

**Исследование напряженно-
деформированного состояния прутков,
полученных выдавливанием пористой
заготовки**

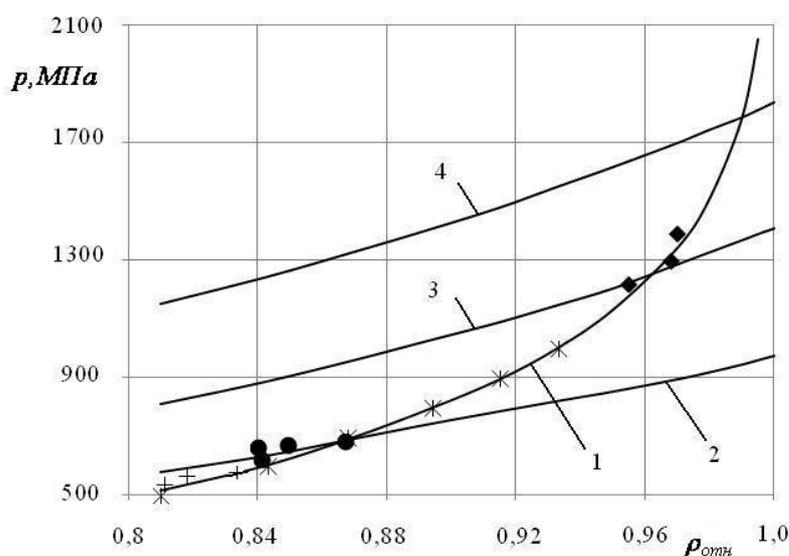
**Numerical and experimental investigation of
extrusion of a porous metal bar**

Березин И.М., Поляков П.А.,

Поляков А.П.

Макроскопические механические характеристики порошковых материалов могут существенно зависеть не только от пористости, но и от распределения пор. При расчетах реальных процессов желательно, чтобы зависимости пределов текучести (и других термомеханических параметров) от пористости определялись экспериментально.

При математическом моделировании в качестве значения предела текучести за основу принято значение, полученное аналитически на основе расчета энергосиловых параметров процесса выдавливания заготовок из порошка на основе железа и идентификации расчетных зависимостей по результатам эксперимента. Также использованы экспериментальные данные об остаточной пористости прутков при различной вытяжке и зависимости "усилие выдавливания – перемещение инструмента"



Зависимости плотности брикетов и прутков от давления выдавливания и вытяжки

1...4 – расчет: 1 - уплотнение; 2...4 - выдавливание при вытяжке 2,3,5 соответственно;

* , + , ● , ◆ - эксперимент: * - брикетирование; + , ● , ◆ - выдавливание при вытяжке 1,8; 2,05; 2,8 соответственно.

