

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ СВОБОДНОМ ДОРНОВАНИИ ПОЛОГО ЦИЛИНДРА

Рябичева Л.А., Белозир И.И.

Луганский государственный университет имени Владимира Даля, Луганск

Ключевые слова: порошковая заготовка, свободное дорнование, интенсивность напряжений, интенсивность деформаций, скорость течения, гидростатическое сжатие, пористость.

Аннотация. Рассмотрено влияние исходной пористости цилиндрических полых заготовок на напряженно-деформированное состояние при свободном дорновании. Показано, что с ростом исходной пористости уменьшаются интенсивность напряжений, деформаций, полная скорость течения металла и увеличивается гидростатическое сжатие, что является причиной роста очага деформации, а также окружных, радиальных и осевых напряжений, и способствует уплотнению материала.

INFLUENCE OF POROSITY ON THE STRESS-STRAIN STATE WITH OF FREE BURNISHING OF A HOLLOW CYLINDER

Ryabicheva L.A., Belozir I.I.

Vladimir Dahl Lugansk State University, Lugansk

Keywords: powder billet, free burnishing, stress intensity, strain intensity, flow rate, hydrostatic compression, porosity.

Abstract. The influence of the initial porosity of cylindrical hollow billets on the stress-strain state during free burnishing is considered. It is shown, that with an increase in the initial porosity, the intensity of stresses, deformations, the total metal flow rate decrease and hydrostatic compression increases, which causes the growth of the deformation zone, as well as circumferential, radial and axial stresses, and contributes to material compaction.

В машиностроении для повышения износостойкости деталей типа тел вращения применяется свободное дорнование и дорнование в обойме [1]. Эти методы поверхностной пластической деформации позволяют улучшить качество поверхности отверстий деталей и упрочнить поверхностный слой. В результате механические свойства поверхностного слоя будут отличаться от свойств основного материала, из которого сделана деталь [2].

Целью работы является исследование влияния пористости заготовки на напряженно-деформированное состояние полого цилиндра при свободном дорновании.

В качестве исходного материала использован образец с исходной пористостью 5, 15 и 20%, выполненный из смеси медного порошка марки ПМС-1 и порошка титана марки ВТ-1-0 (6%).

Свободное дорнование осуществляли по схеме, представленной в работе [3]. Размеры полого цилиндра: исходный внутренний диаметр $d_0 = 9,8$ мм, наружный диаметр $D_0 = 28$ мм, длина $L_0 = 20$ мм, исходная пористость 6, 15 и 24%.

Компьютерное моделирование осуществляли в пакете Deform 10.2. Принимали диаметр однозубого дорна по ленточке $d = 10$ мм; ленточка шириной

$b = 1$ мм; угол заборного конуса $\alpha = 4^\circ$; угол обратного конуса $\alpha_1 = 4^\circ$; в месте перехода конической части дорна в цилиндрическую кромка скруглена до $R = 0,2$ мм. Размеры цилиндра: исходный внутренний диаметр $d_0 = 9,8$ мм, наружный диаметр $D_0 = 28$ мм, длина $L_0 = 20$ мм, Натяг дорнования составлял $i = d - d_0 = 0,2$ мм. Скорость дорнования $v = 2$ мм/с.

Для моделирования использован вариант теории пластичности пористых тел, предложенный в работе [4]. В его основе лежит представление о пластическом потенциале, как о функции компонентов тензора напряжений, которому в пространстве напряжений соответствуют гладкая, выпуклая и замкнутая поверхность. На основе многочисленных экспериментальных и теоретических исследований он может быть представлен в форме:

$$F = \frac{\tau^2}{\varphi} + (1+m)^2 \frac{\left(p + \frac{m}{m+1} \bar{\rho} \sigma_s \sqrt{\psi} \right)}{\psi} - \bar{\rho} \sigma_s ,$$

где $p = \frac{1}{3} \sigma_{ij} \delta_{ij}$ – гидростатическое давление;

$\tau = \sqrt{(\sigma_{ij} - p\delta_{ij})(\sigma_{ij} - p\delta_{ij})}$ – интенсивность касательных напряжений.

Пористость θ или относительная плотность $\bar{\rho}$ связаны между собой соотношением $\bar{\rho} = 1 - \theta$.

Функции пористости согласно [5] описываются:

$$\varphi = (1 - \theta)^2 , \quad \psi = \frac{2(1 - \theta)^2}{\theta} .$$

Параметр m характеризует степень несовершенства контактов в порошковой заготовке. Он же определяет различное сопротивление пористой заготовки при ее испытании на растяжение и сжатие. Параметр σ_s характеризует напряжение течения твердой фазы пористого тела.

