = 1.5–3$) показывает, что параметр P_c/P_f может достигать значений 2–2.5, особенно при относительно небольших вытяжках $\mu = 1.5–2$ ($\mu = R^2/r^2$). С учетом изложенного при сравнительно небольших давлениях на пресс-штемпеле $P_f = 1–1.2$ ГПа контактное давление в матрицах может составлять $P_c = 2–2.3$ ГПа, что необходимо учитывать при их проектировании.

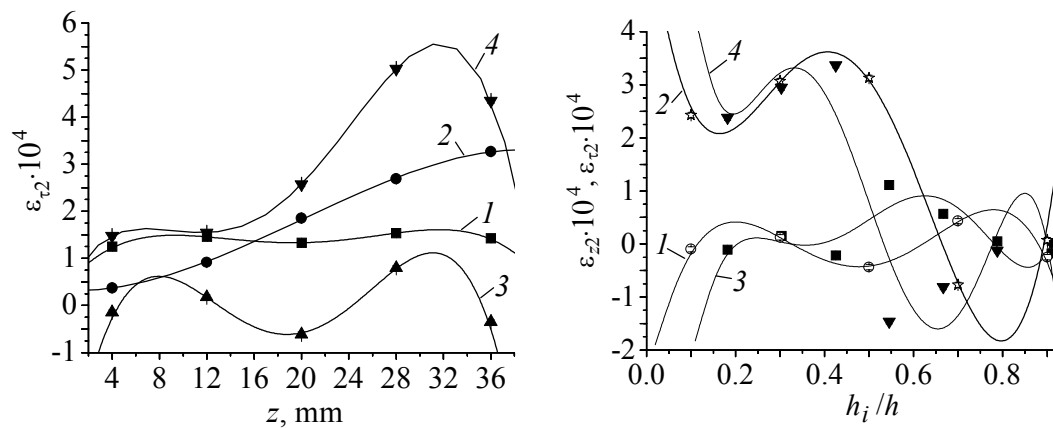


Рис. 1. Зависимость окружных $\varepsilon_{\tau 2}$ компонент деформаций наружной поверхности модели матрицы: 1 – от торцевого поджима, 2 – от гидростатического нагружения $P_f = 100$ МПа, 3 – от контакта матрицы с заготовкой ($\bar{h}_l = h_l/H = 0.313$; $\bar{h}_0 = h_0/H = 0.563$), 4 – суммарные значения окружных напряжений

Рис. 2. Сравнение окружных $\varepsilon_{\tau 2}$ и осевых ε_{z2} деформаций наружной поверхности модели при нагружении жидкостью (соответственно кривые 1, 2) и при волочении (кривые 3, 4)

На рис. 1 представлено распределение компонент деформации наружной поверхности модели матрицы из бронзы БрБ2 по ее высоте z при $P_f = 100$ МПа (диаметр заготовки $d_b = 12.4$ мм). Предварительный поджим матрицы к контейнеру $F_l = 2 \cdot 10^4$ Н, при давлении $P_f = 100$ МПа поджим $F_l = 1.76 \cdot 10^4$ Н, коэффициент трения $f_f = 0.04$, контактное давление $P_c = 140$ МПа.

По результатам измерения деформаций $\varepsilon_{\tau 2}$, $\varepsilon_{z 2}$ модели, нагруженной волочением на участке $\bar{h}_l = 0.334$ [3], и модели, нагруженной по схеме гидроэкструзии $\bar{h}_l = 0.313$ [2] (рис. 2), а также с использованием соотношений между окружными напряжениями $\sigma_{\tau 1}/\sigma_{\tau 2}$ (рис. 3), полученных методом конечных элементов [4], проведено сравнение напряжений на поверхности рабочего канала при гидроэкструзии и волочении (рис. 4). Некоторое расхождение между значениями деформаций в сечениях моделей $h_i/H = 0.5-0.6$ связано, по-видимому, с разным расположением верхней границы зоны нагружения ($h_0/H = 0.5$ и 0.563) и с тем, что при гидроэкструзии оба торца модели сжаты плитами, а при волочении – только один из торцов контактирует с месдозой.