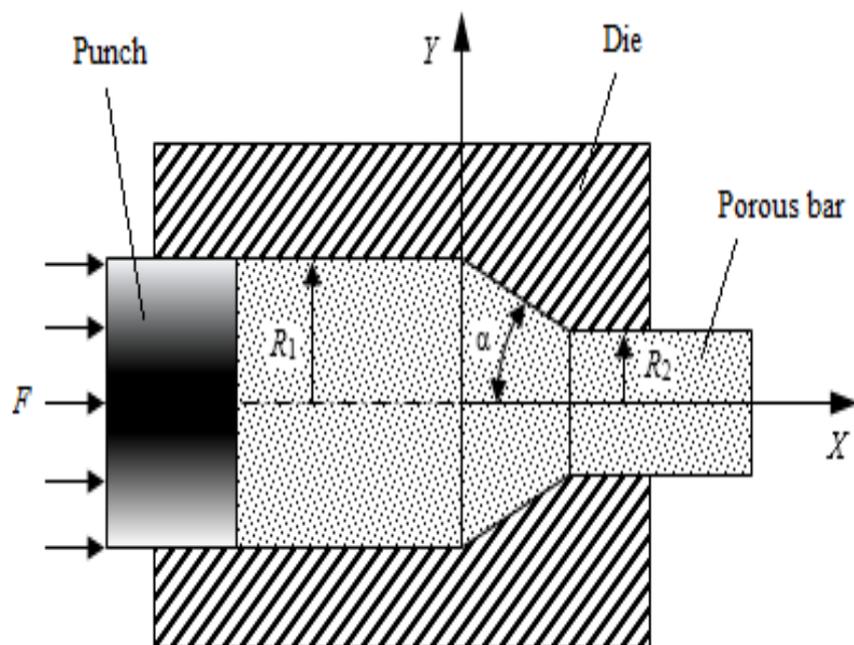
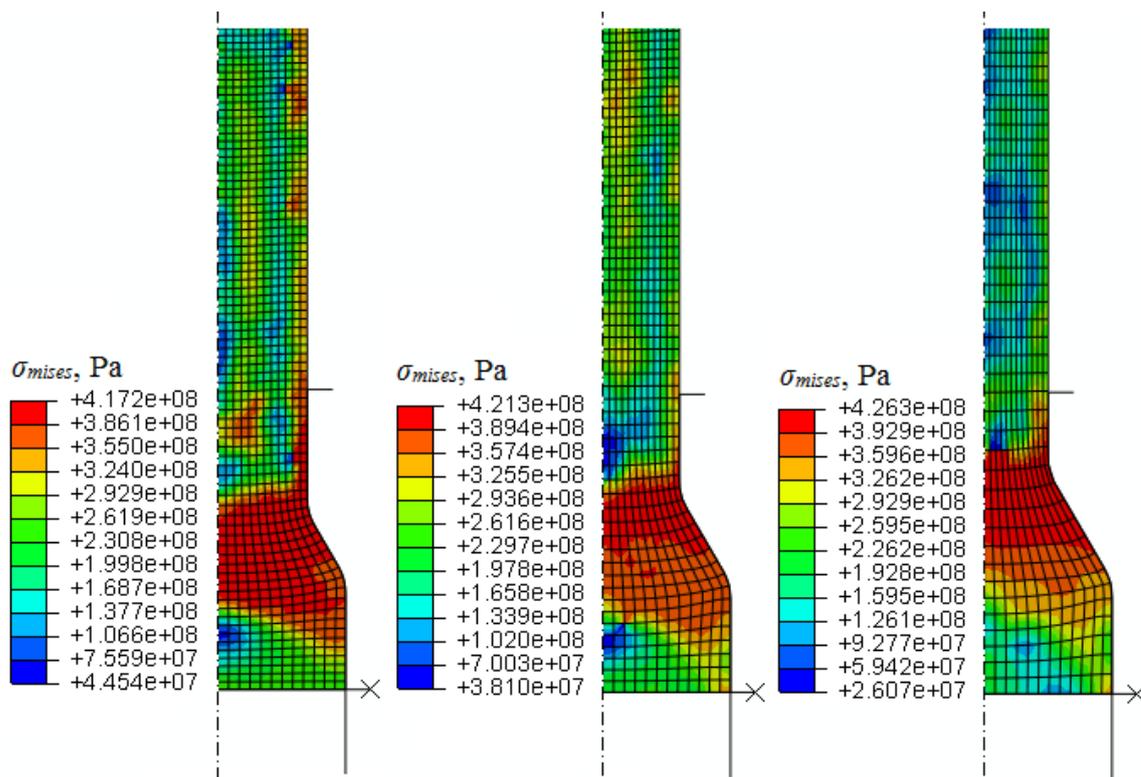
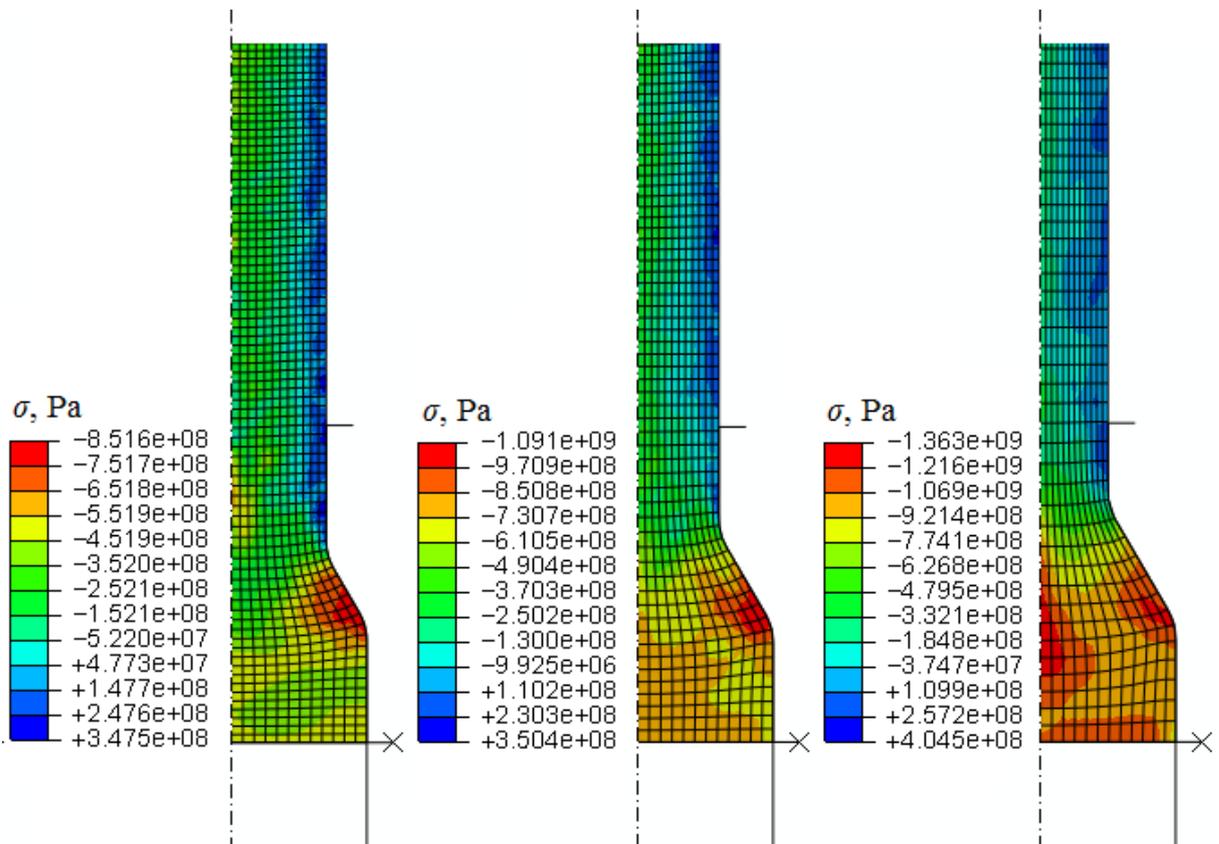