Для описания трения использован закон трения Зибеля $\tau_f = m\sigma_s$, где m – фактор трения; для процессов холодной деформации при наличии смазки следует принять $m = 0,08$.

Компоненты тензора напряжений описывают напряженное состояние точки в деформированной области. Интенсивность напряжений σ_i характеризует касательное напряжение на элементарной площадке, одинаково наклонённой к главным осям, что позволяет сравнить изменение напряжений при дорновании полого цилиндра в различных условиях. Иначе, интенсивность напряжений характеризует наличие пластической деформации при $\sigma_i = \sigma_s$.

На рисунке 1,а показано изменение интенсивности напряжений в очаге деформации при различных величинах исходной пористости образцов. Наибольшая интенсивность напряжений до 220 МПа наблюдаются в очаге деформации при исходной пористости 5%. С ростом пористости материала величина интенсивности напряжений уменьшается и при 20% составляет 145 МПа. Наибольшая величина очага деформации, в котором происходит и уплотнение материала, также наблюдается в материале при пористости 5%. При

этом кривые отличаются размерами очага деформации. Если при пористости 5% ширина очага деформации x составляет 1,8 мм, то при пористости 15% она равна 1,4 мм, а при 20% – 1 мм. Такое изменение размера очага деформации свидетельствует о том, что именно при больших значениях исходной пористости в начальный период дорнования происходит структурная деформация под действием гидростатического сжатия (рис. 1, б) [6].

Гидростатическое сжатие характеризует изменение объема материала заготовки, что важно для пористых материалов, для которых не соблюдается закон постоянства объема, а соблюдается закон постоянства массы. Величина гидростатического сжатия дает возможность проследить трансформацию очага уплотнения в очаг деформации.

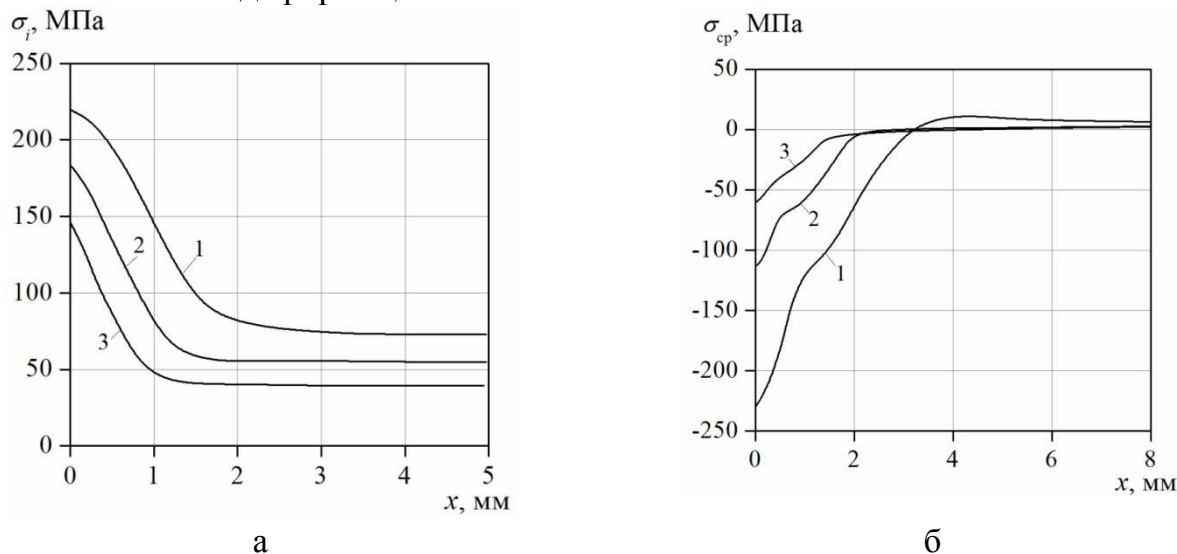


Рис. 1. Зависимости интенсивности напряжений – а, гидростатического сжатия – б в очаге деформации при исходной пористости материала: 1 – 5%; 2 – 15%; 3 – 20%

Для всех исследуемых случаев происходит рост гидростатического сжатия до некоторого увеличения очага уплотнения, который при определенных условиях трансформируется в очаг деформации.

При дорновании полого цилиндра с исходной пористостью 5% создаются более высокие сжимающие напряжения вследствие пластической деформации твердой фазы. У полых цилиндров с большей исходной пористостью эти величины меньше, что и объясняет невозможность получения высокой плотности материала при дорновании.

