

# Обработка металлов давлением. Технологии и машины обработки давлением

УДК 621.7.011

DOI: 10.14529/met160209

## КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

*М.Ю. Семашко, П.А. Чигинцев*

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск*

На сегодняшний день существует множество способов интенсивного пластического деформирования (ИПД) металлов. Часть из них изучена в достаточной мере, другая – только начинает входить в круг интересов исследователей. У каждого из них есть положительные и отрицательные черты. При этом все они без исключения имеют ряд особенностей, в том числе формирование высокодефектной структуры металла. Отслеживание течения металла и образования различных дефектов на стадии подготовки к физическому эксперименту позволяет предупредить возможное появление некоторых из них, что положительно сказывается на качестве полученных образцов. В работе приведены результаты математического моделирования с помощью программного продукта Deform с оценкой формирования дефектов макроструктуры в течение всего процесса получения заготовки. Проведен анализ течения металла с целью определения причин возникновения дефектов. Для подтверждения корректности построенной модели приведены результаты натурального эксперимента, полностью соответствующего моделируемому. Анализ полученных результатов говорит о высокой сходимости результатов математического моделирования и физического эксперимента, что подтверждает возможность использования программных продуктов в качестве инструмента научных исследований.

*Ключевые слова:* моделирование; интенсивная пластическая деформация; пластическое структурообразование; течение металла; алюминиевые сплавы.

Физический эксперимент позволяет довольно точно оценить итоговый результат исследований, однако промежуточные сведения могут быть потеряны ввиду особенностей процесса, таких как его непрерывность, непрозрачность сред, а, значит, отсутствие возможности отследить промежуточные итоги.

Рассматривая процесс пластического структурообразования, важно заметить такое свойство, как «залечивание» дефектов металла [1]. Таким образом, невозможно отследить образование новых дефектов в процессе деформирования, так как дефекты, возникшие на одном этапе, «залечиваются» на другом. А определить их наличие в готовом изделии возможно лишь методом послойного исследования заготовки с достаточно мелким шагом, что представляется достаточно трудоемким и не самым достоверным процессом, ввиду необходимости исследования нескольких заготовок, необходимости их точной разметки и обработки. При этом шаг таких слоев может составлять менее 1 мм.

Значительно упростить такие исследования может математическое моделирование исследуемых процессов, позволяющее наблюдать за формоизменением заготовки в динамике с возможностью его остановки в необходимое время, а значит, фиксировать малейшие особенности процесса. Сходимость результатов при этом проверяется

исходя из общих представлений о процессе, то есть соответствия модели сложившимся взглядам на процесс, а также по численным значениям усилия деформирования, температуры и другим признакам, как то соответствие положения и размеров реальных дефектов полученным в модели.

Исследуемый процесс моделировался с помощью программного продукта Deform с последующей проверкой методом проведения натурального эксперимента в условиях, аналогичных расчетным.

Для исследования использовался алюминиевый деформируемый сплав марки АМг6. Химический состав исходного прутка соответствует ГОСТ 21488–97.

Цилиндрические заготовки с соотношением длины к диаметру 5 : 1 подвергались интенсивной пластической деформации методом совмещенного процесса, заключающегося в последовательной высадке, прошивке и обратном выдавливании в кольцевую полость [2]. Для адекватной оценки модели проводился один цикл деформирования по схеме «цилиндр–стакан–цилиндр». Нагрев заготовки осуществлялся вместе со штамповой оснасткой. Начальная температура составила 100 °С [3]. Скорость деформирования составила 5 мм/мин.

Усилие на каждом этапе деформирования определялось по шкале манометра прессы путем перерасчета давления в силу.

## Обработка металлов давлением

Температура измерялась при помощи лазерного дистанционного измерителя температуры (пирометра) с оптическим разрешением 10:1 и точностью  $\pm 1,5\%$ .

### Результаты эксперимента и их обсуждение

Для анализа результатов математического моделирования процесс совмещенной обработки был разбит на несколько этапов. Первым из них является момент заполнения конической части матрицы деформированным материалом и начало его воздействия на матрицу. Таким образом, конец этого периода характеризуется началом подъема матрицы под воздействием материала. При этом схема деформирования соответствует процессу высадки или ротационного выдавливания (рис. 1).

