

В.А. Тюрин, Д.В. Батяев

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА КОЛЕЦ

Аннотация. Представлены результаты моделирования процесса обжатия цилиндрических заготовок тремя методами: компьютерным моделированием в конечно-элементной системе QForm, расчетом по уравнению регрессии и физическими экспериментами в промышленных условиях. Дана оценка адекватности результатов моделирования. Установлено, что результаты расчетов по математической модели совпадают с результатами моделирования в QForm в шести из восьми опытов (75 %). Результаты промышленного эксперимента совпадают с результатами компьютерного моделирования в QForm по форме боковой поверхности осажённой заготовки в пяти из восьми опытов (62,5 %).

Ключевые слова: кольца, осадка, конические бойки, форма бочки, моделирование, QForm.

RINGS PRODUCTION PROCESS MODELLING ADEQUATION ESTIMATION

Abstract. Results of modeling of cylindrical blanks upsetting process are presented. Authors used three methods: computer simulating in finite-elements system QForm, calculation by the mathematical regress equation and physical experimentals in industrial environments. In the paper an adequacy evaluation of simulating results are given. Results of calculations on mathematical model coincide with results of simulating in QForm in 6 of 8 experiences (75 %). Results of industrial experiment coincide with results of computer simulating in QForm, under the form of a lateral surface of the upseted blanks in 5 of 8 experiences (62,5 %).

Keywords: rings, upsetting, conical dies, the shape of the barrel, modelling, simulation, QForm.

Процесс производства колец включает предварительную ковку слитка (осадку и протяжку слитка). Далее отрезанную мерную заготовку осаживают, прошивают, просекают и раскатывают.

В данной работе произведено сравнение результатов исследования процесса производства колец, полученных в промышленном эксперименте, с результатами компьютерного и математического моделирования.

Дана оценка адекватности результатов исследования, полученных перечисленными выше методами для важнейшей операции производства колец – осадки заготовок комбинированным способом – коническими и плоскими бойками.

Сходимость данных оценивали по качественному признаку – форме боковой поверхности заготовок (бочки) после осадки.

Общеизвестные формы бочки у заготовок при осадке плоскими бойками – двойная, вогнутая, прямая и выпуклая бочки (рис. 1, а – з). При комбинированной осадке сначала коническими, а затем плоскими бойками [1] боковая поверхность заготовки может принять сложную форму, например, в виде тройной бочки (рис. 1, д).

На рис. 2 показана форма бочки, получаемая после осадки заготовки сначала коническими, а затем плоскими бойками. На торце заготовки может остаться «чашка» – не выпрямившаяся часть торца (рис. 2, а), или торец станет плоским (рис. 2, б). При дальнейшем обжатии заготовки плоскими бойками бочка примет выпуклую форму.

Из всех показанных выше форм бочек для процесса производства колец наилучшей является прямая бочка. Это связано с меньшей неравномерностью деформации в заготовке и сокращением времени последующей раскатки по сравнению с раскаткой заготовки с выпуклой бочкой.

Форма бочки заготовки для оценки адекватности результатов моделирования оказалась более наглядным качественным критерием сходимости, чем количественные показатели, так как при одинаковом объеме металла, находящегося в бочкообразной части заготовки*, могут быть различные формы бочки (см. рис. 1).

В условиях завода ОАО «Русполимет» провели обжатие заготовок коническими и плоскими бойками. Для режимов промышленного эксперимента разработали математическую модель с технологическими факторами:

$$y = 2,859 + 0,422x_2 - 0,234x_3 - 0,089x_4 + 0,099x_1x_2 + 0,207x_1x_4 + 0,203x_2x_3 - 0,172x_2x_4 + 0,089x_3x_4 - 0,061x_1x_3x_4 - 0,120x_2x_3x_4,$$

* Относительную величину объема металла, находящегося в бочкообразной части заготовки, называют показателем бочкообразности [2 – 4].