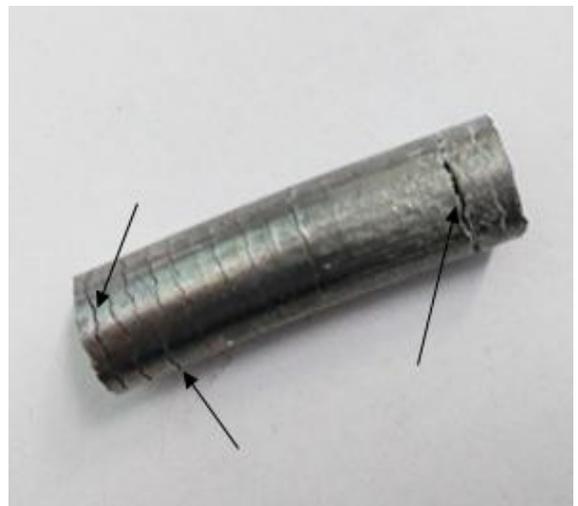
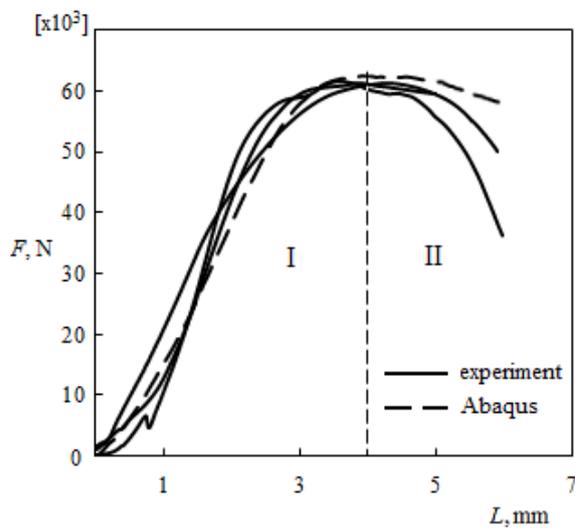
Схема процесса выдавливания прутков



