

УДК: 621.771 : 669.716

DOI: 10.17073/0021-3438-2015-1-45-48

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ПОКОВКИ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК6

© 2015 г. **И.Л. Константинов, И.Ю. Губанов, И.О. Астрашабов,  
С.Б. Сидельников, Н.А. Белан**

Сибирский федеральный университет (СФУ), г. Красноярск

*Статья поступила в редакцию 23.05.13 г., доработана 08.07.13 г., подписана в печать 15.07.13 г.*

Проведено исследование возможности моделирования реального технологического процесса горячей объемной штамповки поковки из алюминиевого сплава АК6 с помощью компьютерной программы DEFORM-3D. Вводились параметры, соответствующие производственным условиям данного процесса: температура нагрева штампа 350 °С, температура нагрева заготовок 360–470 °С, скорость рабочего хода пресса – 5 мм/с, фактор трения (по Зибелю) – 0,5. Показано, что компьютерное моделирование в программе DEFORM-3D позволяет анализировать реальные процессы горячей объемной штамповки алюминиевых сплавов и вносить рекомендации по их корректировке.

**Ключевые слова:** моделирование, горячая объемная штамповка, штамп, алюминиевые сплавы.

The possibility of modeling the actual production process of hot bulk forging of the forged piece made of АК6 aluminum alloy is investigated using the DEFORM-3D computer program. Parameters corresponding to production conditions of this process were introduced: die heating temperature of 350 °С, billet heating temperature of 360–470 °С, die working stroke velocity of 5 mm/s, and friction factor (by Siebel) of 0,5. It is shown that computer modeling in the DEFORM-3D program allows us to analyze the actual processes of hot bulk forging of aluminum alloys and introduce recommendations on their correction.

**Keywords:** modeling, hot bulk forging, die, aluminum alloys.

### Введение

Алюминиевые деформируемые сплавы широко используются в промышленности в качестве конструкционного материала, и одним из основных способов получения заготовок для деталей из этих сплавов является горячая объемная штамповка. Благодаря высокой пластичности алюминиевых сплавов штампованным поковкам можно придать сложную форму с резкими переходами сечения и такими элементами, как ребра жесткости, бобышки и т.д. Но оформление этих элементов усложняет технологический процесс штамповки за счет увеличения количества переходов штамповки, а последующее изготовление деталей сопровождается большим объемом механообработ-

ки. Следует отметить, что штамповая оснастка для мощных гидравлических штамповочных прессов, применяемых для штамповки алюминиевых сплавов, отличается большой массой, а изготовление гравюры штампа – высокой трудоемкостью. Поэтому для исключения неточности при изготовлении ручьев штампа из-за возможных ошибок в расчетах конфигурации поковки и для обеспечения гарантированного заполнения полости штампа на сложные элементы формы поковок обычно увеличивают припуски и напуски, используют более мощное, чем требуется, деформирующее оборудование и т.д. Все эти приемы приводят к росту себестоимости поковок.

*Константинов И.Л. – канд. техн. наук, доцент кафедры обработки металлов давлением СФУ (660025, г. Красноярск, пр. Красноярский рабочий, 95). Тел.: (391) 206-37-31. E-mail: ilcon@mail.ru.*

*Губанов И.Ю. – ст. препод. этой кафедры. Тел.: (391) 206-37-31.*

*Астрашабов И.О. – магистрант этой кафедры. E-mail: xp\_ice@mail.ru.*

*Сидельников С.Б. – докт. техн. наук, проф., зав. этой кафедрой. Тел.: (391) 206-37-31.*

*Белан Н.А. – магистрант этой кафедры. E-mail: N\_belan76@mail.ru.*



Рис. 1. Штампованная поковка «Крышка» из сплава АК6

В последнее время при разработке технологических процессов обработки металлов давлением применяются компьютерные технологии. В частности, для горячей объемной штамповки используют программные комплексы QFORM и DEFORM, основанные на методе конечных элементов и позволяющие моделировать формоизменение металлов с учетом действия различных факторов. Возможности применения компьютерного моделирования для горячей объемной штамповки отражены в работах [1–8], однако его проведение, как правило, слабо связано с реальными технологическими процессами и обычно не подтверждается примерами из практики штамповочного производства. В работе [9] анализировался процесс штамповки панели сложной формы из алюминиевого сплава АМгб с экспериментальным опробованием, но рассматривался процесс изотермической штамповки, который до сих пор мало распространен в отечественной практике штамповки алюминиевых сплавов.

