

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СХЕМ ОБРАБОТКИ ОБРАЗЦОВ ИЗ  
ЛИСТОВОГО ПРОКАТА**

Л.Р. Ахметшин, В.А. Красновейкин, Е.Н. Москвичев

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.А. Скрипняк

Национальный исследовательский Томский государственный университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, Российская Федерация,

E-mail: this\_is\_patrik@mail.ru

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СХЕМ ОБРАБОТКИ ОБРАЗЦОВ ИЗ  
ЛИСТОВОГО ПРОКАТА**

L.R. Akhmetshin, V.A. Krasnovykin, E.N. Moskvichev

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.A. Skripnyak

National Research Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: this\_is\_patrik@mail.ru

***Abstract.** In work with the use of methods of numerical modeling was solved the problem of determining of stress-strain state of specimens from light structural alloys on the basis of aluminum sheet metal during processing intense plastic deformation. For the realization of intensive plastic deformation of flat samples, it is proposed to use the method of pressing the groove. We consider the classical and alternative tooling of the mold. The alternative equipment has teeth in the form of half-cylinders. Changes in physical and mechanical properties due to changes in the internal structure of the treated flat samples are assumed. The advantages of the developed original rig before the classical execution are indicated. The obtained results of the numerical solution coincide with some error and correlate with one cycle of equal-channel angular pressing.*

**Введение.** Метод прессования рифлением для модификации образцов листового проката из легких конструкционных сплавов, основанный на реализации интенсивных пластических деформаций, зарекомендовал себя как перспективный подход для изменения внутренней структуры материалов и изменения их физико-механических свойств [1-3]. Данный метод является альтернативой таким методам, как угловое прессование и кручение под давлением [4]. Суть метода прессования рифлением и аналитическое решение подробно описаны авторами в [2]. Однако остается актуальным вопрос создания более точных прогностических физико-математических моделей, описывающих процесс обработки этого класса материалов. При этом математическое моделирование является удобным теоретическим инструментом, позволяющим реализовать выявление основных механизмов и закономерностей. Дополнительно, физико-математическая модель позволит оценить величины усилий при прессовании, что поможет избежать ошибок при проектировании пресс-форм и оптимизации режимов обработки.

Основной целью работы являлось выявление методами численного моделирования особенностей обработки плоских заготовок при использовании оснастки для прессования рифлением при модификации структуры листового проката магниевого сплава Ма2-1.

**Материалы и методы исследования.** В работе определены напряженно-деформированного состояния плоских заготовок из исследуемого сплава при обработке прессованием рифлением проводили методами численного моделирования. Математическая модель для решения поставленной задачи

представлена системой дифференциальных уравнений механики сплошной среды, состоящей из уравнений равновесия, геометрических соотношений, определяющих соотношений. Определяющее соотношение, учитывает упругопластическое поведение материала и основано на билинейной аппроксимации экспериментальной кривой деформирования для исследуемого сплава. Билинейная аппроксимация заключается в замене нелинейной упругопластической задачи двумя линейными упругими задачами. Данный подход является частным случаем метода упругих решений А.А. Ильюшина. Для решения системы уравнений применяли метод конечных элементов в Лагранжевом подходе для плоско-деформированного состояния.

Константы определяющего уравнения находили из результатов экспериментов по одноосному растяжению плоских образцов из магниевого сплава Ма2-1 при температурах 293 и 493 К и скорости деформации 0.001 1/с. При квазистатическом нагружении повышение температуры приводит к уменьшению сопротивления сплава и увеличению степеней предельных деформаций. Предполагается, что оснастка пресс-формы на протяжении всего эксперимента ведет себя абсолютно упруго, в качестве материала выбрана закаленная сталь 40Х.

**Результаты и обсуждения.** Численное моделирование прессования рифлением проводилось для полуцикла обработки, заключающемся в одном прессовании рифлением и одном выпрямлении плоской заготовки из листового проката толщиной 1,5 мм. За один полуцикл прессования сдвиговые деформации в образце реализуются неравномерно. Накопление эффективной пластической деформации происходит в области сдвига. Численные расчеты показывают, что величина эквивалентной пластической деформации при прессовании рифлением равна  $\sim 0.71$ . Результат расходится с аналитическим решением в среднем на 17 %. Этот эффект объясняется излишней идеализацией аналитического расчета, а именно допущениями об отсутствии трения и равенства нулю всех компонент тензора деформации кроме сдвиговых. На самом деле в образце реализуется сложнапряженное состояние, которое вносит значительный вклад в накопление эффективной пластической деформации.