Распределение интенсивности напряжений в поперечном сечении прутка



Среднее нормальное давление в поперечном сечении прутка

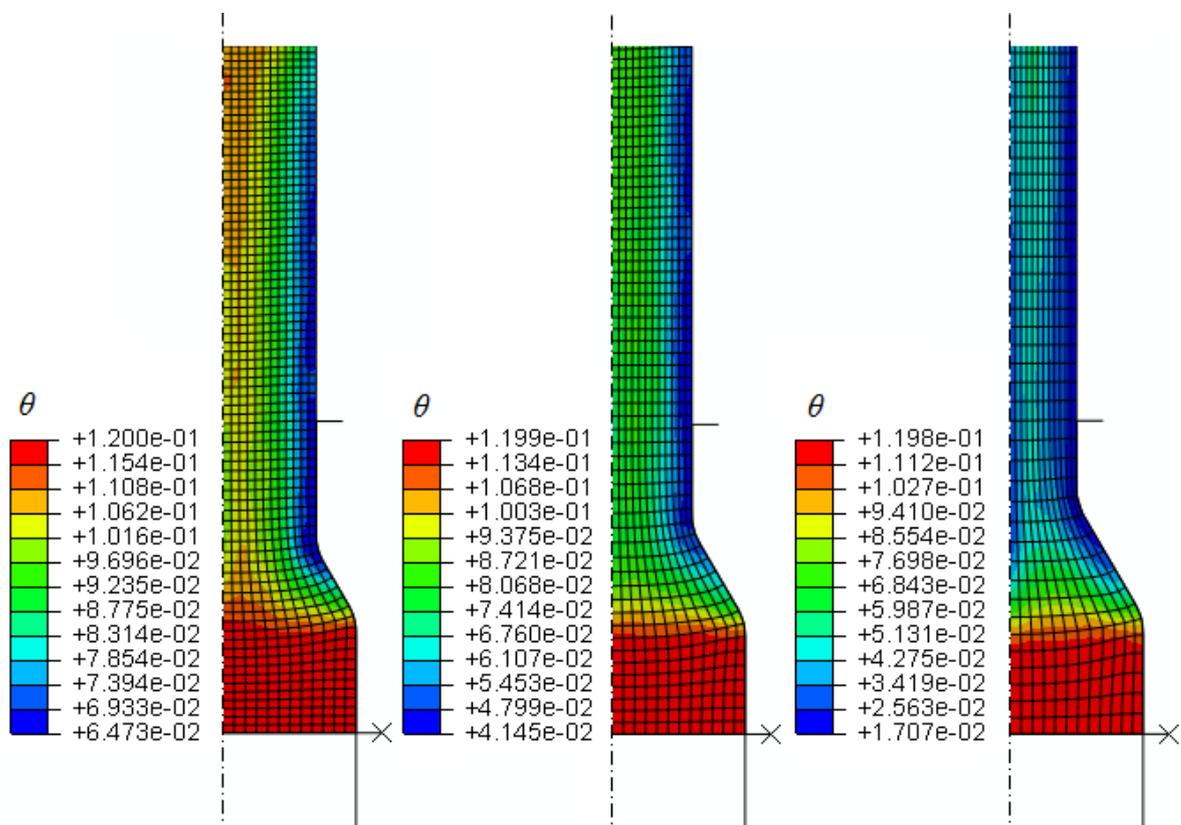


Зависимость усилия выдавливания от перемещения пуансона и общий вид выдавленного прутка

