

УДК 621.73

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДИК ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

© 2017 К.Н. Соломонов, Н.И. Федоринин, Л.И. Тищук

Московский государственный университет путей сообщения  
(Воронежский филиал)

Статья поступила в редакцию 30.05.2017

В качестве объекта исследования рассмотрены технологические приемы и конструктивные элементы, одним из которых служит «технологическая выемка». Сравнение результатов компьютерного моделирования пластического формообразования плоских заготовок в программных комплексах DEFORM и разработанном авторами ЭКВИ показывает их высокую сходимость. Ключевые слова: пластическое деформирование, картина течения металла, линия раздела течения металла, программный комплекс, компьютерное моделирование.

В общем объеме заготовок, получаемых в процессах пластического деформирования авиакосмических материалов, немалую долю составляют поковки, имеющие ярко выраженное полотно и ребра жесткости. Большую роль в формообразовании бездефектных поковок играет распределение потоков металла по зеркалу гравюры штампа. Неправильная оценка неравномерности формоизменения заготовки, в значительной степени зависящая от неоднородности граничных условий, в ряде случаев приводит к образованию дефектов («недооформление», «прострел», плохая завязка волокон и т.п.). Для управления течением металла в производственной практике используются технологические приемы и конструктивные элементы (бобышка, рассекатель, технологический вырез, ложное ребро или полотно и т.д.), дающие возможность предотвратить образование указанных дефектов.

Рациональное применение различных технологических методик обеспечивается компьютерным и экспериментальным моделированием процессов пластического формоизменения.

Для экспресс-оценки неравномерности формообразования отдельных зон поковки в процессах объемной штамповки иковки, основанных на схеме деформирования «осадка», целесообразно применение программного комплекса «ЭКВИ» [1], разработанного авторами на основе «эквидистантной теории» [2], позволяющего получать картину течения металла, содержащую линии раздела течения металла и линии тока, вдоль которых происходит движение частиц металла.

В качестве примера рассмотрено использование указанного программного комплекса для

оценки картины течения металла при штамповке гаечного рожкового ключа (рис. 1) из плоских заготовок различной формы. Для упрощения расчетов в силу симметрии рассматривали половину исследуемого образца. Для удобства изложения модели заготовок получены в графическом редакторе КОМПАС.

Самой простой можно считать прямоугольную в плане заготовку, перекрывающую гравюру штампа (рис. 2, а). Как показало компьютерное моделирование картины течения металла (рис. 2, г) в этом случае, для формирования головки ключа может не хватить металла в силу того, что его значительный объем уйдет в облой в зоне ручки ключа, в то время как головка ключа не получит достаточного количества металла на ее формирование.

На рис. 2 линии раздела течения металла показаны пунктирными толстыми прямыми, линии тока – сплошными тонкими прямыми.

С целью уменьшения потоков металла в зоне ручки гаечного ключа в прямоугольной заготовке сделали выемку (рис. 2, б). Анализ картины течения металла (рис. 2, д) позволяет сделать вывод, что в этом случае действительно ручка должна формироваться с меньшей скоростью, и тогда головка ключа может догнать ее в своем формировании. Тем более, уменьшится объем металла, участвующего в формообразовании головки ключа, что соответствует конструкции выемки под гайку. Однако и в таком варианте значительное количество металла сместится в облой.

Чтобы сократить расходование металла в облой, можно изготовить профилированную заготовку (рис. 2, в). Как видно из рассмотрения картины течения металла (рис. 2, е), расход металла в облой, по крайней мере в зоне формирования ручки, при этом должен быть минимальным. Однако в практике производства с точки зрения технологичности этого варианта придется оценить, насколько выгоднее производство профи-

*Соломонов Константин Николаевич, доктор технических наук, профессор. E-mail: konssol@list.ru*

*Федоринин Николай Иванович, кандидат технических наук, доцент. E-mail: n\_fedorinin@mail.ru*

*Тищук Людмила Ивановна, заведующая лабораторией неразрушающих методов контроля.*



