

**А. А. Ершов<sup>1\*</sup>, Е. В. Иванов<sup>2\*\*</sup>**

<sup>1</sup> Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

<sup>2</sup> Сибирский федеральный университет (СФУ), Красноярск

\*ssmerchh@mail.ru, \*\*kafomd\_1@mail.ru

Научные руководители — проф., д-р техн. наук Ю. Н. Логинов,  
доц., канд. техн. наук Н. Н. Загиров

## **НЕОДНОРОДНОСТЬ УПЛОТНЕНИЯ ЗАГОТОВКИ В ПРОЦЕССЕ ПРОКАТКИ — ПРЕССОВАНИЯ**

Решена задача определения напряженно-деформированного состояния пористого металла при реализации метода прокатки — прессования. Установлено, что по мере продвижения металла к матрице происходит его непрерывное уплотнение, которое более интенсивно проявляется у поверхности валька, снабженного гребнем. Такая же закономерность проявляется для параметра интенсивности напряжений.

*Ключевые слова:* прокатка, прессование, интенсивность напряжений, уплотнение, деформации, метод конечных элементов.

**A. A. Ershov, E. V. Ivanov**

## **THE INHOMOGENEITY OF THE SEALING IN THE PROCESS OF ROLLING — PRESSING**

The problem of determining the stress-strain state of a porous metal during the realization of the rolling-pressing method is solved. It is established that as the metal moves toward the matrix, its continuous compaction occurs, which is more pronounced at the surface of the roll provided with a crest. The same regularity is manifested for the stress intensity parameter.

*Key words:* rolling, pressing, stress intensity, compaction, deformation, finite element method.

Способы непрерывного прессования имеют описания в технической литературе [1, 2], но в промышленности применяются не так часто. В некоторых случаях в качестве деформируемого материала выступает пористая заготовка, что обусловлено, например, необходимостью утилизации дискретных сред типа стружки [3]. Метод про-

катки — прессования пористых заготовок описан в работах [4]. В этом случае заготовка деформируется стенками калибра, образованного одним из валков, имеющих гребень и вторым валком, снабженным ручьем. На выходе из калибра установлена матрица. Напряжениями трения, создаваемым валками, заготовка продавливается в отверстие матрицы с получением готового изделия.

Для решения задачи заданы следующие параметры и граничные условия. Катающие радиусы соответственно первого и второго валков  $R_1$  и  $R_2$  равны 53,5 и 40,5 мм. Ширина калибра 15 мм, минимальный зазор между валками 7 мм, высота зеркала матрицы 22 мм, диаметр пресуемого прутка 9 мм, длина калибрующего пояса матрицы равна 2 мм, угол зеркала матрицы  $90^\circ$ , начальная высота заготовки 14 мм, начальная ширина заготовки 14 мм.

Математическое моделирование процесса выполняли в программе QFORMV8 (ООО «КванторФорм») в 3D постановке с наличием одной плоскости симметрии. Процесс представляет собой операцию деформирования заготовки с учетом теплопередачи (осуществляется теплообмен между заготовкой и инструментами и между заготовкой и окружающей средой).

Материал заготовки — алюминиевый сплав АД31, механические свойства заимствованы из базы данных программы QFORMV8. Заданы следующие параметры: плотность материала  $2730 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводность  $130 \text{ Вт/м}^\circ\text{К}$ , теплоемкость  $960 \text{ Дж/кг}^\circ\text{К}$ . Исходная температура заготовки  $450^\circ\text{С}$  (без учета охлаждения заготовки при переносе от печи к стану).

В дополнительных граничных условиях заданы: параметры взаимодействия с окружающей средой (температура  $20^\circ\text{С}$ , степень черноты 0,6 и коэффициент теплоотдачи  $30 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$ ); условие приложения скорости для подачи заготовки в валки  $5 \text{ мм/с}$  действует до момента захвата заготовки валками. Более подробно постановка задачи описана в статье [5].