Целью данной работы являлось компьютерное моделирование применяемого на действующем предприятии технологического процесса горячей объемной штамповки поковки «Крышка» (рис. 1) из сплава АК6 с помощью программы DEFORM-3D и опробование полученных результатов в промышленных условиях.

## Результаты и их обсуждение

Технологический процесс горячей штамповки поковки «Крышка», который был выбран в качестве объекта моделирования, выполняется в следующей последовательности: резка металла на заготовки, их нагрев, осадка, окончательная штамповка в открытом штампе, закалка, обрезка облоя, старение, травление, зачистка дефектов и контроль поковок. При этом штамповку в окончательном ручье проводят за два жима в интервале температур нагрева металла

470–360 °С. В качестве деформирующего оборудования применяют гидравлический штамповочный пресс усилием 10 МН.

В настоящей работе было проведено моделирование объемной штамповки поковки «Крышка» в открытых и закрытых штампах.

Для решения поставленной задачи с помощью программы «SolidWorks» создавали трехмерные модели штампованной поковки «Крышка» и закрытого штампа (рис. 2, 3), которые затем загружали в препроцессор компьютерной вычислительной системы в виде файлов. После этого вводили температурные, скоростные и силовые режимы деформирования согласно параметрам заводского технологического процесса: температура нагрева штампа 350 °С, температура нагрева заготовок 360–470 °С, скорость рабочего хода прессы — 5 мм/с, фактор трения (по Зибелю) — 0,5; сопротивление деформации для пе-

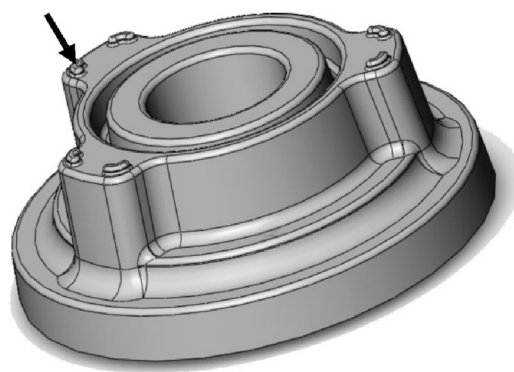


Рис. 2. Модель поковки «Крышка»