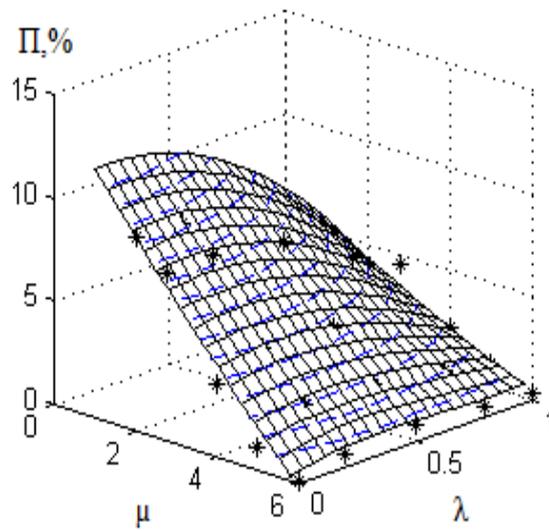
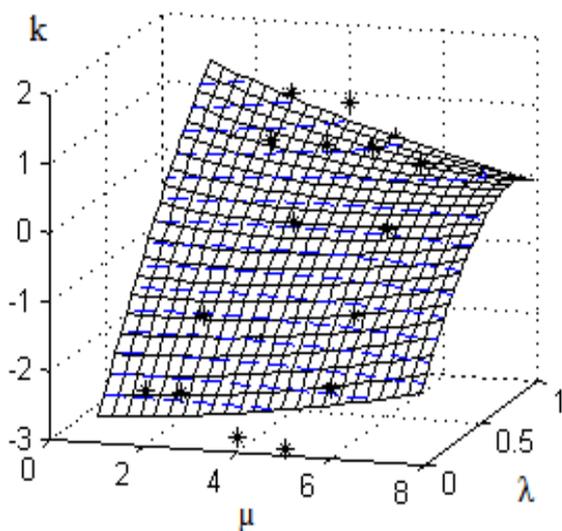
На графике представлена диаграмма изменения усилия выдавливания от перемещения пуансона для вытяжки $\mu = 2.04$. Видно, что по изменению силовых и деформационных условий процесс прямого выдавливания разделяется на две основные

стадии. Начальная стадия процесса (I), в течение которой происходит распрессовка заготовки в контейнере и заполнение выдавливаемым материалом канала матрицы. Вторая стадия процесса (II) характеризуется установившемся течением металла.

Характер кривой, полученной путем компьютерного моделирования качественно совпадает с экспериментальными результатами. После достижения максимального значения усилия выдавливания, падающая ветвь расчетной кривой лежит выше экспериментальных, что может быть связано с более сложными условиями взаимодействия материала заготовки и прессовой оснастки.



Распределение пористости в поперечном сечении прутка



Зависимость коэффициента жесткости напряженного состояния k и пористости прутка Π от вытяжки μ и параметра $\lambda=r/R$

Заключение

1. В программном комплексе Abaqus осуществлено математическое моделирование процесса выдавливания некомпактного материала. Выявлены особенности формирующегося при этом напряженного и деформированного состояния и характер распределения остаточной пористости.
2. По результатам математического моделирования показано, что при выдавливании заготовки из порошкового материала уплотнение происходит в основном до входа в формирующую часть матрицы. Течение материала через матрицу слабо меняет пористость заготовки, поскольку в этой зоне величина гидростатического давления относительно невелика.
3. Показано, что остаточная пористость по сечению выдавленного прутка распределяется неравномерно, слои вблизи оси прессования являются наименее плотными. Неравномерность распределения пористости уменьшается с увеличением вытяжки, при этом остаточная средняя пористость уменьшается.