На рис. 1 представлено отображение очага деформации в плоскости  $ZY$  с распределением относительной плотности, для лучшей видимости удалена матрица и левый валок с ручьем. На рисунке очевидно отсутствие симметрии. Значения относительной плотности напрямую зависят от степени деформации объема. Видно, что справа уплотнение протекает более интенсивно, чем слева. Поскольку справа размещен валок с гребнем, то это явление можно связать с большим диаметром валка. Из-за наличия ручья в левом валке диаметр валка по дну ручья оказывается меньшим.

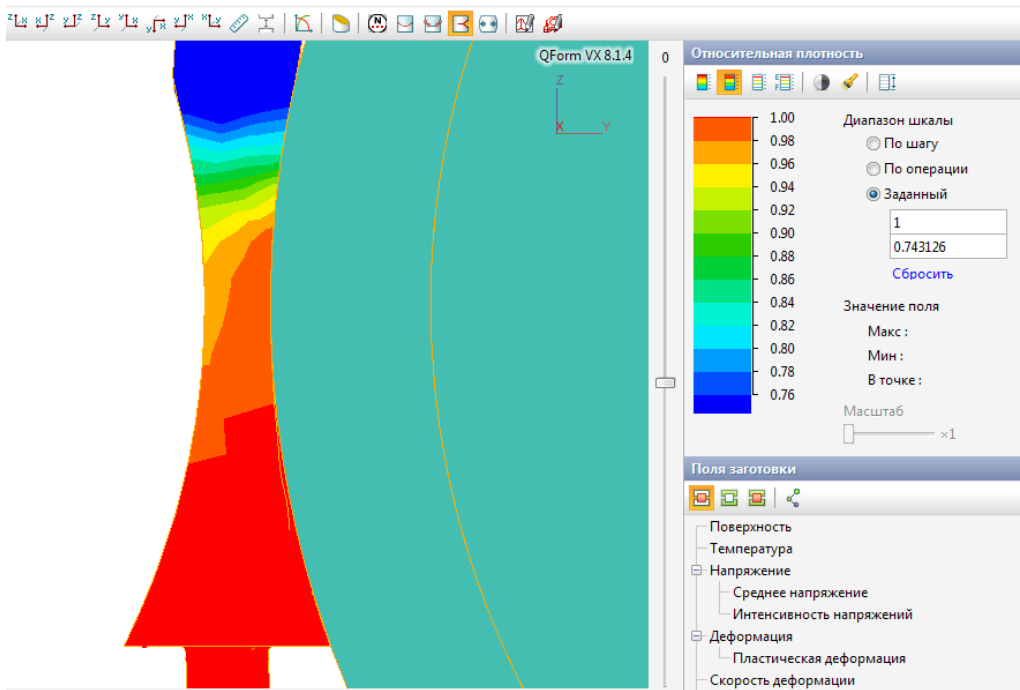


Рис. 1. Отображение очага деформации в плоскости  $YZ$  при уплотнении пористой заготовки в методе прокатки — прессования с распределением относительной плотности, для лучшей видимости удалена матрица и левый валок с ручьем

Деформированное состояние так или иначе зависит от напряженного состояния. Поэтому на рис. 2 приведено распределение интенсивности напряжений. Большой уровень интенсивности достигнут с правой стороны, т. е. у поверхности вала с гребнем. По мере приближения деформируемого материала к матрице интенсивность напряжений падает, что объясняется тем, что очаг деформации расширяется. Это падение напряжений уже не сказывается на уровне плотности материала, поскольку достигнута максимальная относительная плотность, равная единице.

На рис. 2 видно, что неоднородность поля напряжений также наблюдается и по длине очага деформации: интенсивность напряжений имеет максимальные значения после преодоления металлом зоны наибольших обжатий.

