

УДК 621.77

*В.П. Романенко, А.А. Золотарев*

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФОРМОВКИ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОЛЕСА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Аннотация.** На основе результатов компьютерного моделирования в программном комплексе Deform 3D показана возможность получения железнодорожных колес из полых и сплошных колесных заготовок. Представлены результаты моделирования операций осадки на плоско-параллельных плитах, осадки и разгонки в технологическом кольце и формовки колеса, соответствующие реальному технологическому процессу производства колес для трех типов заготовок.

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, формоизменение металла, производство колес.

## RAILWAY WHEELS ROUND BILLETS FORMING PROCESS TECHNOLOGY MODELING WITH FINITE ELEMENTS METHOD

**Abstract.** On the basis of results of computer modeling in program complex Deform 3D the possibility of production of railway wheels from hollow and solid wheel billets is shown. Results of modeling of upsetting operations using parallel and flat plates, upsetting and billet spread in a technological ring and wheel forming corresponding to actual wheel production process for three types billets are presented.

**Keywords:** computer modeling, metal forming, wheels production.

В настоящее время железнодорожные колеса производятся в основном из литого металла по схеме, включающей несколько операций горячего деформирования на гидравлических прессах и колесопрокатном стане. Одним из основных недостатков такой технологии является то, что литая структура не устраняется полностью. Деформация колесной заготовки в основном методом осадки приводит к тому, что остатки дендритной структуры обнаруживаются даже в ободе, что снижает эксплуатационные свойства колес.

Исследованию процесса осадки заготовок посвящено много работ как отечественных, так и зарубежных авторов. В настоящее время получило развитие построение математических и компьютерных моделей процессов ОМД и, в частности, осадки,ковки,штамповки в системах инженерного анализа Q Form, Deform 3D, ANSYS и др. [1, 2]. В работе [1] построена модель процесса получения чернового железнодорожного колеса из сплошной колесной заготовки и проанализированы основные этапы ее формоизменения на прессах. В работе [2] на основе построенной компьютерной модели получения отформованной поковки железнодорожного колеса применительно к технологии их получения на ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» рассматривается характер течения металла при осадке, анализируются возможные причины частичного незаполнения штампов и некачественной отформовки.

В настоящей работе разработано и представлено математическое моделирование технологического процесса получения отформованных заготовок железнодорожных колес на прессовой линии на основе метода

конечных элементов и Лагранжева описания движения сплошной среды [3, 4].

Для сравнения степени проработки внутренней структуры в отформованных заготовках железнодорожных колес на прессопрокатной линии было решено использовать три различные колесные заготовки одинаковой массы: проштампованную, полую недеформированную со схожими геометрическими размерами и сплошную недеформированную. Каждая из вышеперечисленных заготовок последовательно осаживалась на гидравлическом прессе 19,6 МН, разгонялась в кольце на прессе 49 МН и отформовывалась на прессе 98 МН. В результате были построены три модели технологического процесса получения отформованной заготовки железнодорожного колеса.

Для математического моделирования процессов ОМД была выбрана FEM CAD система Deform 3D [5].

В настоящей работе одна из заготовок была вырезана из осеботоростостенной гильзы, полученной винтовой прошивкой [6]. Для деления гильзы на колесные заготовки использовались встроенные в программный комплекс Deform 3D модули, обеспечивающие безотходное разделение – булевы операции. В результате получились колесные заготовки со структурой и свойствами, идентичными проштампованной гильзе, при этом все данные о ранее проделанных операциях с вырезанным объемом сохранились. Одна из таких колесных заготовок представлена на рис. 1.

В процессе исследования определялись параметры напряженно-деформированного состояния металла, накопленная степень деформации по объему заготовки, ха-

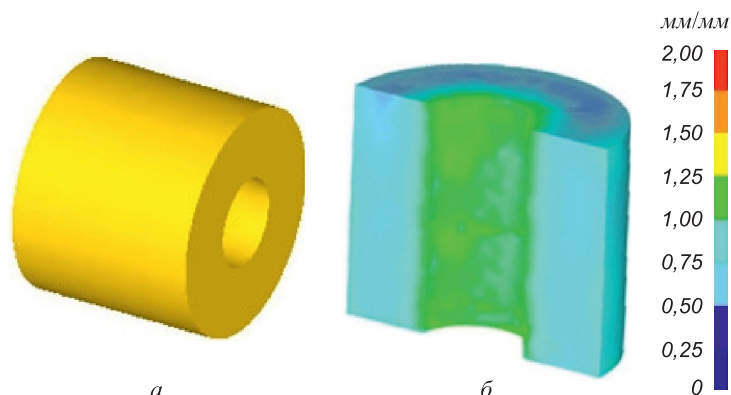


Рис. 1. Колесная заготовка и ее разрез с распределением полей деформации по Мизесу