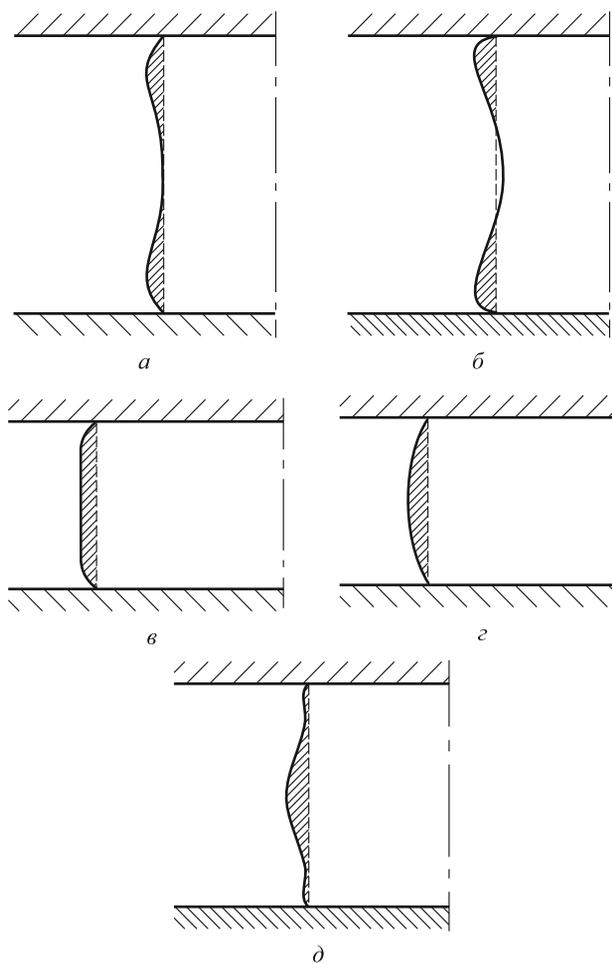


Рис. 1. Пример одинакового объема бочкообразности (заштрихован) у заготовок с различными формами бочек:
 а – двойной; б – вогнутой; в – прямой; г – выпуклой;
 д – сложной

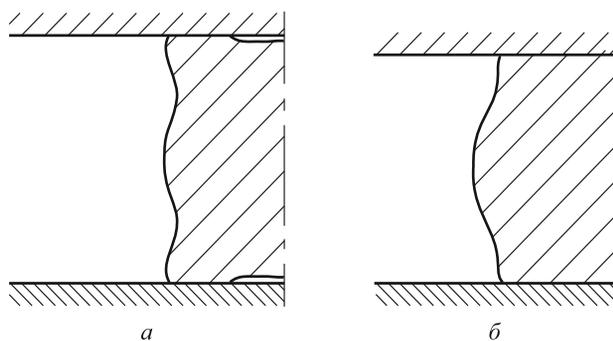


Рис. 2. Бочка сложной формы у обжатых заготовок:
 а – торец не полностью плоский, б – торец плоский

где x_1 – отношение исходной высоты к исходному диаметру заготовки; x_2 – степень деформации заготовки по высоте в конце осадки коническими бойками; x_3 – суммарная степень деформации заготовки по высоте в конце осадки сначала коническими, а затем плоскими бойками; x_4 – отношение диаметра плоской рабочей площадки конического бойка к исходному диаметру заготовки.

Фактор x_1 оказался незначимым и в уравнение регрессии самостоятельно не вошел, однако принимает участие в эффектах взаимодействия двух и трех факторов.

Результатом вычисления параметра оптимизации станет число от 1 до 5, соответствующее конкретной форме бочки: 1 – сложной формы, 2 – выпуклая, 3 – прямая, 4 – двойная, 5 – вогнутая. Такая последовательность форм бочек выбрана на основании анализа 64 опытов полного факторного эксперимента и предшествовавших ему дополнительных 19 опытов.

В таблице даны результаты расчета формы бочек восьми заготовок. Для иллюстрации данных таблицы на рис. 3 показаны формы бочек, полученных моделированием в QForm и обжатых в промышленных условиях.

Результаты расчетов двумя методами показывают, что форма бочки совпадает у шести из восьми обжатых заготовок. Результаты вычислений по уравнению и промышленного эксперимента совпали для трех из восьми заготовок; результаты, полученные моделированием в QForm совпали для пяти из восьми заготовок; результаты вычислений, моделирования и промышленного эксперимента совпали для трех из восьми заготовок.