На рисунке 2 показаны эпюры окружных, радиальных и осевых напряжений в очаге деформации при дорновании. Для всех исследуемых образцов окружные напряжения являются сжимающими, переходящими к растягивающим и затем к нулевым напряжениям по мере удаления от образующей отверстия полого цилиндра. Радиальные напряжения по всей толщине стенки сжимающие, стремящиеся к нулю при приближении к наружной поверхности. Осевые напряжения изменяются подобно окружным. Такие зависимости окружных, радиальных и осевых напряжений в очаге деформации обеспечивают уплотнение и рост прочностных свойств материала в зоне отверстия полого цилиндра.

Напряжения в очаге деформации влияют на скорость течения металла (рис. 3,а) и на интенсивность деформации (рис. 3,б). Наиболее высокая скорость течения металла реализуется при дорновании полого цилиндра с исходной пористостью 5%. Чем выше пористость материала, тем сильнее происходит демпфирование интенсивности напряжений (рис. 1) и, соответственно, скорости течения металла.

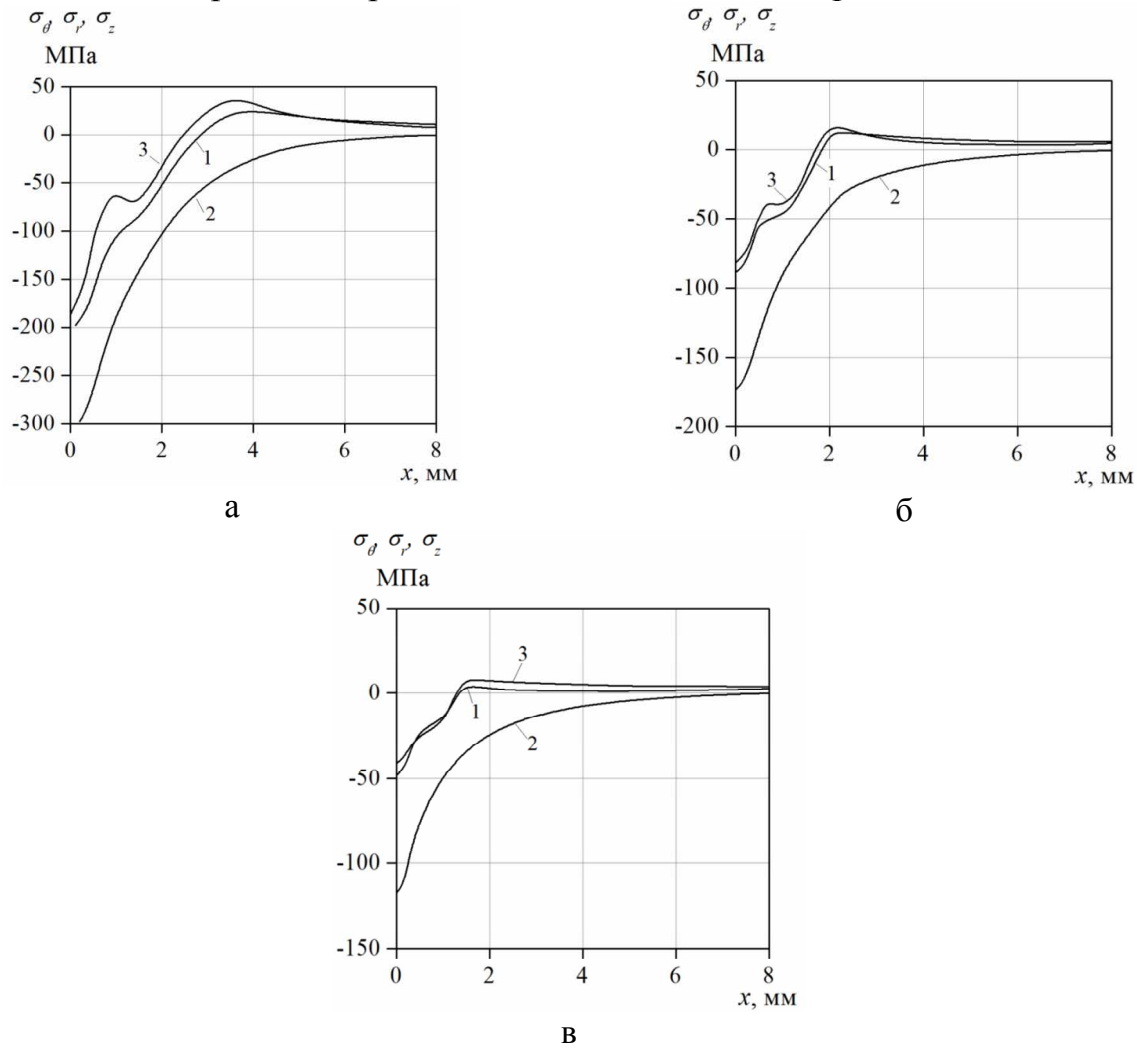


Рис. 2. Эпюры окружных – 1, радиальных – 2 и осевых – 3 напряжений в очаге деформации полого цилиндра с исходной пористостью: а – 5%; б – 15%; в – 20%