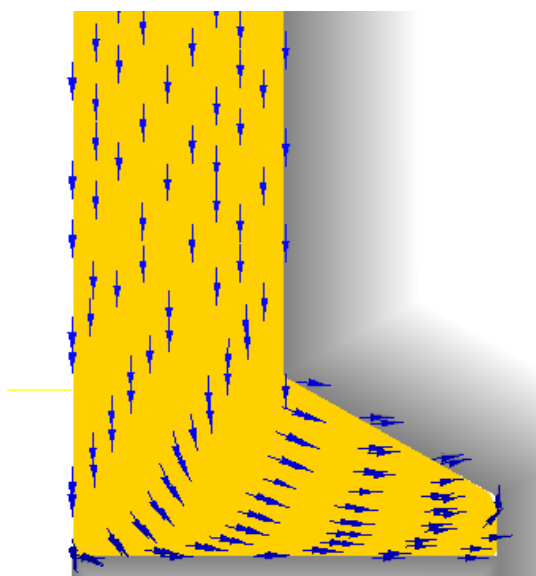


Рис. 1. Направление течения материала заготовки в начальный период деформирования

При касании заготовки стенки полости матрицы происходит торможение материала об нее, тем самым значительно меняется схема течения материала (рис. 2). Это, в свою очередь, приводит к образованию складки в периферической части заготовки.

Следующим этапом рассмотрим процесс перехода от высадки к прошивке заготовки. При этом скачкообразно увеличивается потребное усилие процесса, что связано с внедрением пуансона в тело заготовки, что ведет к скачкообразному увеличению площади контакта. Однако усилие деформирования отвечает внедрению заготовки не сразу, а через некоторое время, что связано с отстоянием верхней части стакана от пуансона, вызванным изменением схемы течения материала заготовки (рис. 3, 4).

