

## РАЗДЕЛ I МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.73

Василевский О. В.  
Грушко А. В.  
Кухарь В. В.

### ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОДАЧИ НА КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ПРОТЯЖКЕ ЗАГОТОВОК В КОМБИНИРОВАННЫХ БОЙКАХ

Снижение потерь энергетических ресурсов, повышение качества и уменьшение отходов основных материалов является необходимым условием достижения конкурентоспособности продукции металлургии и машиностроения. Весьма актуальны данные вопросы при производстве ответственных поковок из слитков, когда заковку литейных дефектов стремятся обеспечить при минимизации суммарной работы деформации [1]. На этапе разработки технологийковки необходима проверка возможности реализации макросдвиговых деформаций при использовании не усложненного [2], а универсального кузнечного инструмента, которым служат, например, комбинированные бойки, имеющиеся в инструментальном хозяйстве прессового участка [3, 4]. В некоторых случаях наблюдают положительные эффекты даже при исключении энергоемкой операции осадки для крупных поковок [5].

Последние инновационные разработки позволяют реализовать макротечение материала в очаге деформации за счет научно-обоснованного выбора величин обжатий, подач и углов кантовок заготовок (слитков) [1, 3–5]. Профиль поперечного сечения слитка после первоначальных обжатий способствует интенсификации сдвиговых деформаций при окончательном формировании сечения кованого вала. При разработке технологических переходовковки валов в комбинированных бойках (верхний – плоский, нижний – с угловым или радиальным вырезом) следует учитывать влияние задаваемых термомеханических параметров, в частности величины подачи, на энергосиловые и кинематические характеристики кузнечной протяжки. Принятые режимыковки отражают в технологической документации.

Целью работы является исследование влияния ширины инструмента (т. е. подачи заготовки) на кинематические и энергосиловые характеристики процессаковки цилиндрических заготовок в комбинированных бойках, а именно на силу деформации, работу деформации и величину относительной вытяжки.

Сравнение процессовковки с заданием различных геометрических параметров проводили в относительных показателях. Для этого находили:

– приведенную силу деформации ( $f$ ):

$$f = \frac{F}{B}, \text{ (Н/мм)}, \quad (1)$$

где  $F$  – сила деформации при заданном режиме протяжки, Н;

$B$  – ширина бойка, мм;

– приведенную работу деформации ( $w$ ):

$$w = \frac{W}{B}, \text{ (Дж/мм)}, \quad (2)$$

где  $W$  – работа деформации, Дж;

– относительную величину вытяжки ( $\delta$ ):

$$\delta = 100 \frac{\Delta l}{B}, (\%), \quad (3)$$

где  $\Delta l = (L_k - L_0)$  – абсолютная величина вытяжки, мм;

$L_k$  и  $L_0$  – конечная и начальная длины протягиваемого слитка, мм.

Для выполнения исследований использовали метод конечных элементов (МКЭ), а именно программный пакет LS-DYNA. С некоторым допущением решали изотермическую задачу. Остальные исходные параметры задавали в соответствии с процессамиковки валов в условиях кузнечно-прессового цеха ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» (г. Мариуполь): бойки комбинированные (верхний боек плоский, нижний – вырезной с радиусом выреза 300 мм, см. рис. 1), заготовка диаметром  $D_0 = 550$  мм, длина заготовки  $L_0 = 1300$  мм, материал заготовки – сталь 25X1M1Ф, температура обработки  $t = 1100$  °С, скорость движения верхнего бойка – 50 мм/с. Бойки задавали, как абсолютно жесткие тела. Деформируемую заготовку разбивали на конечные элементы тетраэдрической формы с длиной средней грани элемента 10 мм.