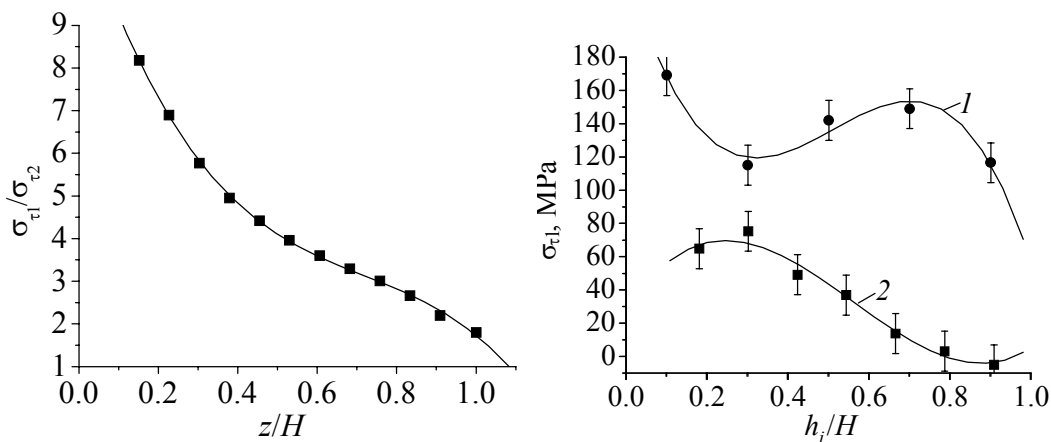


Рис. 3. Зависимость соотношения $\sigma_{\tau 1}/\sigma_{\tau 2}$ от приведенного текущего сечения z/H

Рис. 4. Сравнение окружных напряжений $\sigma_{\tau 1}$ на поверхности рабочего канала при гидроэкструзии (1) и волочении (2)

Таким образом, более жесткие условия нагружения матрицы наблюдаются при достаточно малой относительной высоте нагружения \bar{h}_l и деформировании заготовки гидропрессованием. По мере роста \bar{h}_l расхождение, очевидно, будет уменьшаться, поскольку доля нагрузки на рабочий канал от столба жидкости над заготовкой будет снижаться. Кроме того, работа трения при деформировании жидкостью существенно ниже, чем при волочении. Необычно также распределение окружного напряжения в зоне опорного торца матрицы и в верхнем сечении контакта заготовки с моделью. Такое поведение окружного напряжения можно отнести на счет силы трения, ограничивающей свободное радиальное смещение опорного торца модели.

1. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник, Т. 2, И.А. Бергер, Я.Г. Пановко (ред.), Машиностроение, Москва (1968).
2. В.Г. Сынков, С.А. Бричко, А.А. Стребуль, ФТВД вып. 22, 82 (1986).
3. В.Г. Сынков, Сборник научных трудов международной научно-технической конференции «Новые наукоемкие технологии, оборудование и оснастка для обработки материалов давлением», Краматорск (2004), с. 115.
4. В.Г. Сынков, О.Е. Глауберман, Е.И. Вербицкий, ФТВД вып. 22, 85 (1986).

V.G. Synkov

COMPARISON OF THE STRESSED–STRAINED STATE OF DIES UNDER HYDROSTATIC EXTRUSION AND DRAWING

Comparison of the strained state of channel surface of dies under hydroextrusion and drawing of metals has been carried out by strain measurement method and finite element method.

Fig. 1. Dependence of hoop $\varepsilon_{\tau 2}$ component of strain for outer surface of die model on: 1 – end-face loading, 2 – hydrostatic loading $P_f = 100$ МПа, 3 – contact between die and billet ($\bar{h}_l = h_l / H = 0.313$; $\bar{h}_0 = h_0 / H = 0.563$), 4 – total values of hoop strain

Fig. 2. Comparison of hoop $\varepsilon_{\tau 2}$ and axial $\varepsilon_{z 2}$ strain for outer surface of the model upon loading with liquid (curves 1, 2, respectively) and under drawing (curves 3, 4)

Fig. 3. Dependence of $\sigma_{\tau 1} / \sigma_{\tau 2}$ ratio on reduced current section z / H

Fig. 4. Comparison of hoop strains $\sigma_{\tau 1}$ on channel surface during hydroextrusion (1) and drawing (2)