

*М.Б. Савонькин, В.А. Тюрин*

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

## СТРУКТУРА ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ОСАДКЕ ЗАГОТОВОК БОЙКАМИ С ОСЕВЫМ ОТВЕРСТИЕМ

**Аннотация.** Рассмотрено определение границ и построение структуры очага деформации при обжатии заготовок бойками с осевым отверстием. Работа выполнена на основе анализа и комбинирования результатов, полученных пятью различными методами исследования.

**Ключевые слова:** осадка бойками с осевым отверстием, зоны деформации, точки, линии, поверхности раздела пластических потоков, потоки пластического течения металла.

## DEFORMATION ZONE STRUCTURE AT THRESHERS WITH AXIAL HOLE BILLET SEDIMENT

**Abstract.** The process of billets upsetting with axial hollowed dies is considered. Plastic zones boundaries determination and deformation zone pattern are described in the paper. Paper subject is focused on the analysis and the combination of some results, obtained with five different experimental and theoretical methods.

**Keywords:** upsetting with axial hollowed dies, deformation zones, points, lines, surfaces of plastic flows separation, flows of metal plastic current.

При построении технологического процесса, содержащего уникальную ковочную операцию – осадку заготовок бойками с осевым отверстием, возникают сложности ввиду отсутствия схемы очага деформации для указанного процесса, дающей исчерпывающую информацию о течении металла заготовки и влиянии технологических параметров на формоизменение и свойства металла изделия. Так, например, наблюдается разное формоизменение заготовок при изменении таких технологических параметров, как соотношение геометрических размеров заготовки, соотношение геометрических размеров заготовки и инструмента. Это является положительным или отрицательным приращением высоты заготовки в ходе осадки, а также изменением профиля свободной боковой поверхности, который может быть как выпуклым, так и вогнутым относительно оси заготовки.

При некотором сходстве с процессом осадки заготовок плоскопараллельными бойками, исследуемый процесс имеет существенные отличия. Эти отличия вызваны формой инструмента, который помимо плоских участков, имеет осевые отверстия. Течение металла помимо радиального направления между плоскими частями инструмента, сопровождается также течением в осевом направлении – в отверстия. Между пластическими потоками металла находится граница – линия (или поверхность) раздела потоков.

За многолетнюю (143 года) историю изучения процесса осадки заготовок бойками с осевым отверстием предлагались различные варианты схем очага деформации [1 – 3], полученные на основании теоретических

расчетов и экспериментальных данных. Все схемы очага деформации, приведенные ранее, характеризуются наличием потоков, действующих в различных направлениях, а также границей раздела потоков. Однако единой картины, полностью охватывающей все стадии процесса, соотношения параметров в системе «инструмент–заготовка», а также особенности формоизменения заготовки, на сегодняшний день нет. Кроме того, крайне мало сведений о количественных характеристиках процесса.

В существующих схемах предполагается наличие линий раздела пластических потоков, которые располагаются либо вблизи цапф, либо в полотно диска, причем, как правило, вне зависимости от степени обжатия и соотношения геометрических размеров инструмента и заготовки, линии остаются прямыми на всех стадиях процесса.

Встречающиеся в литературе исследования процесса осадки заготовок бойками с осевым отверстием проводились с применением различных методов исследования, таких как метод полей линий скольжения, метод слоистых заготовок, метод координатных сеток, а также метод оценки макроструктуры до и после деформирования.

В данной работе предложен вариант описания структуры очага деформации на основе анализа результатов экспериментов, проведенных с применением «традиционных» методов исследования, который учитывает не только качественные, но и количественные характеристики процесса осадки заготовок бойками с осевым отверстием. За основу для описания структуры

очага деформации была принята концепция потоков и схем пластического течения металла.

Для наиболее полного представления о структуре очага деформации при осадке заготовок бойками с осевым отверстием необходимо определить и уточнить следующие важные характеристики процесса: определить местоположение и конфигурацию линий (поверхностей) раздела пластических потоков, границы жестких и пластических областей, зоны локализации деформаций, распределение локальных деформаций по сечению заготовки, зоны максимального градиента деформаций.

При выборе методов для определения характеристик исследуемого процесса руководствовались следующими соображениями: результаты эксперимента должны обеспечивать приемлемую точность и достоверность полученных данных, относительно высокую скорость постановки и обработки полученных данных, материалы для проведения экспериментальных исследований должны быть доступными и иметь невысокую стоимость, а также не требовать дорогостоящего оборудования для их обработки.