В случае использования режима протяжки, когда выполняют чередующиеся подачи фиксированной величины с обкаткой (радиальными обжатиями) в бойках по диаметру заготовки на каждой подаче, очевидно, что максимальная площадь контакта заготовки с бойком наблюдается на первом обжатии подачи, что подтверждают данные [4]. Следовательно, максимальные значения энергосиловых параметров процесса протяжки соответствуют первому обжатию при обкатке по диаметру после выполнения подачи. При использовании режимов протяжки заготовки с фиксированным обжатием на последовательных подачах по всей длине, дальнейшей кантовкой и повтором обжатий вдоль длины заготовки с достижением итогового окончательного диаметра вала, максимальные энергосиловые режимы соответствуют обжатиям на первом проходе и, при прочих равных условиях, являются постоянными.

Указанное обстоятельство позволяет ограничить объем исследований, моделируя только единичные обжатия заготовок одинаковых размеров при различных величинах подач и обжатий. В качестве варьируемых параметров, влияющих на кинематические и энергосиловые характеристики процесса формоизменения заготовки, задавали:

- величину обжатия –  $\Delta h = 50$  мм, 66 мм и 100 мм;
- ширину бойка (величину подачи) –  $B = 180$  мм, 240 мм, 300 мм.

Соответственно, относительные обжатия:  $\varepsilon_{h\%} = (\Delta h / D_0) \times 100\% = 9,09\%$ , 12 % и 18,18 %.

Относительные подачи:  $B / D_0 = 0,327$ , 0,436 и 0,545.

Моделируемым режимамковки присвоены следующие шифры: первая цифра – единичное обжатие (мм), вторая – ширина бойка (мм). После проведения исследований получены значения величин вытяжки, силы и работы деформации в зависимости от ширины бойка, которые занесены в табл. 1. Найденные величины преобразованы в относительные показатели, приведенные к ширине бойка (см. табл. 1).

Таблица 1

Влияние ширины бойка на характеристики процессаковки

Шифр режимаковки (обжатие*подача)	$\Delta l$ , мм	$\delta$ , %	$F$ , МН	$f$ , кН/мм	$W$ , кДж	$w$ , Дж/мм
50*300	15,1	5,0	1,86	6,2	36,2	121
50*240	13,8	5,8	1,62	6,8	32,4	135
50*180	12,5	6,9	1,46	8,1	29	161
66*300	23,51	7,8	2,12	7,1	55,2	184
66*240	22,3	9,3	1,91	8,0	49,8	208
66*180	19,6	10,9	1,7	9,4	44,2	246
100*300	47,5	15,8	2,76	9,2	103	343
100*240	43,3	18,0	2,42	10,1	92,6	386
100*180	38,7	21,5	2,12	11,8	82,6	459

Зависимости величин относительной вытяжки, приведенной силы и приведенной работы деформации от относительной ширины бойка ( $B/D_0$ ), т. е. от относительной подачи, при различных обжатиях показаны на рис. 2–4.

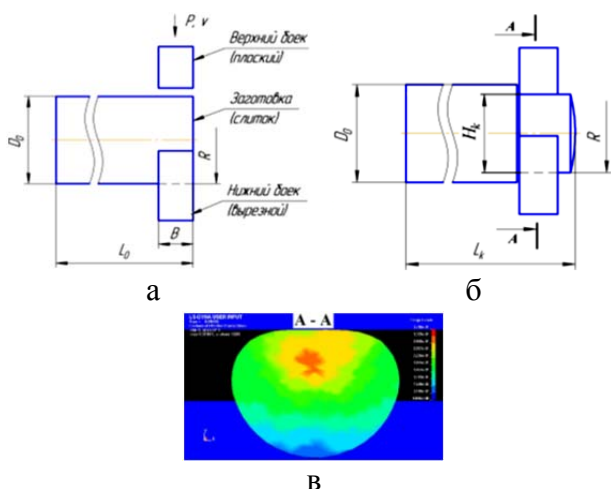


Рис. 1. Заготовка в комбинированных бойках (а), её обжатие (б) и моделирование процесса МКЭ (в)