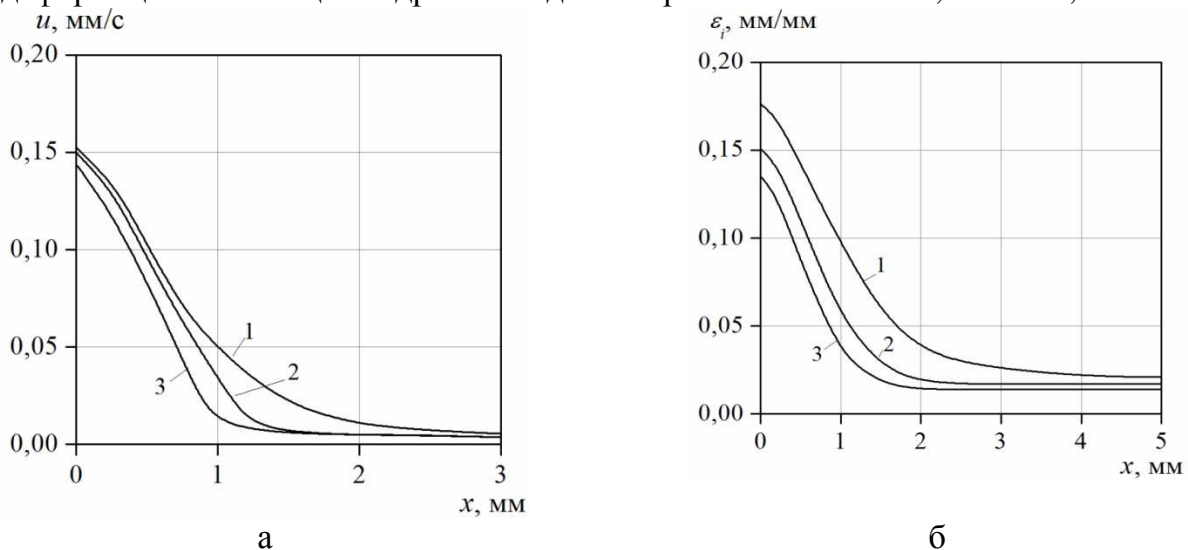


Рис. 3. Зависимости полной скорости течения – а, интенсивности деформаций; – б в очаге деформации при исходной пористости материала: 1 – 5%; 2 – 15%; 3 – 20%

С увеличением расстояния от образующей отверстия интенсивность деформаций при дорновании заготовок с различной исходной пористостью материала уменьшается так же, как и интенсивность напряжений. Наибольшая интенсивность деформации реализуется у полого цилиндра с исходной пористостью материала 6%. На внутренней поверхности она составляет 0,17 мм/мм и уменьшается до 0,022 мм/мм на расстоянии 5 мм и более.

Таким образом, установлено, что напряженно-деформированное состояние образца при свободном дорновании зависит от исходной пористости материала. С ростом исходной пористости уменьшаются интенсивность напряжений, деформаций, полная скорость течения металла и увеличивается гидростатическое сжатие, что является причиной роста очага деформации, а также окружных, радиальных и осевых напряжений, и способствует уплотнению материала.

Список литературы

1. Проскуряков Ю.Г. Дорнование отверстий. – Свердловск: Машгиз, 1961. – 192 с.
2. Проскуряков Ю.Г. Технология упрочняюще-калибрующей и формообразующей обработки металлов. – М.: Машиностроение, 1971. – 208 с.
3. Рябичева Л.А., Решетняк Д.В. Изменение силы свободного дорнования при различной пористости полой цилиндрической заготовки // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2022. – №5. – С. 27-30.
4. Штерн М.Б., Михайлов О.В. Модифицированные модели деформирования порошковых материалов на основе пластичных и труднодеформируемых порошков // Вестник Национального технического университета «Киевский политехнический институт». – Серия Машиностроение. 2011. – №62. – С. 13-19.
5. Скороход В.В. Реологические основы теории спекания. – Киев: Наук. думка, 1972. – 140 с.
6. Ryabicheva L., Tsyarkin A. The technologies of complex parts production from porous billets // Powder metallurgy word congress and exhibition // Vienna. 2004, vol. 5, pp. 1147-1151.

Сведения об авторах:

Рябичева Людмила Александровна – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой;
Белозир Ирина Ивановна – ассистент.