

УДК 621.73

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ОБЖАТИЯ НА КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ КОВКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК В КОМБИНИРОВАННЫХ БОЙКАХ

Изготовление нового оборудования и комплектующих для проведения текущих и капитальных ремонтов в горнометаллургическом комплексе страны является приоритетным ориентиром для предприятий тяжелого машиностроения Украины. Подобные задачи обязаны решать ремонтные цеха металлургических комбинатов. Высокая интенсивность производства в отрасли предъявляет значительные требования к безотказной эксплуатации деталей с прогнозируемым сроком наработки [1, 2].

Основную номенклатуру изготавливаемых заготовок по конфигурации составляют поковки с вытянутой осью, которые в дальнейшем используют для изготовления валов, роликов, валов зубчатых и пр. Как правило, такие детали подвергаются знакопеременным нагрузкам, работающим на излом вдоль оси. В связи с этим в поковке требуется получить направленную макроструктуру и мелкодисперсную микроструктуру с максимальной однородностью по поперечному сечению, что обеспечит наилучшие механические свойства металла [3, 4]. В настоящее время идет активная разработка инновационных способов пластической деформации, которые позволяют добиться данного результата [5–7].

Одним из путей управления формированием макро- и микроструктуры металла является варьирование термическими и механическими режимами ковки на операции кузнечной протяжки. Данное решение позволяет интенсифицировать пластическую деформацию с получением эффекта макросдвигов при использовании универсального инструмента. Работниками ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» совместно с сотрудниками Приазовского государственного технического университета был предложен и апробирован способ ковки поковок с вытянутой осью с варьированием подач и кантовок в комбинированных бойках на гидравлическом прессе, что позволило добиться значительного улучшения механических свойств металла [8]. Однако изменение механических режимов влияет на кинематические и энергосиловые характеристики пластической деформации, что необходимо учитывать при разработке технологической документации на ковку поковок.

Целью настоящей работы является определение влияния степени обжатия для различных режимов ковки протяжкой в комбинированных бойках на кинематические и энергосиловые характеристики процесса формоизменения заготовки.

В качестве исследуемых кинематических и энергосиловых характеристик формоизменения заготовки были приняты следующие абсолютные параметры: усилие деформации –  $F$ ; работа деформации –  $W$ ; величина вытяжки –  $\Delta$ . Относительные величины исследуемых параметров определяли, как отношение их абсолютных значений к ширине бойка ( $B$ ), тогда: а) удельное усилие деформации:  $f = F/B$ , (Н/мм); б) удельная работа деформации:  $w = W/B$ , (Дж/мм); в) относительная величина вытяжки:  $\delta = 100(\Delta/B)$ , (%).

Особенностью анализа является оценка вытяжки путем приведения к ширине бойка, а не длине заготовки. Величина  $\delta$  косвенно характеризует количество металла, вытекающего из-под рабочей ширины бойка в осевом направлении. В противном случае величина вытяжки будет функцией длины, что не позволит выполнять сравнение  $\delta$  для заготовок с различными соотношениями диаметра и длины.

Проводили моделирование пластической деформации при протяжке комбинированными бойками. Верхний боек принимали плоским, а нижний – вырезным с радиусом выреза 300 мм. Моделировали ковку неподвижной заготовки с диаметра 550 мм до диаметра 350 мм.

Бойки задавали как абсолютно жесткие тела, совершающие ковочные движения вокруг заготовки. Деформируемый материал – сталь 25X1M1Ф, процесс считали изотермическим. Для расчета данной задачи применяли программный пакет LS-DYNA, который позволяет решать нелинейные задачи методом конечных элементов (МКЭ).

На первом этапе было проведено моделирование деформации исходной заготовки при единичном обжатии. Выполненные исследования показали, что взаимодействие бойка с заготовкой приводит к вовлечению в пластическую область материала, смежного с поперечным сечением заготовки, которое совпадает с торцевой частью бойка (рис. 1). Этот факт дает основание полагать, что напряженное и деформированное состояние в заготовке не является однородным и плоским. Результирующее распределение деформаций подчиняется достаточно сложным закономерностям. В таком случае кинематические и энергосиловые параметры являются нелинейными функциями ширины бойка. Исследуемый вопрос не совсем корректно сводить к плоской задаче. Следовательно, величина подачи является параметром, оказывающим влияние на относительные (на единицу ширины бойка) энергосиловые параметры. Моделирование плоской и объемной задачи подтвердили данное допущение. На рис. 2 представлено распределение осевых логарифмических деформаций в поперечном сечении заготовки. Из рисунка видно, что при моделировании плоской и объемной задач наблюдается существенное различие деформированных состояний, величин вытяжек и усилий.