Стрелкой показана бобышка

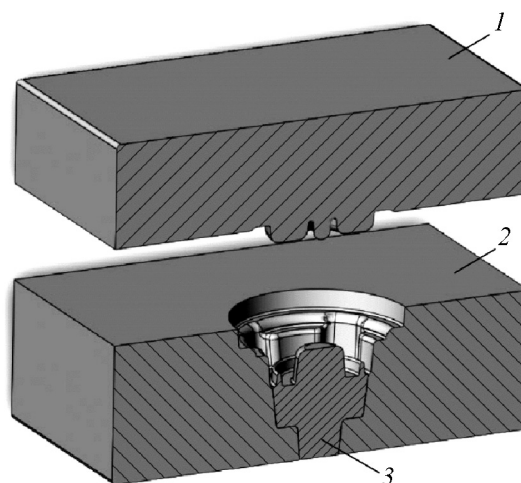
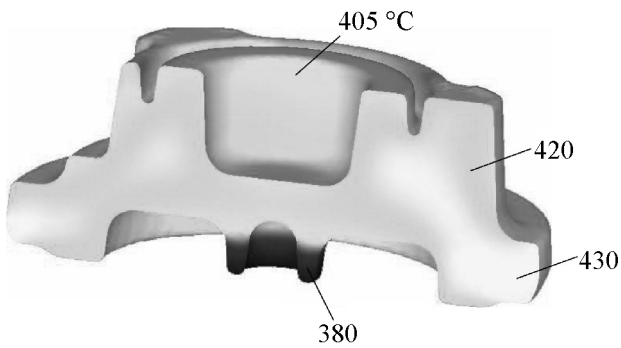
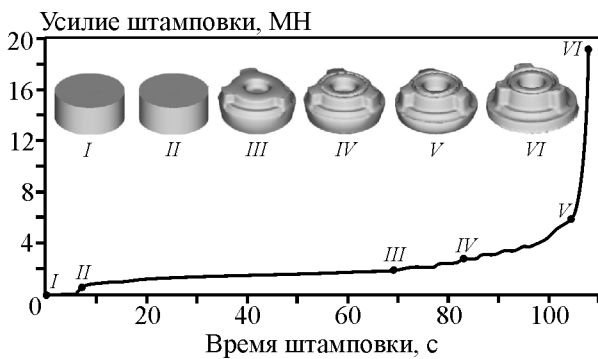


Рис. 3. Компьютерная модель закрытого штампа

1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – выталкиватель



**Рис. 4.** Модель изменения формы заготовки и распределение температуры по ее объему в процессе штамповки в закрытом штампе



**Рис. 5.** Изменение усилия штамповки и формы заготовки при моделировании штамповки в закрытом штампе  
Номера точек на кривой соответствуют номерам формы заготовки на данной стадии

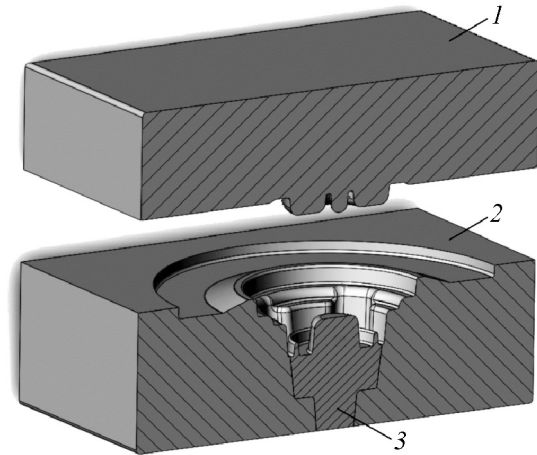
речисленных показателей брали из работы [10]. На выходе была получена база данных процесса штамповки.

Компьютерная программа позволила построить зависимость усилия штамповки от рабочего хода пресса и проиллюстрировать процесс деформирования последовательным изменением исходной формы заготовки до конечной формы штампованной поковки, что особенно важно при оформлении таких элементов, как углы, радиусы закругления, бобышки и т.д. Так, на рис. 4 представлена модель заготовки в процессе штамповки и показано распределение температуры по объему заготовки, полученное программным способом. Это дает возможность предупредить возникновение брака в отдельных участках поволок из-за нежелательных структурных превращений в результате деформационного разогрева. В случае штамповки сплавов, имеющих узкий допустимый температурный интервал деформирования, это особенно важно.

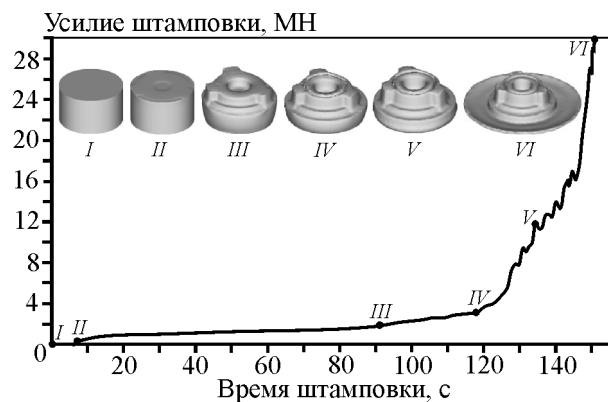
На рис. 5 показана зависимость усилия штампов-

ки от времени и приведено изменение формы заготовки в ходе этого процесса в закрытом штампе. График характеризуется плавным нарастанием усилия на стадиях оформления поковки (точки I–V) и его резким ростом на заключительной стадии, называемой обычно стадией доштамповки, когда должны формироваться сложные элементы рельефа поковки (для поковки «Крышка» это бобышки).