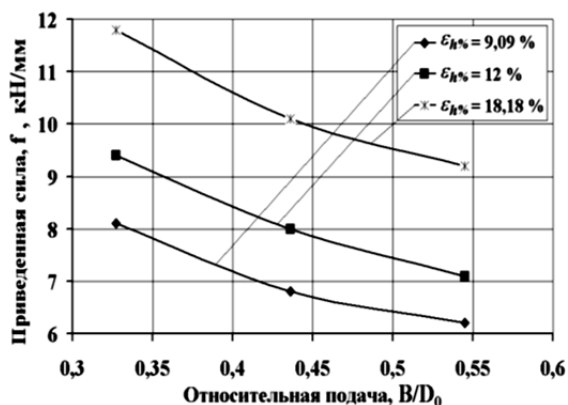


Рис. 3. Зависимость приведенной силы от величины относительной подачи при различных обжатиях заготовки в комбинированных бойках

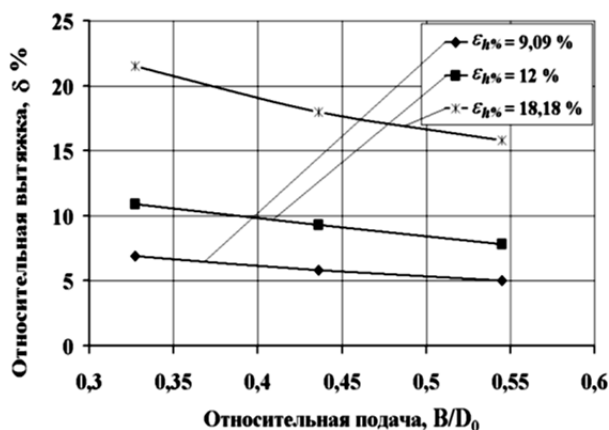


Рис. 2. Зависимость относительной вытяжки заготовки от величины относительной подачи при различных обжатиях в комбинированных бойках

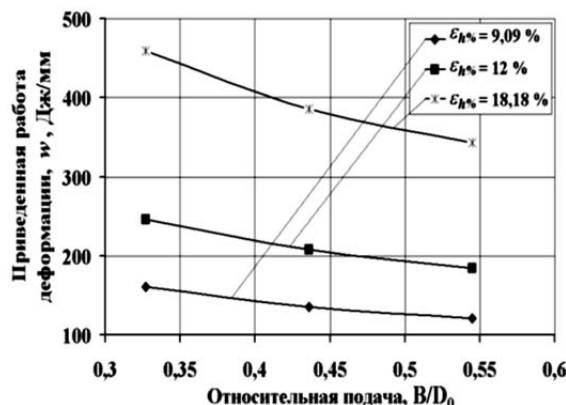


Рис. 4. Зависимость приведенной работы деформации от величины относительной подачи при различных обжатиях заготовки в комбинированных бойках

После обработки графических зависимостей, представленных на рис. 2–4, получены аналитические выражения, которые с высокой степенью достоверности (коэффициент детерминации  $R_{\alpha}^2 \geq 0,98$ ) позволяют вычислять энергосиловые и кинематические параметры наиболее энергоемких режимов кузнечной протяжки в исследуемых бойках:

$$\delta (\%) = [-1,92 \cdot \varepsilon_{h\%} + 8,766] \cdot (B/D_0) + 2,23 \cdot \varepsilon_h - 10,84; \tag{4}$$

$$f (\text{кН/мм}) = a_f \cdot (B/D_0)^2 + b_f \cdot (B/D_0) + c_f; \tag{5}$$

$$w (\text{Дж/мм}) = a_w \cdot (B/D_0)^2 + b_w \cdot (B/D_0) + c_w. \tag{6}$$

Коэффициенты  $a_f, b_f, c_f, a_w, b_w, c_w$ , входящие в уравнения (5) и (6), рассчитывают по выражениям, приведенным в табл. 2.