Рис. 1. Модель гаечного ключа, полученная в SolidWorks

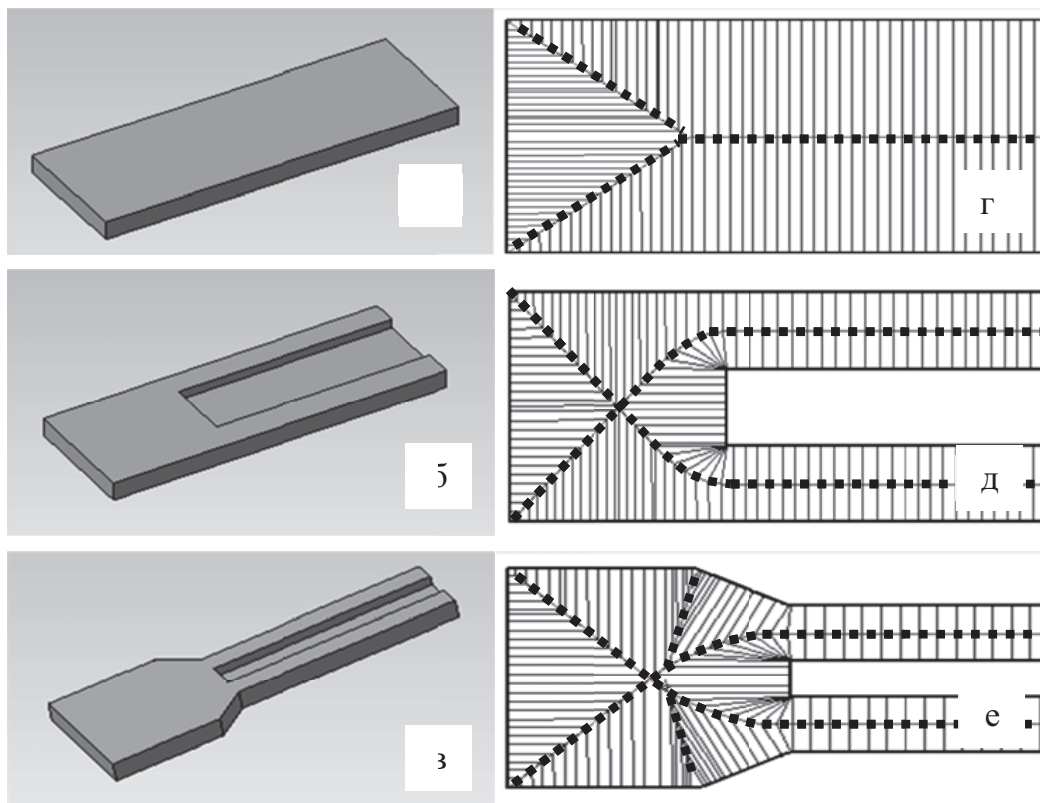


Рис. 2. Модель заготовки (а, б, в) и картина течения металла (г, д, е)

лированной заготовки по сравнению с прямоугольной. И в том, и в другом случае придется делать обрезание излишков металла (либо в исходной заготовке, либо в облое).

Благодаря расширению областей применения компьютерной техники экспериментальные методики исследований приобретают новые формы. Наряду с традиционными методами экспериментальных исследований (такими, как промышленный и лабораторный эксперименты, аналоговое моделирование [3]) значительное распространение получил, так называемый, виртуальный эксперимент [4], позволяющий с большой достоверностью моделировать процессы пластического формоизменения.

В последние годы для моделирования процессов обработки металлов давлением на металлургических и машиностроительных предприятиях широко применяются программные комплексы, способные прогнозировать формо-

образование заготовки. В большинстве своем они базируются на методе конечных элементов. Одним из таких, хорошо зарекомендовавших себя на различных предприятиях мировой промышленности, считается вычислительная система DEFORM, учитывающая различные параметры (реологию, температуру, трение, марку материала и т.п.) процессов пластического деформирования.

С помощью этой вычислительной системы был проведен виртуальный эксперимент по штамповке гаечного ключа из плоской заготовки.

Попытка получения гаечного ключа из прямоугольной заготовки не увенчалась успехом (рис. 3, а); из прямоугольной заготовки с углублением удалось получить требуемую поковку, но с большим облоем (рис. 3, б); удовлетворительный результат был получен при штамповке поковки из профилированной заготовки с углублением (рис. 3, в).

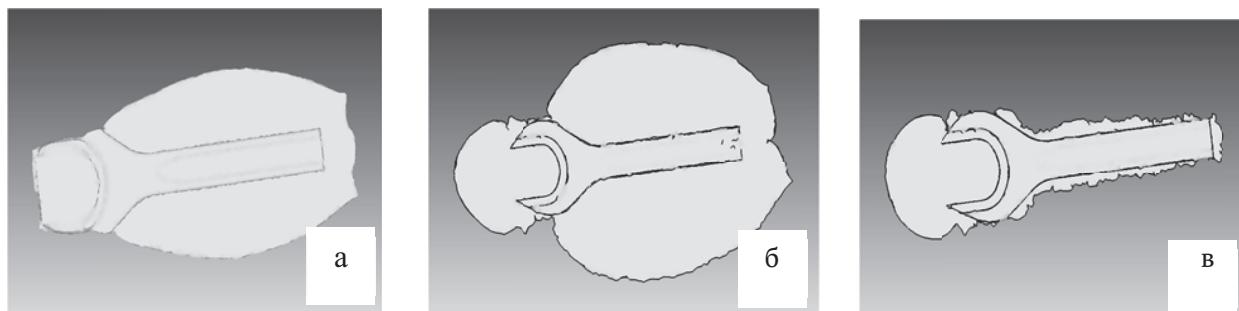


Рис. 3. Виртуальная поковка штампованного гаечного ключа

Таким образом, сравнение аналитических оценок, полученных в результате моделирования картины течения металла с помощью программного комплекса «ЭКВИ», и моделей поковок, полученных в ходе виртуального эксперимента с помощью вычислительной системы DEFORM, позволяет убедиться в достаточно высокой степени достоверности предложенных рекомендаций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соломонов К.Н., Федоринин Н.И., Тищук Л.И. Методика построения линии раздела течения металла
2. Соломонов К. Моделирование формообразования поковок: исследования, гипотезы, разработки. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2011. 165 p.
3. Соломонов К.Н., Свиринов В.В., Абашкин В.П. Моделирование эпюры контактных давлений с помощью песчаной аналогии // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2010. № 4. С. 41-45.
4. Соломонов К.Н., Свиринов В.В. Анализ кинематических схем течения металла с помощью виртуального эксперимента // Технология легких сплавов. 2010. № 3. С. 58-64.

#### SIMULATION OF METHODS TECHNOLOGICAL OF PLASTIC DEFORMATION

© 2017 K.N. Solomonov, N.I. Fedorinin, L.I. Tishchuk

Moscow State University of Railway Engineering  
(Voronezh Branch)

As the object of researches are presented technological methods and constructive elements, one of which serves as a «notch technological». Comparison of the results of computer simulation of plastic forming of slabs in the software systems DEFORM and EQUI, developed by the authors, shows good convergence.  
*Keywords:* plastic deformation, metal flow picture, dividing line of metal flow, software system, computer simulation.

*Konstantin Solomonov, Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: konssol@list.ru.*

*Nikolai Fedorinin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. E-mail: n\_fedorinin@mail.ru.*

*Lyudmila Tishchuk, Head of the Laboratory of Non-Destructive Testing Methods.*