Для проведения экспериментальной проверки предполагаемого характера течения материала заготовки и количественной оценки при осадке бойками с осевым отверстием, исходя из соображений, изложенных выше, авторами выбраны следующие методы исследования: метод слоистых заготовок, метод полей линий скольжения, метод координатных сеток, а также моделирование при помощи конечно элементной среды, метод визуализации области градиента полей местных деформаций.

Для различных сочетаний технологических параметров (соотношение геометрических размеров заготовки, относительный диаметр отверстия в инструменте, степень обжатия) наилучшие результаты дают разные из выбранных методик исследования и для лучшей иллюстрации – разные сочетания полученных результатов. Поэтому в работе даны рисунки для сочетаний параметров, когда видны преимущества каждой из примененных методик.

Сократить количество трудоемких экспериментов и получить дополнительные данные о процессе позволяет применение моделирования при помощи конечно-элементных сред. Существенным преимуществом такого моделирования является значительное расширение области значений параметров системы «инструмент – заготовка». Кроме того, при помощи конечно-элементного моделирования возможно определение границ применимости способа осадки заготовок бойками с осевым отверстием, в частности, установление предельных соотношений геометрических размеров заготовки, определение минимального и максимального диаметра отверстия в инструменте, а также допустимых степеней обжатия. Результаты, полученные при помощи данного метода (рис. 1), обла-

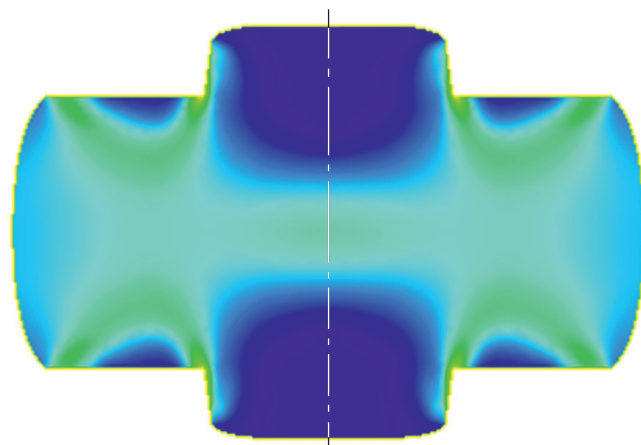


Рис. 1. Поля деформаций в диаметральной плоскости заготовки (метод конечных элементов, среда Q-Form). Степень обжатия 40 %

дают хорошей наглядностью, позволяют получить помимо качественной характеристики процесса также и количественные данные о деформации материала заготовки (могут быть представлены как в виде изолиний уровня деформаций, так и в виде цветового поля). Применение метода конечных элементов позволило определить размеры и положение зон деформации, а также границ между ними. В частности, рассмотрение поля деформаций, представленного на рис. 1, позволило выявить зоны затрудненной деформации, расположенные под плоскими частями инструмента вблизи контактной поверхности и в части заготовки, идущей на формирование цапф, зоны локализации деформации в полотно диска и в средней части заготовки. В отличие от границ зон деформации, полученных при помощи других методов (например, метода полей линий скольжения), в данном случае границы несколько размыты, что соответствует деформации заготовок из реальных сталей и сплавов.

Одним из наиболее доступных экспериментальных методов для оценки формоизменения различных процессов обработки металлов давлением является метод слоистых заготовок. Данный метод широко применяется в исследованиях благодаря доступности, низкой стоимости и простоте обработки применяемых материалов, а также не требует сложного и дорогостоящего оборудования. Кроме того, результаты исследования, полученные при помощи метода слоистых заготовок, являются одними из самых наглядных для описания деформированного состояния заготовок.