Выводы. Математическая модель описания формы бочки после комбинированной осадки позволяет заменить компьютерное моделирование в QForm в 75 % опытов, так как результаты расчетов по математической модели совпадают с результатами компьютерного моделирования в QForm в шести из восьми опытов.

Результаты промышленного эксперимента и результаты компьютерного моделирования в QForm по форме боковой поверхности осажённой заготовки совпадают в 62,5 % опытов.

Результаты расчетов, моделирования и промышленного эксперимента совпали в 37,5 % опытов.

При моделировании производства колец следует выполнить математическое моделирование на основе уравнения регрессии.

Формы бочек у обжатых заготовок

Номер заготовки	Вычисленные по уравнению	Полученные моделированием в QForm	Полученные в промышленном эксперименте
1	1	1	3
2	2	2	3
3	3	3	3
4	3	3	2
5	3	3	3
6	2	2	2
7	3	2	2
8	3	2	2

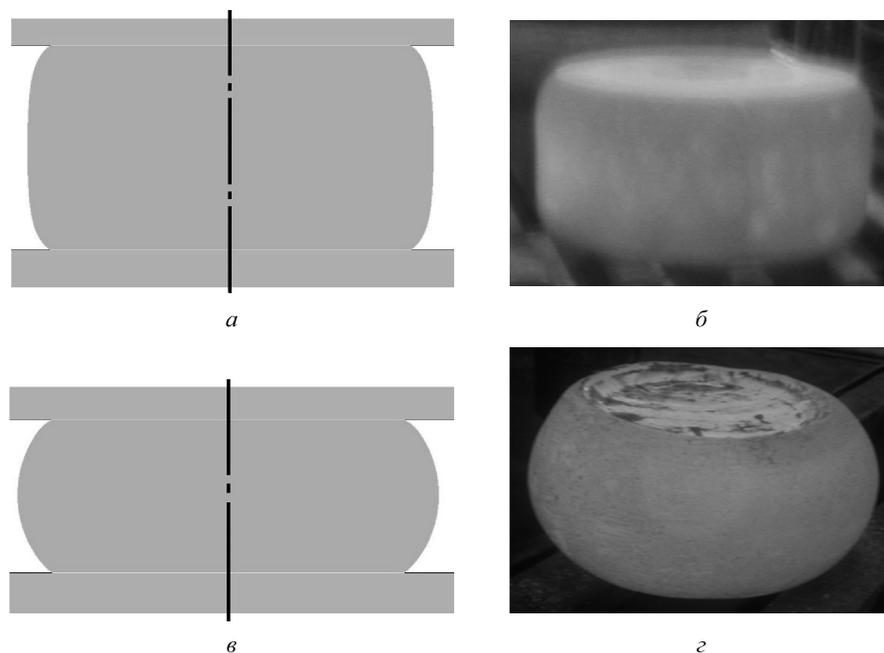


Рис. 3. Компьютерные изображения (а, б) и фотографии промышленных заготовок из стали 55 (б) и сплава ЭП708 (з) после обжатия коническими и плоскими бойками

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2465979 РФ. В21К 1/28, В21J 1/06. Способ производства кольцевых изделий. / В.А. Тюрин, Д.В. Батяев, Ю.В. Луканин, А.Л. Сапунов. Опубл. 10.11.2012. Бюл. № 31.
2. О х р и м е н к о Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства: Учеб. для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 560 с.
3. С т о р о ж е в М.В., П о п о в Е.А. Теория обработки металлов давлением: Учеб. для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
4. З и б е л ь Э. Обработка металлов в пластическом состоянии. Теоретическое обоснование процессов обработки металлов давлением: Учеб. для металлург. вузов. – М.: Металлургиздат, 1934. – 199 с.

© 2013 г. В.А. Тюрин, Д.В. Батяев
Поступила 7 февраля 2013 г.

