

**Ю. В. Тугбаев\*, С. В. Данилов**

Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

\*chilly\_willy1@mail.ru

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук Ю. Н. Логинов

## **ПРОГНОЗ ВЕЛИЧИН ПАРАМЕТРОВ КЕРНСА ПРИ ПРЕССОВАНИИ ТРУБ ИЗ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

Поставлена задача горячего прессования трубы из циркониевого сплава, проведен анализ с выявлением наиболее возможной схемы распределения значений компонентов тензора деформаций, определяющих анизотропию изделия.

*Ключевые слова:* цирконий, гексагональная плотноупакованная решетка, анизотропия, параметры Кернса.

**Yu. V. Tugbaev, S. V. Danilov**

## **FORECAST OF KEARNS PARAMETERS WHILE PRESSING ZIRCONIUM ALLOYS PIPES**

The zirconium alloy tube hot pressing task was set and then provided analysis to find the most predictable scheme of the values of the components of the strain tensor distribution, which are determine product anisotropy.

*Key words:* zirconium, hexagonal close-packed lattice, anisotropy, Kearns factors.

**Ц**ирконий и его сплавы являются одними из основных конструкционных материалов, применяемых в атомной промышленности. Состояние его кристаллической решетки — гексагональная плотноупакованная — сказывается на потребительских свойствах и методах его обработки.

В атомной промышленности особенно востребованы трубы, как элементы теплопередачи, а основной заготовительной операцией является горячее прессование.

Как известно, металлы с ГПУ-решеткой подвержены в большой степени процессам текстурообразования, что приводит к анизотропии свойств [1]. Количественной характеристикой анизотропии является параметр Кернса ( $f$ -параметр), описанный в работах [2, 3].

Согласно работам [4–7] имеется закономерность между направлением деформаций в процессе обработки и получаемой в металле текстурой.

Для определения величин и направлений деформаций была поставлена задача горячего прессования трубы из циркониевого сплава  $Zr - 1\%Nb$  в программном комплексе Deform 3D. В качестве заготовки взят слиток с подготовленным отверстием для захода иглы размерами  $\varnothing 248 \times 62$  мм. Температура заготовки  $700^\circ\text{C}$ , контейнера и прессшайбы —  $400^\circ\text{C}$ , иглы —  $200^\circ\text{C}$ . Показатель трения по Зибелю между всеми объектами задачи задан равным 0,25, что соответствует горячему прессованию с применением смазки. Диаметр контейнера 250 мм, отверстие матрицы 90 мм, диаметр иглы 60 мм. Полуугол матрицы равен  $75^\circ$ . Прессование проходило при постоянном движении пресс-штемпеля со скоростью 10 мм/с. Расчетный коэффициент вытяжки при этом равен 13,08.

Полученные после окончания расчета величины деформаций представлены на рис. 1.

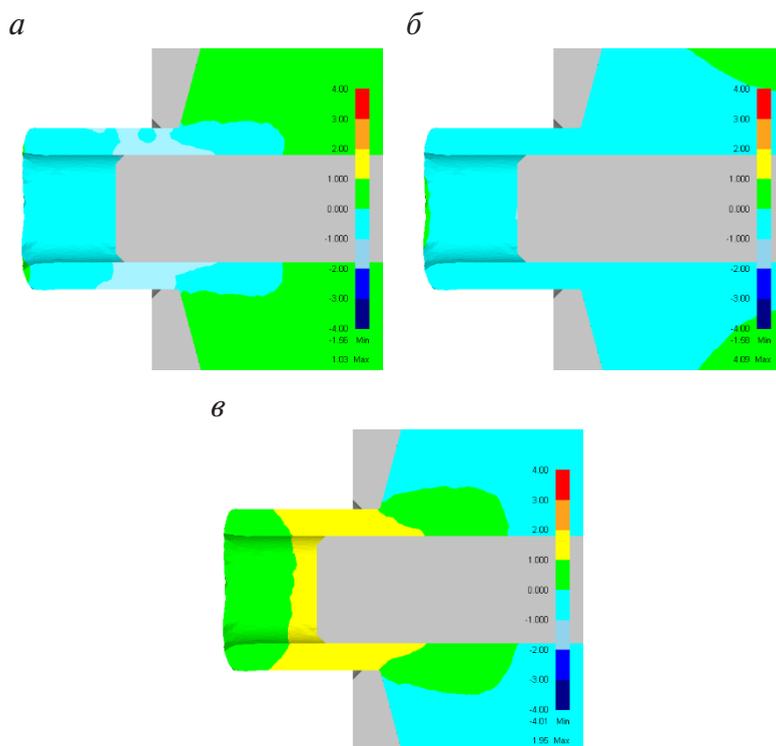


Рис. 1. Распределение радиальной (а), тангенциальной (б) и продольной (в) компонент деформации

Решение поставленной задачи позволяет наблюдать преобладание продольной компоненты деформации по сравнению с радиальной и тангенциальной компонентой в периферийной части пресс-изделия, при этом радиальные деформации принимают значения  $-1 < \varepsilon_{rr} < -0,5$ ; тангенциальные  $-1 < \varepsilon_{\varphi\varphi} < -0,5$ ; продольные  $1 < \varepsilon_{zz} < 2$ .

Исходя из полученных данных можно сделать прогноз, что при изготовлении циркониевых труб методом горячего прессования при заданных условиях с большой степенью вероятности распределение параметров Кернса будет в соотношении  $f_{rr} \approx 0,25$ ;  $f_{\varphi\varphi} \approx 0,25$ ;  $f_{zz} \approx 0,5$ .

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00135 мол\_а.*

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ершов А. А., Логинов Ю. Н. Влияние кристаллической решетки циркония и его сплавов на особенности процессов их деформации // Доклады 18 Международной конференции молодых ученых по приоритетным направлениям развития науки и техники. Екатеринбург : УрФУ, 2010. С. 51–55.
- 2 Kearns J. J. On the relationship among ‘f’ texture factors for the principal planes of zirconium, hafnium and titanium alloys // Journal of Nuclear Materials. 2001. V. 299, № 2. P. 171–174.
- 3 Gruber J. A., Brown S. A., Lucadamo G. A. Generalized Kearns texture factors and orientation texture measurement // Journal of Nuclear Materials. 2011. V. 408. P. 176–182.
- 4 Логинов Ю. Н., Котов В. В. Моделирование процесса прессования трубной заготовки из титанового сплава в программе QFORM 2D/3D // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2010. № 12. С. 36–40.
- 5 Логинов Ю. Н., Ершов А. А. Аналитическое исследование с использованием МКЭ прессования  $\alpha$ -титановых сплавов и прогнозом ориентации текстуры // Технология легких сплавов. 2012. № 3. С. 79–87.
- 6 Взаимосвязь кристаллографических ориентировок зерен при горячей деформации и рекристаллизации в алюминиевом сплаве АМг6 / Г. М. Русаков, А. Г. Илларионов, Ю. Н. Логинов [и др.] // МиТОМ. 2014. № 12. С. 15–21.
- 7 Взаимосвязь ориентировок деформации и рекристаллизации при горячей прокатке электротехнической анизотропной стали / М. Л. Лобанов, А. А. Редикульцев, Г. М. Русаков [и др.] // МиТОМ. 2015. № 8. С. 44–49.