раक्टर развития деформации, время осадки, геометрия до и после осадки, геометрические размеры конечной отформованной заготовки железнодорожного колеса (диаметр обода, катающей поверхности, ступицы, толщина диска), температурные поля, энергосиловые параметры. Значительное внимание в работе уделяется значениям накопленной степени деформации и полям распределения деформаций по объему заготовки как показателям, контролирующим проработку структуры металла. Данная работа выполняется для дальнейшего сопоставления результатов математического моделирования с реальным процессом получения отформованной заготовки железнодорожного колеса на прессопрокатной линии.

В программе SolidWorks были созданы трехмерные модели рабочего инструмента прессопрокатной линии, их компоновка в пространстве в соответствии с заданными параметрами. Разработан следующий рабочий инструмент: штампы верхний и нижний прессы усилием 19,6 МН, прессы усилием 49 МН, прессы усилием 98 МН. После позиционирования рабочего инструмента и заготовки – построения очага деформации, сборка переносилась в рабочую среду Deform 3D. Компоновка рабочего инструмента на прессы усилием 19,6 МН представлена на рис. 2 а, б, в.

В соответствии с методом конечных элементов, геометрическая модель заготовки разбивается на конеч-

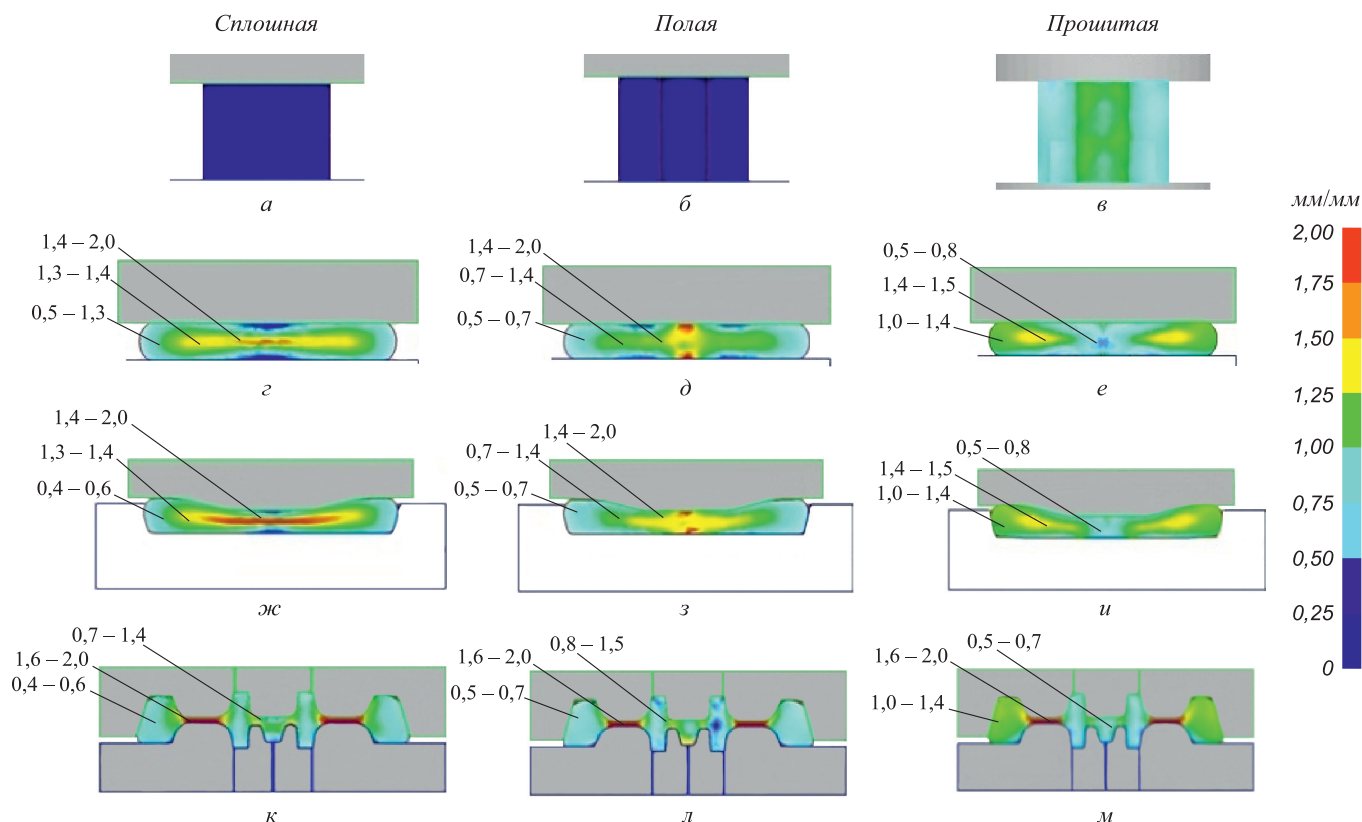


Рис. 2. Стадии формоизменения проштампанной (а), полой недеформированной (б), сплошной недеформированной (в) заготовок при свободной осадке на прессы 19,6 МН (з, д, е), разгонке на прессы 49 МН (жз, з, и) и формовке на прессы 98 МН (к, л, м) с распределением полей деформации по Мизесу

ные элементы (КЭ), представляющие собой тетраэдры, длина ребер которых находится в заданных пределах. Данные КЭ имеют одинаковые упругопластические свойства.

В постановке задачи осадки приняты следующие допущения:

- рабочий инструмент прессов является абсолютно жестким телом с постоянной температурой;
- трение между заготовкой и рабочим инструментом подчиняется закону сухого трения Амонтона-Кулона и коэффициент трения постоянен по всей поверхности контакта;
- материал обрабатываемого тела является несжимаемым с постоянным по времени объемом.

При моделировании каждой последующей операции используются результаты расчета предыдущей операции без изменения координатной сетки КЭ. Результаты моделирования для характерных стадий процесса деформации заготовки показаны на рис. 2 и 3 в виде показателей напряженно-деформированного состояния в центральном сечении поковки.

