

## Исследование пластичности материалов при осадке цилиндрических нагретых порошковых образцов

*В.В. Синельщиков*

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал НИЯУ МИФИ,  
г. Волгодонск*

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследований пластичности нагретых порошковых материалов от исходной пористости при испытаниях на осадку. Экспериментально установлено, что для выбранных условий деформации наибольшей пластичностью при осадке обладает порошковый материал из железного порошка ПЖ4С2 с исходной пористостью 20 – 30%.

**Ключевые слова:** пластичность, температура нагрева, плотность образцов, удельная работа деформирования, осадка, измерения образцов, коэффициенты высотной и поперечной деформаций, пористость, порошковая заготовка.

Формированию порошковых материалов различными методами и исследование их свойств посвящено ряд работ [1 – 4].

Всё большую актуальность приобретают разработки, связанные с применением порошковых материалов для изготовления ответственных уплотнительных деталей энергетической арматуры высоких параметров [5].

Большинство механических и физических свойств порошковых материалов, испытываемых различными способами, зависят от их исходной пористости [6,7]. Исследования по влиянию исходной пористости при осадке нагретых цилиндрических образцов на пластичность порошкового материала позволят выбрать оптимальные её значения для обеспечения значительных (без разрушения) поперечных деформаций при динамическом горячем прессовании (ДГП) и максимальных эксплуатационных характеристик изготавливаемых деталей.

Следует отметить, что в процесс ДГП деталей сложной формы, например, конических шестерен из порошковых заготовок постоянной формы, материал заготовки подвергается различным видам деформаций: растяжению, сжатию, а также их комбинациям. Поэтому экспериментальные

данные о пластических свойствах нагретых пористых материалах при различных схемах деформаций является актуальной [8 – 10].

Исследование по влиянию исходной пористости на пластичность нагретых порошковых материалов проводились на цилиндрических спеченных пористых образцах с исходной пористостью 12;15;20;25;30;35и 40 %. Для изготовления образцов использовался железный невосстановленный порошок марки ПЖ4С2. Перед испытаниями на осадку образцы спекались в течение 20 минут при температуре 1100° С в среде диссоциированного аммиака с точкой росы не ниже – 25; –30°С. Образцы нагревались до температуры 1100° С выдержкой 5–8 мин. и затем проводилась осадка на копре с использованием приспособления, позволяющего обеспечивать параллельность верхней и нижней плоскостей осаживаемого образца.

За начало появления трещин на бочкообразной поверхности осаживаемого образца принимали разрывы протяжённостью вдоль оси образца примерно 3–4 частиц порошка, хорошо наблюдаемые при увеличении  $\times 17$ ,  $\times 34$ . В этом случае по внешним измерениям образцов  $h_0$ ;  $d_0$  и  $h_{mp}$ ;  $d_{mp}$  – высота образца и его диаметр до осадки и после в момент появления первых трещин соответственно) вычисляли коэффициенты высотной  $(k_h)_{mp} = h_0 / h_{mp}$  и поперечной  $(k_R)_{mp} = d_{mp} / d_0$  деформаций. Эти коэффициенты принимали в качестве оценочных параметров пластических свойств нагретого порошкового материала при динамической осадке образцов.

Установлены зависимости  $(k_R)_{mp}$  и  $(k_h)_{mp}$  от исходной пористости ( $P_0$ ) образцов (рис. 1, графики 1; 2 соответственно), а также плотности  $\gamma_{mp}$  (график 3) и удельной работы деформирования  $W_{mp}$  (график 4) в момент появления первых трещин.

Графики зависимостей  $(k_R)_{mp}$  (1) и  $(k_h)_{mp}$  (2) имеют максимумы для осаживаемых образцов с исходной пористостью  $P_0 = 20 - 25\%$  и  $P_0 = 25 - 30\%$  соответственно. Для образцов с  $P_0 > 30\%$  уменьшение значений  $(k_h)_{mp}$ ,  $(k_R)_{mp}$  и существенное уменьшение  $\gamma_{mp}$  и  $W_{mp}$  связано с меньшим проявлением пластичности пористого материала за счёт увеличения количества и размера пор в исходных образцах, а также уменьшения контактной поверхности между частицами порошка