Таким образом в работе установлено, что в методе прокатки — прессования по мере продвижения металла к матрице происходит непрерывное уплотнение, которое более интенсивно проявляется у поверхности вала, снабженного гребнем. Такая же закономерность проявляется для параметра интенсивности напряжений.

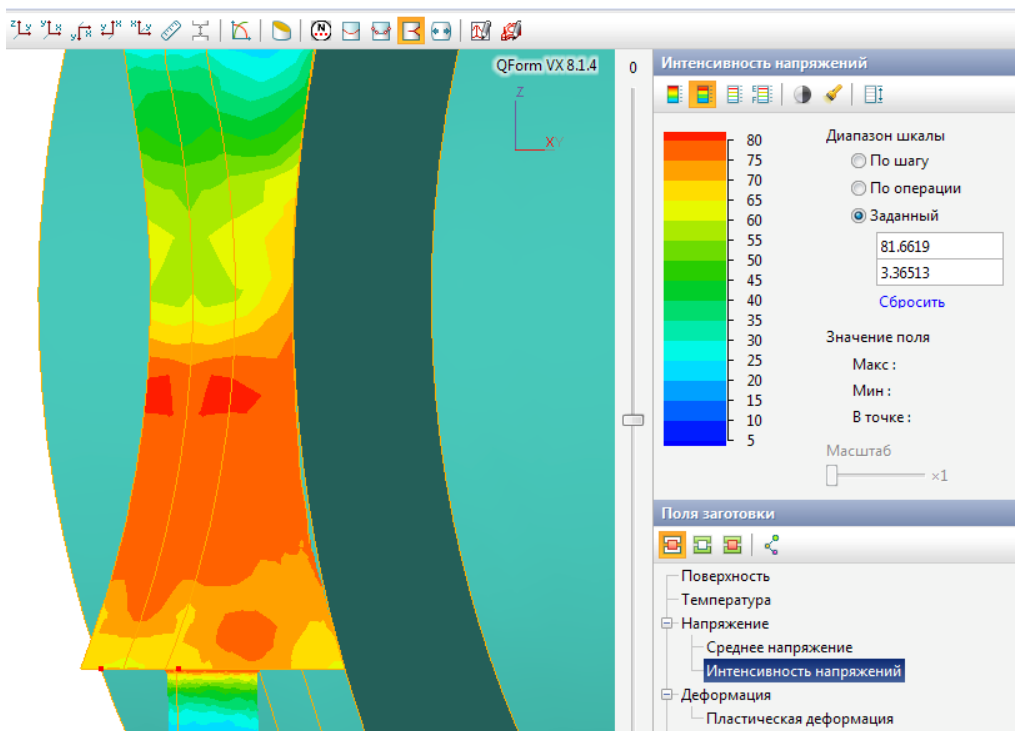


Рис. 2. Форма очага деформации (объемное изображение) при уплотнении пористой заготовки в методе прокатки — прессования с распределением интенсивности напряжений, для лучшей видимости удалена матрица и один из валков

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Оптимизация размеров исходной заготовки для непрерывного прессования / В. М. Сергеев [и др.] // *Металлы*. 1993. № 1. С. 98–102.
- 2 Буркин С. П., Логинов Ю. Н. Непрерывное прессование заготовок через разъемный контейнер // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 1997. № 10. С. 40–45.
- 3 Загиров Н. Н., Логинов Ю. Н. Технологические основы получения материалов и изделий из сыпучих стружковых отходов меди и ее сплавов методами обработки давлением : моногр. Красноярск : СФУ, 2015. 171 с.
- 4 Возникновение зон неконтактной деформации в процессе прокатки-прессования пористого прутка / Ю. Н. Логинов [и др.] // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. 2017. № 3. С. 38–41.
- 5 Моделирование уплотнения пористого материала в совмещенном процессе прокатки — прессования / А. А. Ершов [и др.] // *Металлург*. 2016. № 6. С. 14–17.