При моделировании осадки сплошных и полых заготовок для традиционной и предлагаемой технологии для всех операций были использованы следующие исходные данные, введенные в препроцессор Deform 3D.

1. Вид технологического процесса:
  - деформация на прессах 19,6; 49; 98 МН.
2. Задачи моделирования:
  - тип заготовки: цилиндрическая;
  - виды моделируемых процессов в заготовке – напряженно-деформированное состояние и тепловые процессы;
  - вид процесса – упругопластическая деформация.
3. Геометрическое описание:
  - вид моделируемого инструмента и заготовки соответствует реальным геометрическим размерам производства железнодорожных колес diam. 957 мм;
  - сплошная заготовка размером 474×353 мм;

– полая (прошитая) заготовка – внутренний диаметр 180 мм.

4. Технологическое оборудование:

– гидравлические прессы усилием 19,6; 49; 98 МН.

5. Параметры заготовки:

– температура заготовки – 1200 °С;

– материал заготовки – сталь 60.

6. Параметры инструмента:

– осадочные плиты и штампы соответствуют применяемым в промышленности;

– материал смазки соответствует коэффициенту трения 0,3.

В результате компьютерного моделирования совмещенных процессов винтовой прошивки и осадки на прессах получились геометрически одинаковые, но различные по степени проработки внутренней структуры три отформованных черновых железнодорожных колеса. При этом наибольшую проработку внутренней структуры получает черновое колесо, полученное из прошитой колесной заготовки. Накопленные деформации в прошитой заготовке больше, чем в три раза превышают деформации, накопленные двумя другими заготовками, следовательно и проработка внутренней структуры значительно лучше. В колесе из полый недеформированной заготовки за счет заваривания внутреннего отверстия ступица прорабатывается лучше, чем из сплошной, в остальном же их поля деформаций схожи.

**Выводы.** Разработана компьютерная модель осадки колесных заготовок одинаковой массы, полученных в процессе прошивки и деления, а так же полых и сплошных недеформированных заготовок в очаге деформации прессов усилием 19,6; 49; 98 МН. Для процесса деления гильзы на колесные заготовки применены встроенные инструменты программы Deform 3D – булевы операции.