УДК 621.73

Г.А. Орлов

Уральский федеральный университет

ИНЖЕНЕРНАЯ ОЦЕНКА ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Аннотация. Предложен вариант количественной оценки обрабатываемости металлов давлением по стандартным методам испытаний механических свойств. Получены связи научных и инженерных характеристик оценки деформируемости для использования результатов научных исследований в заводской практике, ориентируясь на стандартные методы испытаний. Приведен пример использования полученных формул для оценки предельного коэффициента вытяжки для ряда сталей в процессах прокатки и волочения. Предложенная методика может использоваться для оценки обрабатываемости новых сталей и сплавов.

Ключевые слова: обрабатываемость металлов давлением, механические свойства, научные и инженерные характеристики деформируемости, предельный коэффициент вытяжки, прокатка, волочение.

PLASTIC METAL WORKING ENGINEERING ASSESSMENT

Abstract. The variant of a quantitative estimation of treatability metals by pressure on standard test methods of mechanical properties is offered. Communications of scientific and engineering characteristics of an estimation of deformability for use of results of scientific researches in factory practice are received, being guided on standard test methods. The example of use of the received equations for an estimation of limiting elongation ratio for a number of steels in processes of rolling and drawings is resulted. The offered technique can be used for an estimation treatability new steels and alloys.

Keywords: treatability metals by pressure, mechanical properties, scientific and engineering characteristics of deformability, limiting elongation ratio, rolling and drawings.

В теории обработки металлов давлением (ОМД) обрабатываемость металла оценивают пластичностью как способностью деформироваться без разрушения и сопротивлением деформации, определяющим энергоёмкость деформирования через потребное усилие. Пластичность оценивается предельной степенью деформации, накопленной к моменту разрушения при заданной схеме напряженного состояния и определяется в специальных опытах [2]. Функционально эти характеристики представляются в виде диаграмм пластичности и кривых упрочнения. Для использования диаграмм пластичности необходимы сведения о характеристиках напряженного состояния в очаге деформации и накопленной степени деформации, которые в инженерной практике обычно не применяются. Для оценки степени деформации обычно применяются различные коэффициенты обжатия и вытяжки, связывающие начальные и конечные размеры тела без учета неравномерности в очаге деформации. Поэтому необходимо установить связи научных и инженерных характеристик, например предельной степени деформации и предельного коэффициента вытяжки с учетом неравномерности деформации через эмпирические коэффициенты.

В инженерной и заводской практике обычно отсутствует оборудование для определения диаграмм пластичности и кривых упрочнения, поэтому обрабатываемость давлением оценивается через стандартные механические свойства металла при комнатной температуре. Пластические свойства определяются относительным удлинением δ и сужением ψ , а энергоёмкость деформирования – временным сопротивлением σ_B и

пределом текучести σ_T . Сопротивление деформации – это напряжение, значение которого находится между пределом текучести и временным сопротивлением, т. е. временное сопротивление определяет максимально возможное значение сопротивления деформации. Оценка обрабатываемости делается обычно на качественном уровне (высокая, низкая и др.), что не позволяет оценивать пригодность к ОМД новых сталей и сплавов. В настоящей работе предложен вариант количественной оценки обрабатываемости металлов по стандартным методам испытаний. Также получены связи научных и инженерных характеристик оценки деформируемости для использования результатов научных исследований в заводской практике, ориентируясь на стандартные методы испытаний.

Представим обрабатываемость по 100-балльной шкале как произведение трех коэффициентов:

$$Q = 100K_1K_2K_3, \quad (1)$$

где $K_1 = \frac{\delta + \psi}{(\delta + \psi)_s} = \frac{\delta + \psi}{100}$ – коэффициент, учитывающий

пластичность металла; $(\delta + \psi)_s$ – эталонная пластичность, принятая за 100 %, что примерно соответствует очень пластичным сплавам (например, для стали 08 – 93 %, для латуни Л68 – 125 %, для алюминиевого

сплава АД1 – 115 %); $K_2 = \frac{1 - 0,1 \frac{\sigma_B}{\sigma_T}}{1 - 0,1 \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_T} \right)_s} = \frac{1 - 0,1 \frac{\sigma_B}{\sigma_T}}{0,9}$ –