Авторами были получены диаметральные разрезы заготовок, обжатых с различной степенью бойками с осевым отверстием для различных соотношений системы «инструмент – заготовка» [4] (рис. 2). Кроме качественной картины формоизменения заготовки и течения материала (изменение толщины слоев), получена количественная оценка деформации, представленная в виде поля локальных деформаций по сечению заготовки. Однако при помощи метода слоистых заготовок воз-

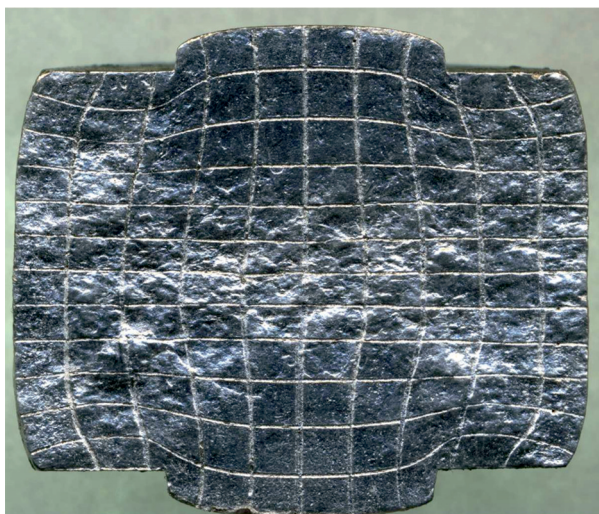


Рис. 2. Деформированная координатная сетка в диаметральной плоскости разреза обжатой заготовки. Степень обжатия 10 %

возможен расчет локальных деформаций только в одном направлении.

Сложность при применении метода слоистых заготовок вызывает определение четких границ зон деформации в заготовке, а также невозможность отследить траектории перемещения отдельных точек (частиц) материала заготовки. Поэтому, несмотря на хорошую наглядность и большое количество информации, полученное при рассмотрении продеформированных слоистых заготовок, необходимо применение других методик для определения траекторий перемещения и уточнения направлений действия пластических потоков и границ зон деформации, которые невозможно или затруднительно получить, используя только этот метод.

Для определения границ зон деформации – границ между жесткими и пластическими областями заготовки, наиболее подходящим методом является метод полей линий скольжения. Применяя данный метод, удалось определить четкие границы очага деформации

[5]. Однако метод полей линий скольжения дает решение только для идеального жесткопластического материала. Для перехода от идеального материала к реальному требуется уточнение и дополнение полученных данных.

Метод координатных сеток позволяет получить дополнительные сведения о характере течения металла. Преимуществом данного метода перед методом слоистых заготовок является возможность определения локальных деформаций по двум направлениям и расчета третьей компоненты, а также определение траекторий перемещения точек (частиц) материала заготовки по перемещению узлов координатной сетки при деформировании заготовки. Применение составных образцов из свинца (см. рис. 2) позволило изучить процесс постадийно. Кроме того, рассмотрение поверхностей разреза, свободных от координатной сетки, позволило выявить конфигурацию и границы зон деформации по «выдавленным» макрозернам структуры (рис. 3). Рассмотрение поверхностей разреза обжатых свинцовых заготовок позволяет определить зоны локализации деформации, однако для установления их характера требуется количественная оценка, которая получена при расчете локальных деформаций (рис. 4). Анализ плотности расположения («густоты») изолиний локальных деформаций дает более детальную информацию об очаге деформации. Поля деформаций, построенные для поверхности разреза заготовки, также являются дополнением к полям, построенным при обработке слоистых заготовок.

Совместное рассмотрение результатов, полученных различными методами, позволило определить местоположение и протяженность границ раздела пластических потоков, направление потоков пластического течения и деформационных перемещений, зоны деформации и границы между ними, распределение локальных деформаций по сечению заготовки и построить структуру очага деформации при обжатии заготовок бойками с осевым отверстием (рис. 5).



Рис. 3. Зоны деформации, выявленные в диаметральной плоскости разреза обжатой заготовки. Степень обжатия 50 %

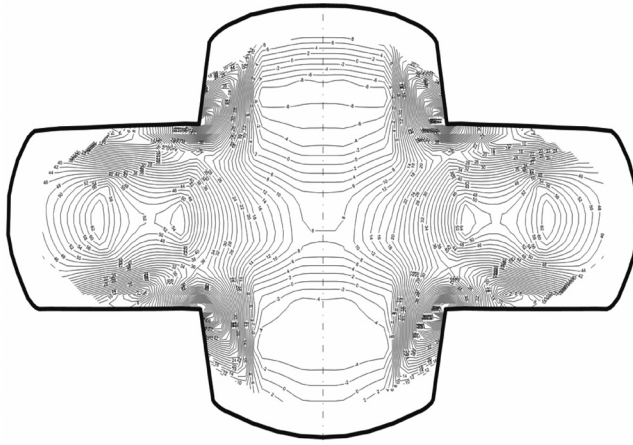


Рис. 4. Поля локальных деформаций в диаметральной плоскости разреза обжатой заготовки. Степень обжатия 60 %