Литература

1. Процессы порошковой металлургии. В 2-х т. Т.2. Формование и спекание: Учебник для вузов / Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В. М.: "МИСИС", 2002. 320 с.
2. Анциферов В.Н., Перельман В.Е. Механика процессов прессования пористых и композиционных материалов. М.: Наука, 2001. 631 с.
3. Hung-Kuk Oh, Jeong-Keun Lee. A study of the extrusion of sintered porous metal // J. Mech. Technol. 1985. Vol. 11, No 1. P. 53-69.
4. Залазинский А.Г. Пластическое деформирование структурно-неоднородных материалов. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 492 с.
5. 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. P. 160-163.
6. Tae-Wan Ku and Beom-Soo Kang. Tool Design and Experimental Verification for Multi-Stage Cold Forging Process of the Outer Race // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 2014. Vol. 15. No 9. P. 1995-2004.
7. M. Plancak, A. Brameley and F. Osman, Non-conventional cold extrusion // J. Mater. Process. Technol. 1992. Vol. 34. P. 465-472.
8. Радомысльский И.Д., Сердюк Г.Г., Щербань Н.И. Конструкционные порошковые материалы. Киев: Техника, 1985. 152 с.
9. Cahal McVeigh, Wing Kam Liu . Prediction of Central Bursting during Axisymmetric Cold Extrusion of a Metal Alloy containing Particles // International Journal of Solids and Structures. 2006. Vol. 43. No 10. P. 3087-3105.
10. Шестаков Н.А., Субич В.Н., Демин В.А. Уплотнение, консолидация и разрушение пористых материалов. М.: Физматлит, 2009. 269 с.
11. Modelling of Powder Die Compaction. Series: [Engineering Materials and Processes](#). Brewin, P.R., Coube, O., Doremus, P., Tweed, J.H. (Eds.). 1st Edition, 2008. XXII. 329 p.
12. V. Tvergaard. Influence of Voids on Shear Band Instabilities under Plane Strain Condition // International Journal of Fracture Mechanics. 1981. Vol. 17. P. 389-407.

13. Поляков П. А., Залазинский А. Г., Поляков А. П. Исследование процесса выдавливания заготовок из ванадийсодержащего порошка железа // КШП ОМД, 2014. №12. С. 10-14.
14. S. N. Grigoriev and A. N. Krasnovskii. Study of the Triboengineering Characteristics of Ultradispersed Composite Powder Materials // Journal of Friction and Wear. 2011. Vol. 32. No 3. P. 164–166.
206. ABAQUS. Hibbitt, Karlsson and Sorensen. Pawtucket, USA. 2002.
15. L. Ryabicheva and D. Usatyuk. Computer Modelling of Radial-Direct Extrusion of Porous Powder Billets. // in: Computational and Numerical Simulations. Edited by [Jan Awrejcewicz](#), 2014. 475 p.
16. A. P. Polyakov. Calculation of Nonuniformity of Deformations during Extrusion of a Porous Material // Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2008. Vol. 49. No 2. P. 110-114.
17. T.-S. Yang, S.-Y. Chang. Investigation into the Extrusion of Porous Metal Using Finite Element Method // Transactions of FAMENA XXXVI-3. 2012. P. 13-22.
18. Dyi-Cheng Chen and Ci-Syong You. Finite element simulation on high extrusion-ratio hydrostatic extrusion of porous material // The Arabian Journal for Science and Engineering. 2009. Vol. 34. No 1C. P. 11-19.
19. Lin, H.S., Hsu, Y.C., Keh, C.C. Inhomogeneous deformation and residual stress in skin-pass axisymmetric drawing // J. Mater. Process. Technol. 2008. Vol. 201. Nos 1-3. P. 128-132.