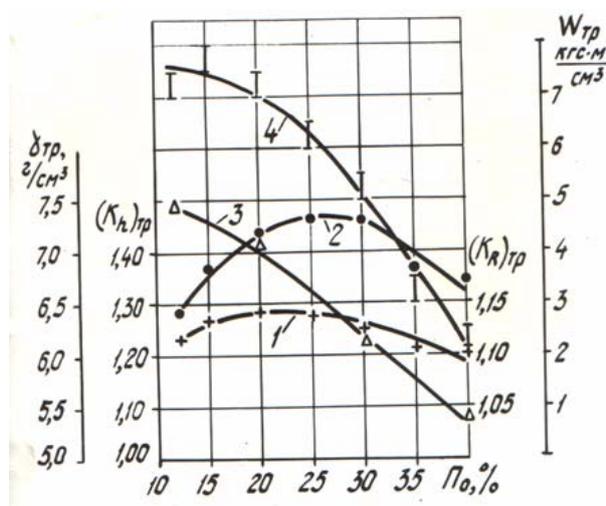


Рис.1. – Зависимости: 1 –  $(k_R)_{mp}$ ; 2 –  $(k_h)_{mp}$ ; 3 –  $\gamma_{mp}$ ; 4 –  $W_{mp}$  от исходной пористости образцов

При  $P_0 > 30\%$  происходит уменьшение изменения плотности образцов к началу образования трещин, что также связано с уменьшающейся пластичностью нагретого пористого материала (рис. 2).

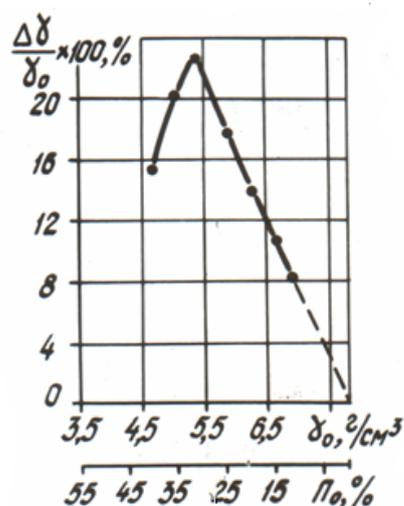


Рис.2.- Зависимость изменения плотности образцов к началу появления первых трещин на боковой бочкообразной поверхности от их исходной пористости

Уменьшение исходной пористости образцов, начиная со значений, обеспечивающих максимумы  $(k_h)_{mp}$  и  $(k_R)_{mp}$ , также приводит к снижению пластичности нагретого пористого материала. В этом случае возникновение на более ранних этапах деформации «предельных» деформаций нагретого пористого материала в слое, прилегающим к бочкообразной поверхности образца, обусловлено более интенсивной поперечной деформацией к этому моменту центральной зоны, что возможно ввиду её высокой плотности. Подтверждением этого служат уменьшающиеся значения изменения плотности при уменьшении исходной пористости образцов, то есть увеличения их плотности (рис. 2). Поры, как концентраторы, являются основополагающим фактором уменьшения пластических свойств нагретого пористого материала, несмотря на то, его прочность с уменьшением пористости увеличивается.

Значения  $W_{mp}$  (рис.1) при уменьшении исходной пористости образцов возрастает, что обусловлено увеличением сопротивления их деформированию (рис.3). В соответствии с увеличивающимися значениями

$W_{mp}$  возрастают значения  $\gamma_{mp}$  при уменьшении исходной пористости  $P_0$ . Кроме этого, в увеличение значений  $\gamma_{mp}$  вносит вклад исходная плотность используемых образцов.

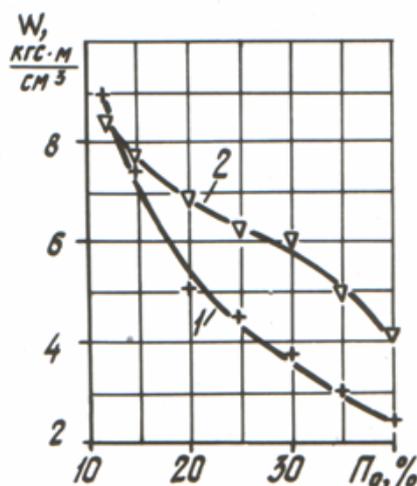


Рис.3.- Зависимости сопротивления деформированию образцов от их исходной пористости при одинаковых коэффициентах деформации для каждой пористости: 1 –  $k_h = 1,35$ ; 2 –  $k_R = 1,133$

Существование максимальных значений  $(k_h)_{mp}$  и  $(k_R)_{mp}$  связано с необходимостью довольно значительного изменения плотности центральной зоны образца, прежде, чем она, деформируясь, вызовет «предельные» деформации растяжения. Для случая свободной осадки нагретых пористых порошковых образцов этот «набор» необходимой плотности центральной зоной возможен ввиду оптимального сочетания прочностных и пластических свойств пористого материала и, способностью уплотняться до разрушения.

