

ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРЕССОВАНИИ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ

Ю.Н. Логинов, Н.Ф. Костоусова

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

Целью работы является определение перемещений и деформаций при горячем прессовании трубной заготовки с различной формой образующей матрицы. В качестве материала при проведении расчетов использован титановый сплав ВТ6, температура прессования 1000 °С. Вычислительный эксперимент включал применение программного комплекса QFORM, а в качестве способа решения применен метод конечных элементов. Решение краевой задачи показало влияние конфигурации очага деформации при прессовании на распределение напряжений и деформаций. Проанализированы средние напряжения, скорости и степени деформации. Анализ этих параметров позволяет выявить причины неоднородности механических характеристик в прессуемых полуфабрикатах, а также возможного дефектообразования. Сделан вывод об отсутствии мертвых зон при угле наклона образующей матрицы 45°. Существует область повышенных скоростей деформации, примыкающая к поверхности матрицы, в которой разрушение металла маловероятно. Наибольшие сжимающие напряжения локализованы вдоль стенки контейнера и вдоль рабочей поверхности пресс-шайбы. Средние напряжения снижаются ближе к выходу из очага деформации. Поэтому области металла на выходе из очага деформации могут подвергаться разрушению с появлением микро и макротрещин. Областью применения результатов работы является технологическое обеспечение работы прессовых цехов, а также исследовательских организаций.

Ключевые слова: прессование; деформации; напряжения; угол матрицы.

Прессование является главной заготовительной операцией в технологии производства заготовок из цветных металлов и сплавов. В большинстве случаев этот метод обработки предопределяет уровень свойств деформируемого металла [1–4]. Современные подходы к анализу напряженно-деформированного состояния процесса прессования используют аналитические решения [5], а также численные методы решения задач теории пластичности [6].

Целью работы являлась оценка напряженно-деформированного состояния при прессовании трубных заготовок с различной формой образующей матрицы. В качестве инструмента для анализа использован программный продукт QForm2D/3D,

который разрабатывается и поддерживается компанией КванторФорм (Россия). Подробная постановка задачи прессования в упомянутой программе описана в статье [7].

В качестве моделируемого материала при проведении расчетов использован титановый сплав ВТ6, температура прессования 1000 °С. При постановке задачи использовали закон трения по А.Н. Леванову с фактором трения $\mu = 0,3$. Используемые в расчете размеры заготовки и инструментов: $D_0 = 169$ мм и $D_1 = 86$ мм – внешний диаметр заготовки соответственно до и после прессования, $D_H = 46$ мм – диаметр иглы, $S_0 = 61,5$ мм и $S_1 = 20$ мм – толщина стенки заготовки соответственно до и после прессования, $L = 170$ мм – длина заготовки

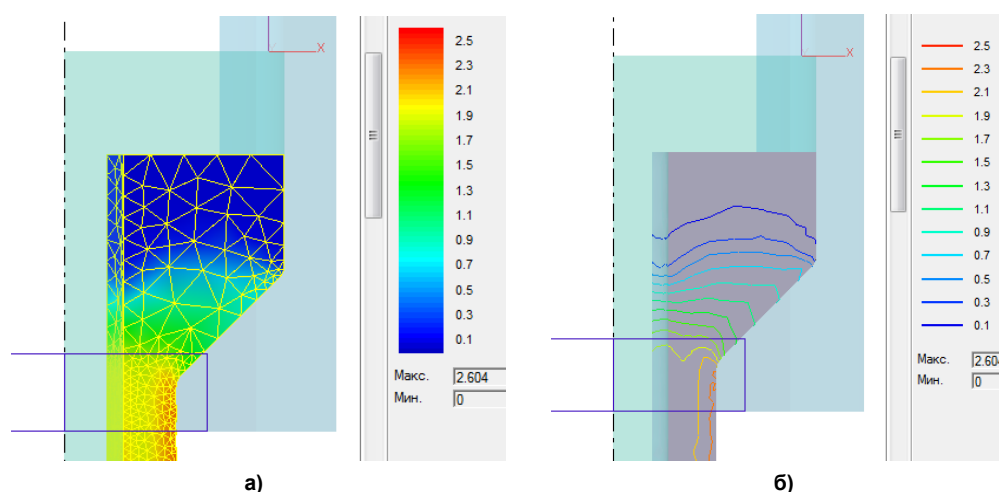


Рис. 1. Распределение степени деформации при прессовании полой заготовки: сетка МКЭ и области равных уровней (а), линии равного уровня (б)

до подхода к поверхности матрицы, $\alpha = 45^\circ$ – угол наклона матрицы (угол между образующей рабочей поверхности матрицы и осью симметрии). Коэффициент теплопередачи $30 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$, коэффициент вытяжки равен 5, что соответствует степени деформации $\varepsilon = \ln 5 = 1,6$.