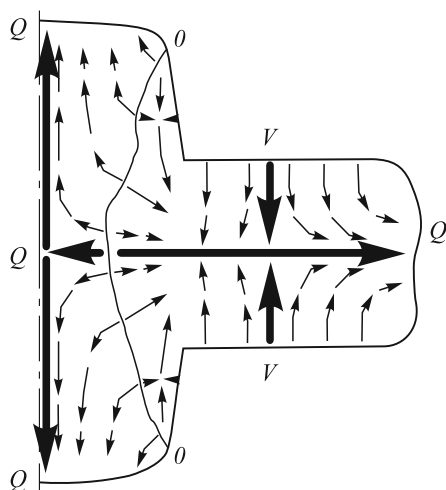


Рис. 5. Структура очага деформации в диаметральной плоскости заготовки, обжатой бойками с осевым отверстием. Степень обжатия 60 %

Полученная структура очага деформации содержит данные, необходимые для проектирования технологического процесса и прогнозирования структуры металла получаемых поковок.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тарновский И.Я. Формоизменение при пластической обработке металлов (ковка и прокатка). – М.: Металлургиздат, 1954. – 534 с.
2. Шофман Л.А. Основы расчета процессов штамповки и прессования. – М.: МАШГИЗ, 1961. – 340 с.
3. Паршин В.А., Ганаго О.А., Валетов М.С. // Кузнечно-штамповочное производство. 1997. № 12. С. 32 – 34.
4. Тюрин В.А., Савонькин М.Б. // Кузнечно-штамповочное производство. 2009. № 3. С. 17 – 20.
5. Гузенко П.Ю., Тюрин В.А., Савонькин М.Б. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 5. С. 69 – 70.

© 2013 г. М.Б. Савонькин, В.А. Тюрин  
Поступила 27 марта 2013 г.

УДК 621.74.04

**А.Н. Калитаев, В.Д. Тутарова, А.Н. Шаповалов, Д.О. Бажуков**

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». Новотроицкий филиал

## ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВЕННОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ КРУГЛОЙ ЗАГОТОВКИ НА МНЛЗ

**Аннотация.** В результате анализа качества макроструктуры и поверхности непрерывнолитых заготовок круглого сечения выявлены проблемы формирования качественных заготовок диам. 430 и 600 мм, получаемых в условиях комбинированной четырехручьевого машины непрерывного литья заготовок № 1 ОАО «Уральская сталь».

**Ключевые слова:** непрерывнолитая заготовка, макроструктура, качество поверхности.

## CONTINUOUS QUALITY PROBLEMS OF FORMATION ROUND BILLETS AT CCM

**Abstract.** An analysis of the macrostructure and surface quality cast billets round revealed the problems of formation of highquality billet diameters 430 and 600 mm, obtained in a combined four-strand continuous casting machine № 1 JSC “Ural Steel”.

**Keywords:** billets, macrostructure, the surface quality.

С 2006 г. в электросталеплавильном цехе (ЭСПЦ) ОАО «Уральская Сталь» эксплуатируется комбинированная четырехручьевого машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) № 1 для получения непрерывнолитых заготовок круглого (диам. 430, 540 и 600 мм) и прямоугольного 330×470 мм сечений, которая представляет собой установку криволинейного типа с радиальным кристаллизатором.

По результатам работы ЭСПЦ за январь-октябрь 2012 г. на комбинированной МНЛЗ № 1 разлито 280 плавов стали (марки 20, 09Г2С, А350LF2, St52.0, Д и 13ХФА-2) с получением непрерывнолитых заготовок круглого сечения (табл. 1):

– диам. 430 мм – 129 плавов общим весом 14 682,56 т;

– диам. 600 мм – 151 плавка весом 16 968,24 т.

Таким образом, наиболее массовыми марками стали, разливаемыми на МНЛЗ № 1 в круглые заготовки, являются сталь 20, 09Г2С и сталь марки Д, объем производства которых превышает 90 % от общего.

### Анализ качества макроструктуры круглой заготовки

При разливке стали производят отбор поперечных темплетов для оценки качества макроструктуры в соответствии с ОСТ 14-4-73 «Сталь. Метод контроля макроструктуры литой заготовки, полученной методом непрерывной разливки». Результаты оценки качества