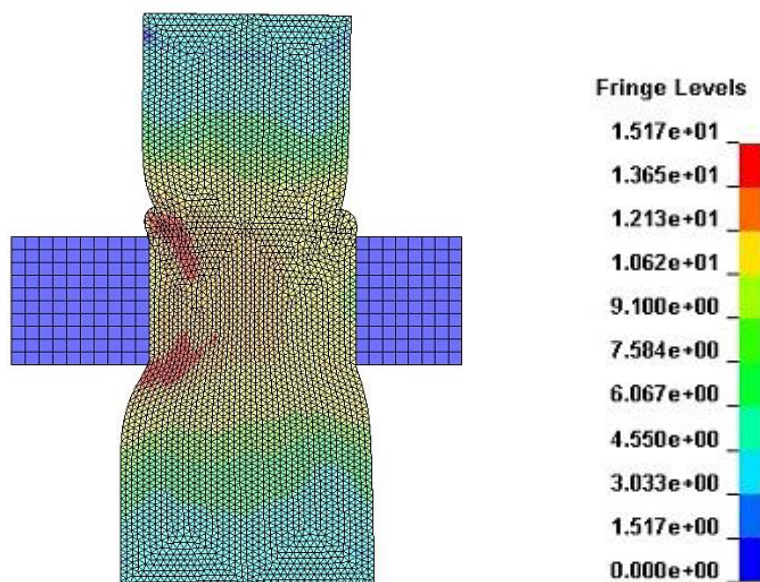


Рис. 1. Характерное распределение интенсивности напряжений (по Мизесу) в осевом сечении заготовки

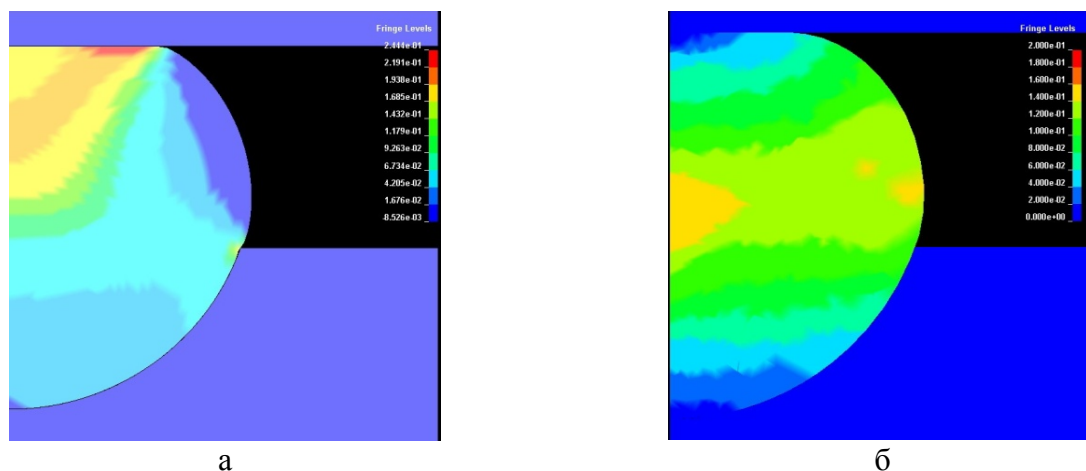


Рис. 2. Характерное распределение осевых деформаций в поперечном сечении при решении плоской задачи (а) и при решении объемной задачи (б)

Исследуемые характеристики (вытяжка и усилие) являются также зависящими от угла кантовки и числа обжатий. Угол кантовки был исключен из рассмотрения в связи с наличием результатов предыдущих исследований, которые позволили определить его рациональное значение по условию проковки заготовки, распределению деформаций и окончательной форме поковки [9]. Наибольшее значение деформирующей силы наблюдается на первом обжатии. Таким образом, наиболее характерные максимальные значения энергосиловых параметров соответствуют первому обжатию на достаточно большом удалении от торца (минимальное влияние концевых эффектов). Поэтому моделировали одно обжатие на ступенчатой заготовке с размерами прокованной и непрокованной части (рис. 3, а). В силу симметричности процесса первого характерного обжатия моделировали деформацию половины заготовки. На рис. 3 показана отображенная в программе одновременно правая и левая часть модели.