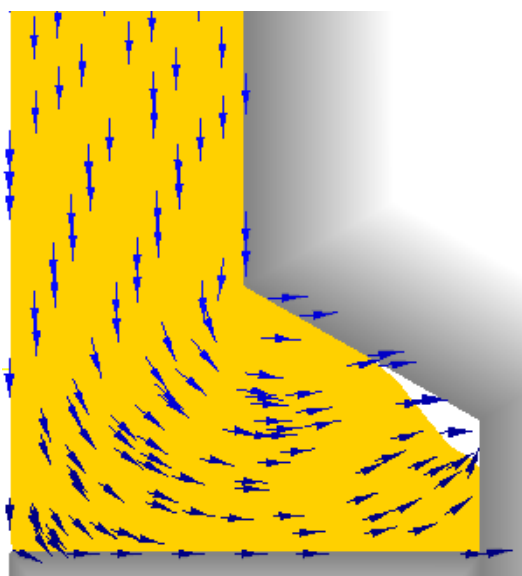


Рис. 2. Изменение направления течения материала после его касания стенки

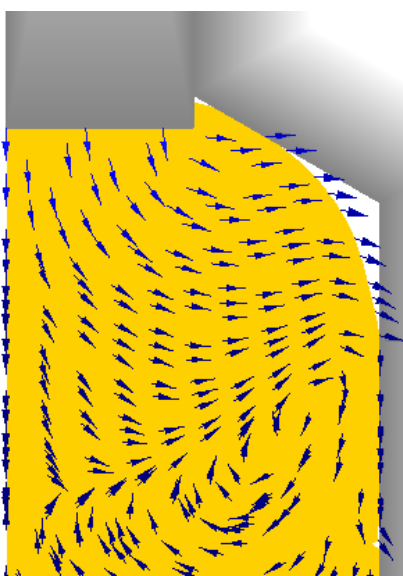


Рис. 3. Переход от высадки к прошивке

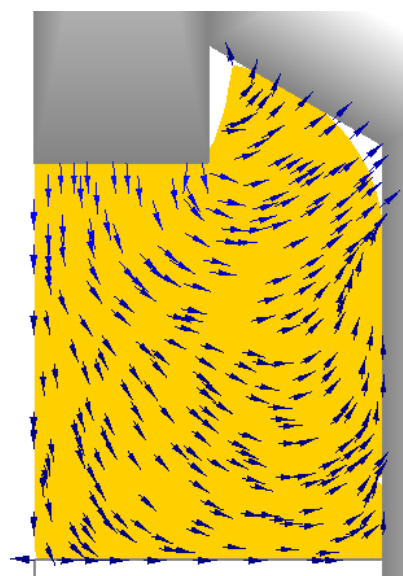


Рис. 4. Отстояние верхней части стакана от пуансона

Итоговым этапом прямого процесса является получение стакана с толщиной дна, составляющей 10 % от первоначальной длины детали и 25 % от наружного диаметра стакана (рис. 5). Далее происходит обратный процесс, заключающийся в получении цилиндра из стакана. Характерной чертой начала обратного процесса является заполнение полостей матрицы, образовавшихся при прямом процессе в связи с кардинальным изменением схемы течения металла, а также образование кольцевой складки на верхнем торце заготовки, габаритные размеры которого составляют  $1,24 \times 1,15$  мм и не изменяются до конца процесса (рис. 6).

Конечный результат представляют собой цилиндрическую заготовку с «юбкой» (рис. 7). При этом образуется коническая полость в нижней части пуансона, возникающая в результате того, что

течение металла по оси требует меньших затрат усилий, чем течение в направлении к центру заготовки. Конический дефект, образующийся в конце процесса, представлен на рис. 8.

Результаты физического эксперимента, аналогичного математическому моделированию, подтверждают правильность построения модели. Так, прогнозируемые в математической модели дефекты макроструктуры повторяются с высокой точностью на реальной заготовке. В качестве примера можно привести незалеченные кольцевые дефекты, расположенные на верхнем торце заготовки (рис. 9), и след от складки на образующей цилиндра (рис. 10). При этом на микроструктуру данная складка влияния не оказала, что подтверждает наличие процесса залечивания дефектов.

В результате исследования срезов заготовки не было обнаружено внутренних дефектов, что

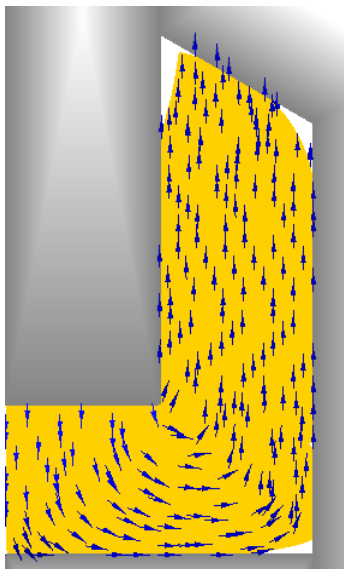


Рис. 5. Итоговый результат первой части процесса

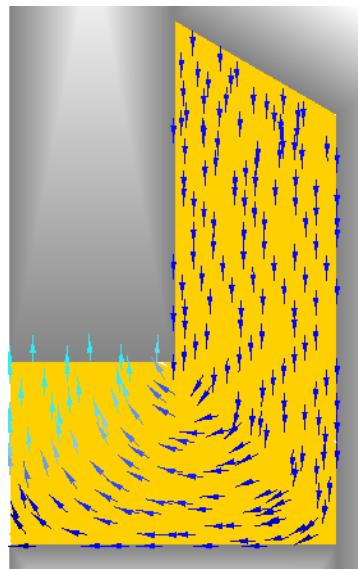


Рис. 6. Кольцевой дефект на верхнем торце заготовки

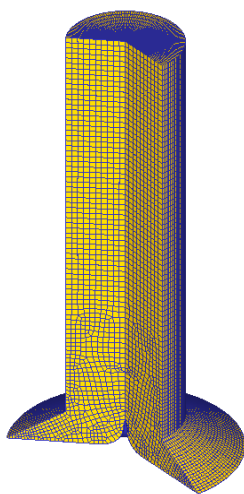


Рис. 7. Вид конечной детали

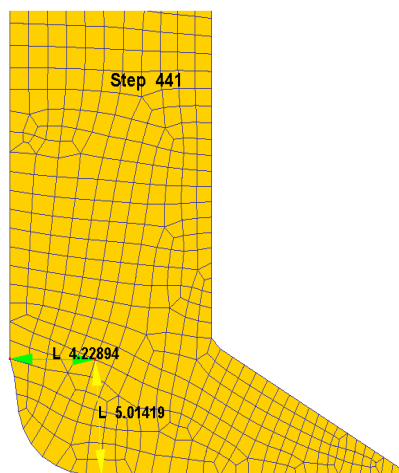


Рис. 8. Конический дефект, образующийся в конце процесса



Рис. 9. Кольцевые дефекты на верхнем торце



Рис 10. След от складки на образующей цилиндра

также соответствует результатам математического моделирования, но расходится с результатами аналогичных исследований на других пластичных материалах.