Таким образом, экспериментально установлено, что наибольшей пластичностью при осадке нагретых пористых образцов из железного порошка ПЖ4С2 для выбранных условий деформации обладает пористый материал с исходной пористостью 20 – 30%.

## Литература

1. Пирожков Р.В., Литвинова Т.А., Томилин С.А. Получение структуры стали 110Г13 методом электроконтактного уплотнения // Глобальная ядерная безопасность. 2012. № 4 (5). С. 49-53.
  2. Мецлер А.А., Медведев Ю.Ю., Томилин С.А., Литвинова Т.А. Особенности формирования высокоплотного материала при электроконтактном уплотнении порошковой бронзы // Глобальная ядерная безопасность. 2013. № 3 (8). С. 37-41.
  3. Sjöberg G., Mironov V., Fischmeister H.E. Die-Filling and Densification in Hot Extrusion Forging of Porous Preforms // Powder Metallurgy Int. 1977. Vol. 9, No. 4. pp.160-163.
  4. Колоколов Е.И., Пирожков Р.В., Томилин С.А. Применимость порошковой стали типа 110Г13П для изготовления деталей уплотнения энергетической арматуры высоких параметров // В мире научных открытий. 2014. № 8 (56). С. 119-130.
  5. Hung-Kuk Oh, Jeong – Keun Lee. A study of the extrusion of sintered porous metal // J. Mech. Technol. 1985. Vol. 11, No 1. pp.53-69.
  6. Белов С. В. Пористые материалы в машиностроении. М.: «Машиностроение», 1976. 184 с.
  7. Виноградов Г. А., Радомысльский И.Д. Прессование и прокатка металлокерамических материалов. М.: «Машгиз», 1968. 199 с.
  8. Синельщиков В.В. Исследование пластических свойств пористых порошковых материалов в нагретом состоянии при испытаниях на растяжение // Инженерный вестник Дона. 2016. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3505](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3505).
  9. Синельщиков В.В. Исследование пластических свойств нагретых пористых порошковых материалов при испытаниях на изгиб // Инженерный вестник Дона. 2016. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3542](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3542).
-

10. Синельщиков В.В. Устройство для динамического растяжения нагретых металлических пористых порошковых образцов // Новый университет. Серия: Технические науки. 2016. № 1 (47). С. 34-38.

### References

1. Pirozhkov R.V., Litvinova T.A., Tomilin S.A. Global'naya yadernaya bezopasnost'. 2012. № 4 (5). pp. 49-53.

2. Metsler A.A., Medvedev Yu.Yu., Tomilin S.A., Litvinova T.A. Global'naya yadernaya bezopasnost'. 2013. № 3 (8). pp. 37-41.

3. Kolokolov E.I., Pirozhkov R.V., Tomilin S.A. V mire nauchnykh otkrytiy. 2014. № 8 (56). pp. 119-130.

4. Sjöberg G., Mironov V., Fischmeister H.E. Powder Metallurgy Int, 1977, Vol. 9, № 4, pp.160-163.

5. Hung-Kuk Oh, Jeong – Keun Lee. J. Mech. Technol., 1985, Vol. 11, No 1, pp.53-69.

6. Belov S.V. Poristye materialy v mashinostroenii [Porous materials in mechanical engineering], Moscow, 1976. 184 p.

7. Vinogradov G.A., Radomysel'skij I.D. Pressovanie i prokatka metallokeramicheskikh materialov [Pressing and rolling of metal-ceramic materials], Moscow, 1968. 199 p.

8. Sinelshchikov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3505](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3505).

9. Sinelshchikov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3542](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3542).

10. Sinelshchikov V.V. Novyy universitet. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2016. № 1 (47). pp. 34-38.