На рис. 1 изображена схема прессования, а областями равного уровня показано распределение деформации в очаге деформации и в готовом изделии при применении конической матрицы с углом наклона образующей 60° . Описание неравномерности распределения деформации в этом случае прессования более подробно приведено в статье [8].

Степень деформации 1,6 достигается ближе к центру заготовки, на периферии максимум степени деформации оказывается равен 2,6, что примерно на 60 % выше, чем обеспечивается расчетом через коэффициент вытяжки и что объясняется дополнительными сдвигами вблизи поверхности матрицы.

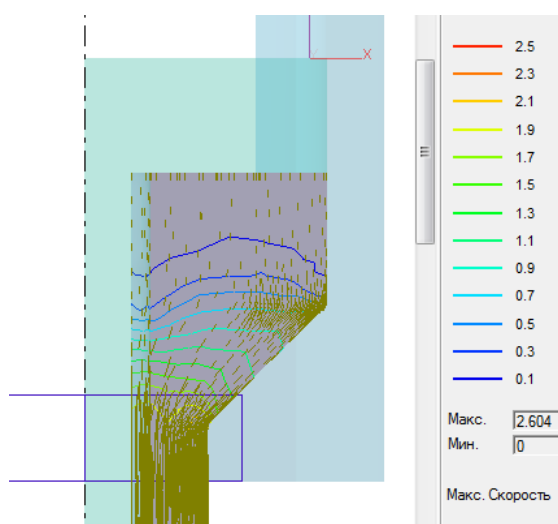


Рис. 2. Векторы скоростей перемещений при прессовании полой заготовки (изолинии отображают степень деформации)

На рис. 2 с помощью векторного отображения приведено поле скоростей перемещений. Модуль вектора отражается длиной соответствующей стрелки, а направление стрелки говорит о направленности вектора. Из рис. 2 видно, что наименьшее перемещение свойственно областям металла, примыкающим к пресс-шайбе, наибольшие модули достигаются на выходе из очага деформации. Видно также, что имеются зоны разреженности векторов, т. е. те районы, где модуль вектора близок к нулю, эта зона существует около места стыка втулки контейнера с матрицей.

Сгущение векторов наблюдается ближе к выходу из матрицы. Вблизи конической поверхности матрицы векторы направлены вдоль этой поверхности, что говорит об отсутствии жесткой (мертвой) зоны. Таким образом, заданные условия трения и конфигурация инструмента в этом случае обеспечивают режим скольжения.

На рис. 3, а отображены изолинии скоростей деформации. Видно, что существует область повышенных скоростей деформации, и она примыкает к поверхности матрицы. Этот эффект возникает вследствие тормозящего действия сил трения на этой поверхности.

Наличием зоны пониженной скорости деформации можно объяснить эффект минимума объемной доли рекристаллизованных зерен, наблюдаемый при прессовании алюминиевых сплавов [9]. Таким образом, это косвенно подтверждает адекватность полученного решения. Влияние скорости деформации на структурные параметры прессуемого изделия показано в статьях [10, 11].

На рис. 3, б показано распределение среднего напряжения по объему заготовки. Области наибольших сжимающих напряжений (до 930 МПа) локализованы вдоль стенки контейнера и вдоль рабочей поверхности пресс-шайбы. Следовательно, здесь трудно представить себе наличие зон разрушения металла. Средние напряжения снижа-

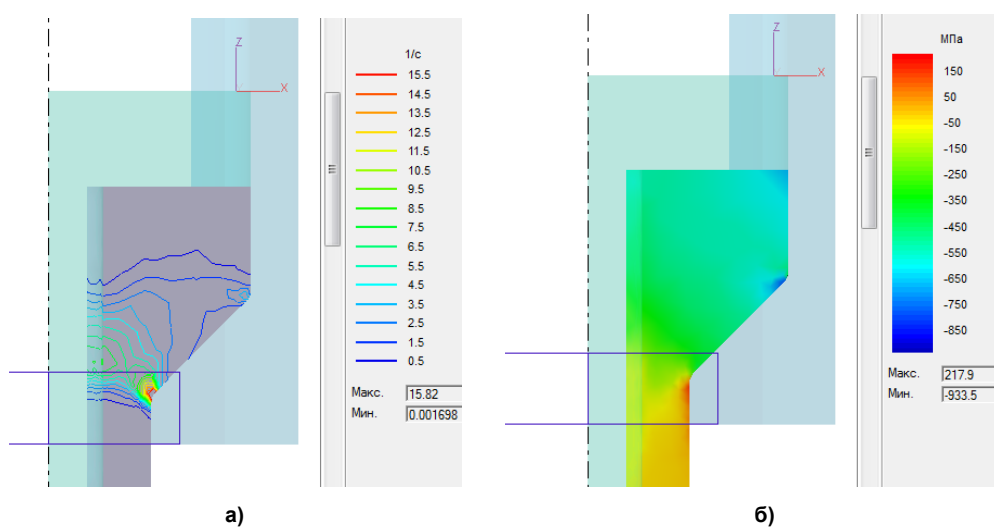


Рис. 3. Распределение скорости деформации и среднего напряжения при прессовании полой заготовки