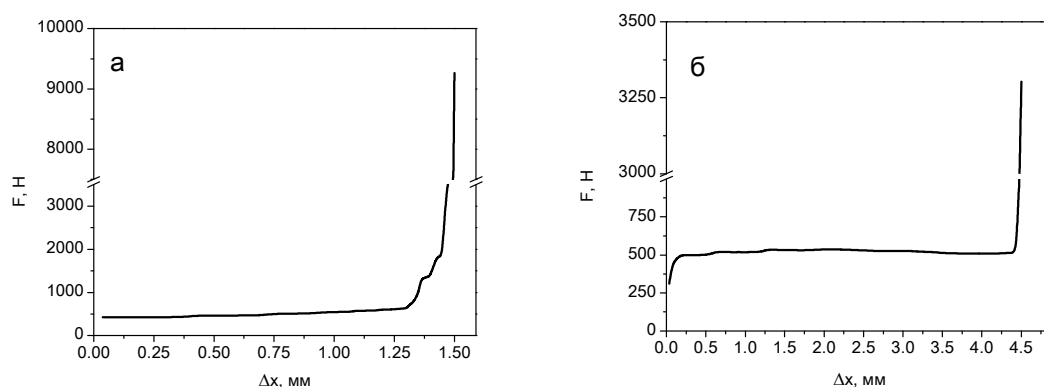


Рис. 1. Реакция опоры при прессовании, а – рифлением, б – выпрямлением

Установлено, что при рифлении в недеформированных местах толщина пластины остается неизменной, а в местах, где локализуются большие пластические деформации, она уменьшается до 0,75 мм. Данное сужение характеризуется тем, что в этой области происходит процесс растяжения. При выпрямлении образца происходит перераспределение материала, тем самым в местах сужения при рифлении остаточная толщина будет равна  $\sim 1,38$  мм, а в местах, где деформации невелики  $\sim 1,5$  мм.

Оценена величина реактивного усилия  $F_y$  при прессовании рифлением равная 9264 Н (рис. 1, а) и при выпрямлении равна 3303 Н (рис. 1, б) для плоской заготовки площадью равной  $S_{xz}=24 \text{ мм}^2$  и толщиной 1,5 мм. Как видно на диаграммах (рис. 1) происходит резкое увеличение усилий, это связано с тем, что значительная часть усилия пойдет на поджатие в локальных областях заготовки. Также это может стать причиной образования трещин. При подготовке оснастки ее размеры необходимо выбирать исходя из ширины и длины заготовки и возможностей оборудования для прессования. Соответственно, усилие необходимое для обработки увеличивается пропорционально площади заготовки.

**Заключение.** На основе результатов численного моделирования была проведена оценка напряженно-деформированного состояния плоских образцов при прессовании рифлением в классической оснастке в билинейной постановке задачи, определены степени накопления пластической деформации при оптимальных режимах прессования. Максимальная величина накопленной пластической деформации по всей длине заготовки за один цикл обработки равна 1,35, что соизмеримо с результатами численного моделирования для магниевых сплавов. Результаты эквивалентны с одним циклом обработки объемных образцов при равноканальном угловом прессовании. Большие степени деформации являются причиной измельчения внутренней структуры материала [5], что приводит к изменению его физико-механических свойств. Увеличение числа циклов прессования ведет к пропорциональному увеличению степени накопленной деформации.

**Благодарность.** Данное научное исследование выполнено при частичной поддержке Российского научного Фонда (грант № 16-19-10264) и Программы повышения конкурентоспособности ТГУ (проект фонда Д.И. Менделеева ТГУ).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Москвичев Е.Н., Скрипняк В.А., Лычагин Д.В., Козулин А.А. Формирование текстур сплава 1560 при интенсивной пластической деформации // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. - 2016. - Т. 21. - № 3. - С. 1180-1183.
2. Москвичев Е.Н., Скрипняк В.А., Скрипняк В.В., Козулин А.А., Лычагин Д.В. Исследование структуры и механических свойств алюминиевого сплава 1560 после интенсивной пластической деформации методом прессования с рифлением // Физическая мезомеханика. - 2017. - Т. 20. - № 4. - С. 85-93.
3. Amit Kumar Gupta, Tejveer Simha Maddukuri, Swadesh Kumar Singh Constrained groove pressing for sheet metal processing // Progress in Materials Science. 84, 2016. pp. 403–462.
4. Маркушев М.В. К вопросу об эффективности некоторых методов интенсивной пластической деформации, предназначенных для получения объемных наноструктурных материалов//Письма о материалах. - 2011. - Т.1. - №1. - С. 36-42.
5. Kozulyan A.A., Skripnyak V.A., Krasnoveikin V.A., Skripnyak V.V., Karavatskii A.K. An investigation of physico-mechanical properties of ultrafine-grained magnesium alloys subjected to severe plastic deformation // Russian Physics Journal, 2015. Т. 57. № 9. С. 1261-1267.