### Выводы

1. Таким образом, математическая модель весьма точно позволяет оценить течение материала заготовки, что, в свою очередь, позволяет говорить о сходимости результатов модели с реальным процессом при рассмотрении напряженно-деформированного состояния заготовки при ее обработке вне зависимости от сложности процесса течения металла. Однако необходимо отметить значительные изменения в схеме течения материала при его смене, что говорит о необходимости исследования более широкого круга конструкционных материалов, в том числе сталей – наиболее широко используемого в общем машиностроении класса подобных металлов.

2. Процесс совмещенной обработки при рассматриваемых параметрах сопряжен с образованием дефектов макроструктуры материала, что говорит о необходимости пересмотра технологических условий деформирования по данной схеме.

### Литература

1. Шеркунов, В.Г. Экспериментальное исследование металлических образцов, подвергнутых интенсивной пластической деформации / В.Г. Шеркунов, М.Ю. Семашко, П.А. Чигинцев // *Обработка сплошных и слоистых материалов*. – 2014. – № 1. – С. 11–19.

2. Патент РФ 2424076. Способ пластического структурообразования и устройство для его осуществления / М.Ю. Семашко, В.И. Трусковский, В.Г. Шеркунов. – 2009.

3. Солнцев, Ю.П. *Материаловедение: учеб. для вузов* / Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин. – СПб: Химиздат, 2007. – 784 с.

**Семашко Марина Юрьевна**, канд. техн. наук, доцент кафедры машин и технологий обработки материалов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; semashkomi@susu.ru.

**Чигинцев Павел Андреевич**, аспирант кафедры машин и технологий обработки материалов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; 4iga90@mail.ru.

*Поступила в редакцию 11 марта 2015 г.*

## A COMPREHENSIVE STUDY OF THE PROCESS OF SEVERE PLASTIC DEFORMATION OF ALUMINUM ALLOY

M.Yu. Semashko, semashkomi@susu.ru,

P.A. Chigintsev, 4iga90@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

At present, there are many ways of severe plastic deformation (SPD) of metals. Some of them are studied sufficiently, others are just beginning to attract researchers' attention. Although all of them have both positive and negative features, they have peculiarities including the formation of a highly defected metal structure. Tracking of the metal flow and the formation of various defects while preparing for a physical experiment enables to prevent their possible emergence and has a positive effect on the quality of obtained samples. The results of the mathematical modeling made with the help of the Deform software with the evaluation of the defect formation of the macrostructure during the process of obtaining a workpiece are presented. The analysis of the metal flow aimed at the determination of the causes of defects was carried out. To confirm the correctness of the constructed model, the results of a natural experiment fully corresponding to the simulated one are presented. The analysis of the results obtained shows high convergence of the mathematical modeling and a physical experiment, and this fact confirms the possibility of using the software as a tool for research.

*Keywords: modeling; severe plastic deformation; plastic structure formation; metal motion; aluminum alloys.*

### References

1. Sherkunov V.G., Semashko M.Yu., Chigintsev P.A. [Experimental Investigation of Metal Samples Subjected to Severe Plastic Deformation]. *Obrabotka sploshnykh i sloistykh materialov*, 2014, no. 1, pp. 11–19. (in Russ.)
2. Semashko M.Yu., Truskovskiy V.I., Sherkunov V.G. *Sposob plasticheskogo strukturoobrazovaniya i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [The Process of the Plastic Structure Formation and Device for Its Implementation]. Patent RF, no. 2424076, 2009.
3. Solntsev Yu.P., Pryakhin E.I. *Materialovedenie* [Materials Science]. St. Petersburg, Khimizdat Publ., 2007. 784 p.

*Received 11 March 2015*

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Семашко, М.Ю. Комплексное исследование процесса интенсивной пластической деформации алюминиевого сплава / М.Ю. Семашко, П.А. Чигинцев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 63–67. DOI: 10.14529/met160209

### FOR CITATION

Semashko M.Yu., Chigintsev P.A. A Comprehensive Study of the Process of Severe Plastic Deformation of Aluminum Alloy. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 63–67. (in Russ.) DOI: 10.14529/met160209