ются ближе к выходу из очага деформации. Поэтому области металла на выходе из очага деформации могут подвергаться разрушению с появлением микро и макротрещин, что часто наблюдается в реальном производстве [12]. Кроме упомянутых эффектов, поля деформаций и скоростей деформаций в совокупности с термическим воздействием создают условия для изменения структуры и текстурообразования в металле, что сказывается на механических свойствах продукции.

Вывод

В ходе решения задачи прессования трубной заготовки методом конечных элементов показаны распределения в пластической зоне скоростей, деформаций и средних нормальных напряжений. Анализ этих параметров позволяет выявить причины неоднородности механических характеристик в прессуемых полуфабрикатах, а также возможного дефектообразования.

Литература

1. Duan, X. Application of finite element method in the hot extrusion of aluminium alloys / X. Duan, X. Velay, T. Sheppard // *Materials Science and Engineering A*. – 2004. – Vol. 369. – P. 66–75. DOI: 10.1016/j.msea.2003.10.275
2. Ershov, A.A. Capabilities of QForm-extrusion based on an example of the extrusion of complex shapes / A.A. Ershov, V.V. Kotov, Yu.N. Loginov // *Metallurgist*. – 2012. – Vol. 55, no. 9–10. – P. 695–701. DOI: 10.1007/s11015-012-9489-8
3. Chao, L. An innovative extrusion die layout design approach for single-hole dies / L. Chao, R.S. Ransing // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2009. – Vol. 209. – P. 3416–3425. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2008.07.042
4. Gordon, W.A. Overview of adaptable die design for extrusions / W.A. Gordon, C.J. Van Tyne, Y.H. Moon // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2007. – Vol. 187–188. – P. 662–667. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2006.11.158
5. Выдрин, А.В. Математическое моделирование процесса прессования труб переменного сечения / А.В.Выдрин, Я.И. Космацкий, Б.В. Баричко // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия»*. – 2012. – № 15 (274). – С. 122–125.
6. Логинов, Ю.Н. Тестирование системы DEFORM в режиме расчета деформаций при прессовании титана в 2D и 3D-постановках / Ю.Н. Логинов, А.А. Ершов, В.В. Котов // *Титан*. – 2011. – № 3. – С. 18–24.
7. Логинов, Ю.Н. Аналитическое исследование с использованием МКЭ прессования альфатитановых сплавов и прогнозом ориентации текстуры / Ю.Н. Логинов, А.А. Ершов // *Технология легких сплавов*. – 2012. – № 3. – С. 79–87.
8. Логинов, Ю.Н. Моделирование процесса прессования трубной заготовки из титанового сплава в программе QFORM 2D/3D / Ю.Н. Логинов, В.В. Котов // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. – 2010. – № 12. – С. 36–40.
9. Логинов, Ю.Н. Неравномерность структуры прессованных труб из алюминиевого сплава АМг6 / Ю.Н. Логинов, А.Г. Илларионов // *Изв. вузов. Цветная металлургия*. – 2013. – № 6. – С. 35–40.
10. Логинов, Ю.Н. Влияние скорости деформации на эффект структурного упрочнения прессованных труб из алюминиевого сплава 6061 / Ю.Н. Логинов, О.Ф. Дегтярёва // *Технология легких сплавов*. – 2007. – № 4. – С. 123–127.
11. Логинов, Ю.Н. Особенности формирования свойств горячепрессованной заготовки из сплава АМГ6 / Ю.Н. Логинов, О.Ф. Дегтярева, Л.В. Антоненко // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. – 2007. – № 6. – С. 14–17.
12. Логинов, Ю.Н. Изучение напряженно-деформированного состояния для предупреждения образования продольных трещин в прессованных трубах / Ю.Н. Логинов, Л.В. Антоненко // *Цветные металлы*. – 2010. – № 5. – С. 119–122.

Логинов Юрий Николаевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры обработки металлов давлением, Уральский федеральный университет; j.n.loginov@urfu.ru.

Костоусова Наталья Федоровна, магистрант кафедры обработки металлов давлением, Уральский федеральный университет; omd@urfu.ru.

Поступила в редакцию 11 марта 2015 г.