Моделирование процесса показало, что в условиях штамповки в закрытом штампе полного оформления поковки не достигается, — в частности, остаются незаполненными бобышки на торцевой поверхности поковки. При этом резко возрастает усилие штамповки, что может привести к разрушению штампа. Поэтому на втором этапе работы моделировали процесс штамповки в открытом штампе (рис. 6).



**Рис. 6.** Компьютерная модель открытого штампа  
1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – выталкиватель



**Рис. 7.** Изменение усилия штамповки и формы заготовки при моделировании штамповки в открытом штампе  
Номера точек на кривой соответствуют номерам формы заготовки на данной стадии

В результате моделирования получили график зависимости усилия штамповки от времени и последовательное формоизменение заготовки от исходной до конечной формы (рис. 7). Их анализ показал, что окончательное оформление поковки, включая и мелкие элементы рельефа, произошло на стадии доштамповки в интервале времени штамповки, составившем 135–150 с.

## Заключение

Таким образом, установлено, что с помощью компьютерного моделирования в программе DEFORM-3D можно анализировать реальные процессы горячей объемной штамповки алюминиевых сплавов. Например, в рассмотренный производственный процесс по результатам моделирования были внесены следующие изменения:

— исключена операция осадки, а штамповку проводили в окончательном ручье штампа за один жим, при этом для точной центровки в ручье штампа диаметр заготовки брали на 10 мм меньше диаметра штампованной поковки;

— вместо прессы усилием 100 МН использовали пресс 50 МН.

Корректировка технологического процесса штамповки была проведена практически без изменения уже применяемой штамповой оснастки, а полное оформление поковки произошло через 150 с, что доказывает адекватность полученных результатов моделирования процесса штамповки.

Кроме уже рассмотренных вопросов, компьютерное моделирование в программе DEFORM-3D

при горячей объемной штамповке следует в первую очередь использовать на стадии проектирования технологического процесса для определения целесообразности выбора вида штамповки (в открытом или закрытом штампе), при разработке оптимальной формы поковки, проектировании таких элементов ручьев штампов, как уклоны, радиусы закруглений и т.д.

## Литература

1. Соломонов К.Н., Костарев И.В., Абашкин В.П. Моделирование процессов объемной штамповки иковки плоских заготовок. М.: Изд. дом МИСиС, 2008.
2. Соломонов К.Н., Абашкин В.П. // Кузн.-штамп. пр-во. Обработ. материалов давлением. 2008. № 5. С. 44.
3. Соломонов К.Н., Абашкин В.П. // Технол. легких сплавов. 2008. № 2. С. 96.
4. Вакалов А.А. // Кузн.-штамп. пр-во. Обработ. материалов давлением. 2012. № 3. С. 32.
5. Биба Н.В., Стебунов С.А., Гладков Ю.А., Мордвинцев П.С. // Там же. 2011. № 1. С. 36.
6. Кононов В.В., Егорова Л.И. // Там же. 2000. № 7. С. 35.
7. Соломонов К.Н. // Технол. легких сплавов. 2005. № 1–4. С. 142.
8. Лисунец Н.Л., Соломонов К.Н., Цепин М.А. Объемная штамповка алюминиевых заготовок. М.: Машиностроение, 2009.
9. Константинов И.Л., Губанов И.Ю., Горохов Ю.В. // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2013. № 2. С. 46.
10. Микляев П.Г., Дуденков В.М. Сопротивление деформации и пластичность алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1973.