Изучение значений деформации после осадки по объему заготовок выявило следующие закономерности ее распределения: в ступице и диске значения деформации

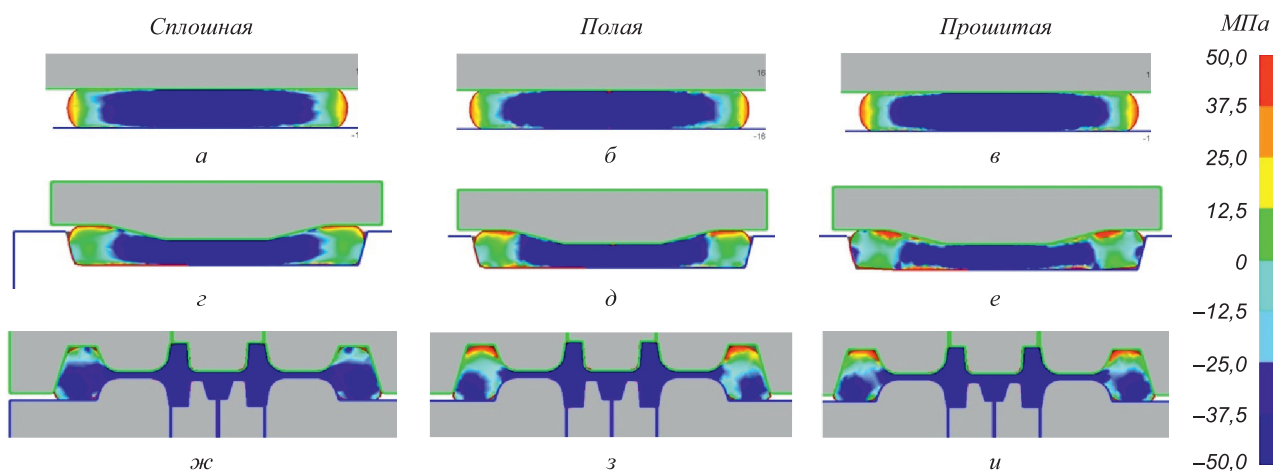


Рис. 3. Стадии формоизменения прошитой (а), полый недеформированной (б), сплошной недеформированной (в) заготовок при свободной осадке на прессе 19,6 МН (а, б, в), разгонке на прессе 49 МН (г, д, е) и формовке на прессе 98 МН (ж, з, и) с распределением полей напряжений

по Мизесу практически одинаковы в трех отформованных заготовках колес, полученных из различных типов заготовок, и достигают значений 0,6–0,8 и 1,6–2,0 соответственно. Существенное отличие наблюдается в ободе колес. Так в колесе из проштамповой заготовки деформации в ободе достигают значений до 1,4, в полой недеформированной заготовке – 0,8 и до 0,5 в сплошной, т. е. в ободе предварительно деформированной заготовки величина интенсивных деформации более чем в 2,8 раза выше по сравнению со сплошной (см. рис. 2).

Изучение полей возникающих напряжений показало, что во всех заготовках в центральной зоне присутствуют сжимающие, а в периферийной зоне растягивающие напряжения, при этом в полой и предварительно проштамповой заготовках в отформованных колесах в ободе они больше, чем в сплошной, в связи с тем, что течение металла при осадке шло и к центру поковки и к периферии.

Разработанная комплексная компьютерная модель процесса винтовой прошивки-деления и осадки заготовок (осадка, разгонка в кольце и формовка – основная деформация на прессопрокатной линии) дополнительно с физическим моделированием позволяет более полно исследовать процессы прошивки, осадки и их сочетания с изучением распределения напряженно-

деформированного состояния металла по зонам очага деформации, температурных условий при деформировании и других характеристик пластического формоизменения металла.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голышков Р., Латаев А., Харламов А. // САПР и графика. 2006. № 7.
2. Кушнарев А.В., Кропотов В.А., Богатов А.А. Формоизменение металла при осадке, черновой и чистовой штамповке непрерывнолитых заготовок при производстве железнодорожных колес: Тр. III Междунар. науч.-техн. конф. «Металлдеформ – 2009». – Самара: СГАУ, 2009.
3. Ильшин А.А. Пластичность. – М.: Логос, 2004. – 390 с.
4. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1984.
5. Гун Г.Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1983. – 351 с.
6. Романенко В.П., Сизов Д. В. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2011. № 3.
7. Обработка металлов давлением / Б.А. Романцев, А.В. Гончарук, Н.М. Вавилкин, С.В. Самусев – М.: МИСиС, 2008. – 960 с.
8. Смирнов-Аляев Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. Инженерные методы расчета операций пластической обработки материалов. 3-е изд., испр. и доп. – Л.: Машгиз, 1978. – 368 с.

© 2013 г. В.П. Романенко, А.А. Золотарев  
Поступила 21 марта 2013 г.