DISPLACEMENT AND DEFORMATION DURING TUBE BILLET EXTRUSION

Yu.N. Loginov, j.n.loginov@urfu.ru,

N.F. Kostousova, omd@urfu.ru

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation

The aim of this work is to determine displacement and deformation during hot tube billet extrusion with various die shapes. Calculations were performed for extrusion of titanium VT6 alloy at 1000 °C. Computational experiments involved the use of the finite element method realized in the QFORM software complex. The solution of the boundary value problem shows the effect of the configuration of the deformation zone during extrusion on the distribution of stresses and strains. The average stress, strain rates and strains are analyzed. The analysis of these parameters allows to identify the causes of heterogeneity of mechanical properties in extruding semi-finished products, as well as possible defect formation. Conclusion is made about the absence of dead zones at the die angle of 45°. A region of increased strain rates exists near the die surface in which metal fracture is hardly probable. The greatest compressive stresses are localized along the container wall and along the work surface of the pressure pad. Average stresses decrease towards the exit of the deformation zone, therefore, these regions of metal may be subjected to fracture due to micro- or macrocrack formation. The scope of the results is technological support of the work of forging workshops, as well as research organizations.

Keywords: extrusion; strain; stress; die angle.

References

1. Duan X., Velay X., Sheppard T. Application of Finite Element Method in the Hot Extrusion of Aluminium Alloys. *Materials Science and Engineering A*, 2004, vol. 369, pp. 66–75. DOI:10.1016/j.msea.2003.10.275
2. Ershov A.A., Kotov V.V., Loginov Yu.N. Capabilities of QForm–Extrusion Based on an Example of the Extrusion of Complex Shapes. *Metallurgist*, 2012, vol. 55, no. 9–10, pp. 695–701. DOI: 10.1007/s11015-012-9489-8
3. Lin C., Rajesh Ransing S. An Innovative Extrusion Die Layout Design Approach for Single-Hole Dies. *Journal of Materials Processing Technology*, 2009, vol. 209, pp. 3416–3425. DOI:10.1016/j.jmatprotec.2008.07.042
4. Gordon W.A., Van Tyne C.J., Moon Y.H. Overview of Adaptable Die Design for Extrusions. *Journal of Materials Processing Technology*, 2007, vol. 187–188, pp. 662–667. DOI:10.1016/j.jmatprotec.2006.11.158
5. Vydrin A.V., Kosmatsky Ya.I., Barichko B.V. [Mathematical Modeling of the Pressing Process of Pipes of Varying Section]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2012, no. 15 (274), issue 18, pp. 122–125. (in Russ.)
6. Loginov Yu.N., Ershov A.A., Kotov V.V. [Testing System DEFORM in the Calculation Mode of Deformation During Pressing of Titanium in 2D and 3D Productions]. *Titan*, 2011, no. 3, pp. 18–24. (in Russ.)
7. Loginov Yu.N., Ershov A. A. [An Analytical Study Using the Finite Element Method Pressing Alpha Titanium Alloys and Forecast the Orientation of the Texture]. *Tekhnologiya legkikh splavov*, 2012, no. 3, pp. 79–87. (in Russ.)
8. Loginov Yu.N., Kotov V.V. [Simulation of Extrusion Billet of Titanium Alloy in the Program QFORM 2D/3D]. *Kuznechno-shtampovnochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem*, 2010, no. 12. pp. 36–40. (in Russ.)
9. Loginov Yu.N., Illarionov A.G. [Uneven Patterns of Extruded Pipes of Aluminium Alloy Al – 6 Mg]. *Izvestiya VUZ. Tsvetnaya metallurgiya*, 2013, no. 6. pp. 35–40. (in Russ.)
10. Loginov Yu.N., Degtyareva O.F. [The Influence of Strain Rate Effect on the Structural Hardening of the Extruded Tube of Aluminum Alloy 6061]. *Tekhnologiya legkikh splavov*, 2007, no. 4, pp. 123–127. (in Russ.)
11. Loginov Yu.N., Degtyareva O. F., Antonenko L.V. [Peculiarities of Formation Properties of Hot-Extruded Billet of Alloy AMg6]. *Kuznechno-shtampovnochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem*, 2007, no. 6, pp. 14–17. (in Russ.)
12. Loginov Yu.N., Antonenko L.V. [Study of the Stress–Strain State to Prevent the Formation of Longitudinal Cracks in the Extruded Tubes]. *Tsvetnye metally*, 2010, no. 5, pp. 119–122. (in Russ.)

Received 11 March 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Логинов, Ю.Н. Перемещения и деформации при прессовании трубной заготовки / Ю.Н. Логинов, Н.Ф. Костюсова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 78–81. DOI: 10.14529/met160111

FOR CITATION

Loginov Yu.N., Kostousova N.F. Displacement and Deformation During Tube Billet Extrusion. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2016, vol. 16, no. 1, pp. 78–81. (in Russ.) DOI: 10.14529/met160111