С увеличением относительной ширины бойка наблюдается уменьшение значений  $f, w$  и  $\delta$  (см. рис. 2–4). Этот факт можно объяснить увеличением площади поверхности контакта, наличием внеконтактных пластических зон за пределами рабочей зоны бойков и их

существенным влиянием на рассматриваемые показатели. Размер самой зоны слабо зависит от ширины бойка. Уменьшение влияния внеконтактной зоны на исследуемые характеристики, в целом, является положительным. При более широком бойке металл менее интенсивно вытекает в осевом направлении (из-за влияния сил трения), что улучшает проработку внутренних слоев слитка. Бесконечно широкие бойки приведут процессковки к схеме плоского деформированного состояния и нерационально высоким значениям абсолютной силы деформации.

Таблица 2

Выражения для расчета коэффициентов уравнений (5) и (6)

$a_f = 0,5429 \cdot \varepsilon_{h\%}^2 - 14,343 \cdot \varepsilon_{h\%} + 114,98$	$a_w = 8,8039 \cdot \varepsilon_{h\%}^2 - 156,75 \cdot \varepsilon_{h\%} + 1202,4$
$b_f = -0,4286 \cdot \varepsilon_{h\%}^2 + 10,931 \cdot \varepsilon_{h\%} - 98,35$	$b_w = -8,2708 \cdot \varepsilon_{h\%}^2 + 114,53 \cdot \varepsilon_{h\%} - 981,51$
$c_f = 0,0757 \cdot \varepsilon_{h\%}^2 - 1,4583 \cdot \varepsilon_{h\%} + 23,204$	$c_w = 2,3417 \cdot \varepsilon_{h\%}^2 - 3,6815 \cdot \varepsilon_{h\%} + 150,98$

Таким образом, с точки зрения минимизации суммарных энергосиловых затрат, можно рекомендовать малые степени обжатия при больших величинах относительных подач. Максимальная ширина бойков может ограничиваться номинальной силой, на которую рассчитан пресс, особенностями технологического процесса и геометрии поковки.

### ВЫВОДЫ

Выполненные исследования позволили установить зависимости основных кинематических и энергосиловых параметров при протяжке заготовок из стали 25X1M1Ф в комбинированных бойках от величин подач и обжатий для условий кузнечно-прессового цеха ПАО «ММК им. Ильича». Разработаны рекомендации, позволяющие минимизировать затраты работы и удельной силы деформирования при ковке поковок с удлиненной осью за счет применения больших подач.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюрин В. А. *Инновационные технологииковки с применением макросдвигов* / В. А. Тюрин // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2007. – № 11. – С. 15–20.*
2. Каргин С. Б. *Совершенствование процессовковки валов* / С. Б. Каргин // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 2(31). – С. 101–106.*
3. Василевский О. В. *Пути оптимизации технологических процессовковки труднодеформируемых и малопластичных сталей* / О. В. Василевский, В. В. Кухарь // *Вісник Хмельницького національного університету (технічні науки). – 2009. – № 1. – С. 34–38.*
4. Василевский О. В. *Исследование деформированного состояния поковок типа валов при ковке в комбинированных бойках* / О. В. Василевский, А. В. Грушко, В. В. Кухарь // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 3(28). – С. 78–82.*
5. *Внедрение энергосберегающего технологического процессаковки крупных слитков без осадки* / О. Е. Марков, В. М. Олешко, В. Н. Злыгорев, И. А. Грачев // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2011. – № 10. – С. 33–36.*

Василевский О. В. – зам. нач. кузнечно-прессового цеха ПАО «ММК им. Ильича»;  
 Грушко А. В. – канд. техн. наук, доц. ВНТУ;  
 Кухарь В. В. – канд. техн. наук, доц. ПГТУ.

ПАО «ММК им. Ильича» – Публичное акционерное общество «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича», г. Мариуполь.

ВНТУ – Винницкий национальный технический университет, г. Винница, Украина.

ПГТУ – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

E-mail: kovka-vas.oleg@yandex.ua; grushko@svitonline.com.ua; kvv\_mariupol@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20.10.2012 г.