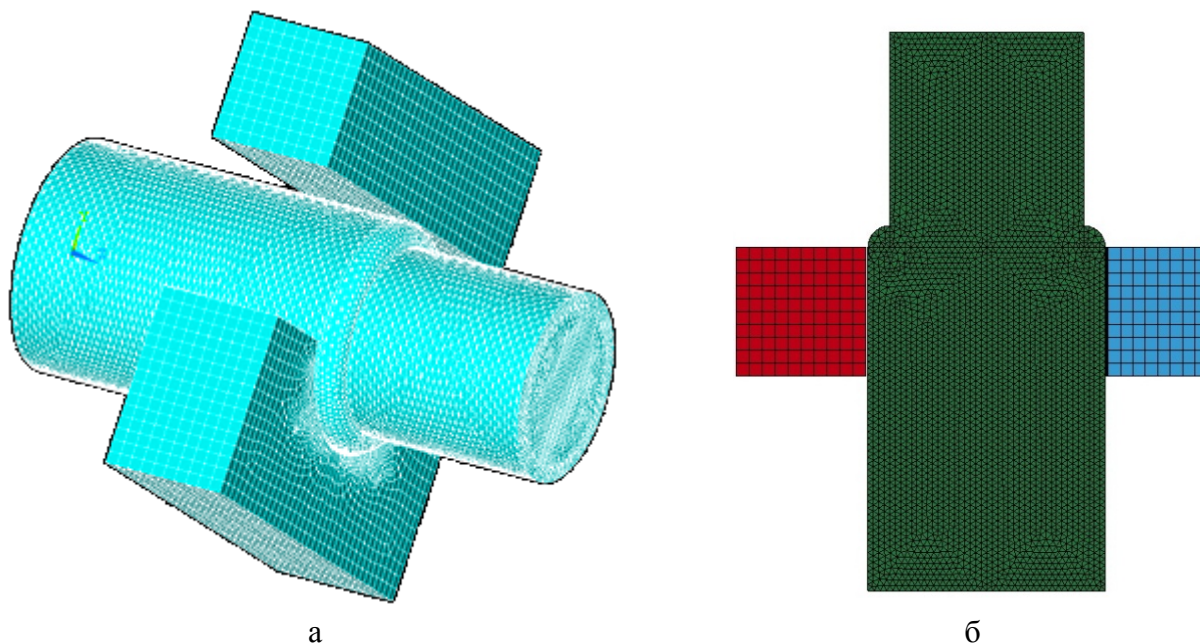


Рис. 3. Схема расчетной модели:  
объемная модель (а) и сечение модели по плоскости симметрии (б)

На следующем этапе моделирования производили разбивку деформируемой заготовки на оптимальное количество конечных элементов с учетом сравнения трудоемкости решения задачи с одной стороны и точности решения с другой. Одним из путей, который позволяет уменьшить количество элементов, является уменьшение длины заготовки, поскольку большая ее часть при текущем обжатии не вовлечена в пластическую область, однако, здесь следует принимать во внимание влияние граничных условий (концевых участков). В результате изучения влияния данных параметров, была принята за основу длина заготовки 1300 мм для всех случаев, со средней длиной грани элемента 10 мм (тетраэдрическая форма). Переход от одного диаметра к другому выполнен в виде закругления, равного половине рабочего хода бойка. Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными показало, что такой вариант практически не влияет на исследуемые характеристики процессаковки.

Моделирование производили при постоянном угле кантовки, который принят равным  $30^\circ$ , и степенях обжатия равных 50 мм, 66 мм и 100 мм. Моделируемые режимыковки для краткости зашифрованы в следующем виде: первая цифра – обжим на один проход (в мм), вторая – угол кантовки (в градусах). После проведения моделирования получены расчетные характеристики усилия, величины вытяжки и работы деформации в зависимости от обжатия на каждом проходе, которые приведены в табл. 1.

Результаты моделирования режимов пластической деформации были обработаны и предоставлены в виде графических зависимостей (рис. 4). Как видно, зависимости имеют характер, близкий к линейному распределению.

Таблица 1

## Влияние величины обжатия на характеристики процессаковки

Шифр режимаковки	Обжатие		Номер прохода	Величина вытяжки $\Delta$ , мм	Вытяжка $\delta$ , % к ширине бойка	Усилие деформации, $F \cdot 10^6$ , Н	Удельное усилие, $f \cdot 10^3$ , Н/мм	Работа деформации, $W \cdot 10^4$ , Дж	Удельная работа, $w$ , Дж/мм
	$\Delta D$ , мм	%							
50_30	50	9	1	15,1	5,0	1,86	6,2	3,62	121
			2	15,5	5,2	1,49	5,0	3,3	110
			3	16,5	5,5	1,38	4,6	2,8	93
			4	17,4	5,8	1,25	4,2	2,7	90
Итог*				64,5	21,5	1,86	6,2	12,42	414
66_30	66	12	1	23,51	7,8	2,12	7,1	5,52	184
			2	24,03	8,0	1,74	5,8	4,68	156
			3	25,4	8,5	1,44	4,8	3,92	131
Итог				72,9	24,3	2,12	7,1	14,12	471
100_30	100	18	1	47,5	15,8	2,76	9,2	10,3	343
			2	49,4	16,5	2,06	6,9	8	267
Итог				96,6	32,2	2,76	9,2	18,5	617

\* Принято максимальное значение итоговой силы, наблюдающееся при первом обжатии.

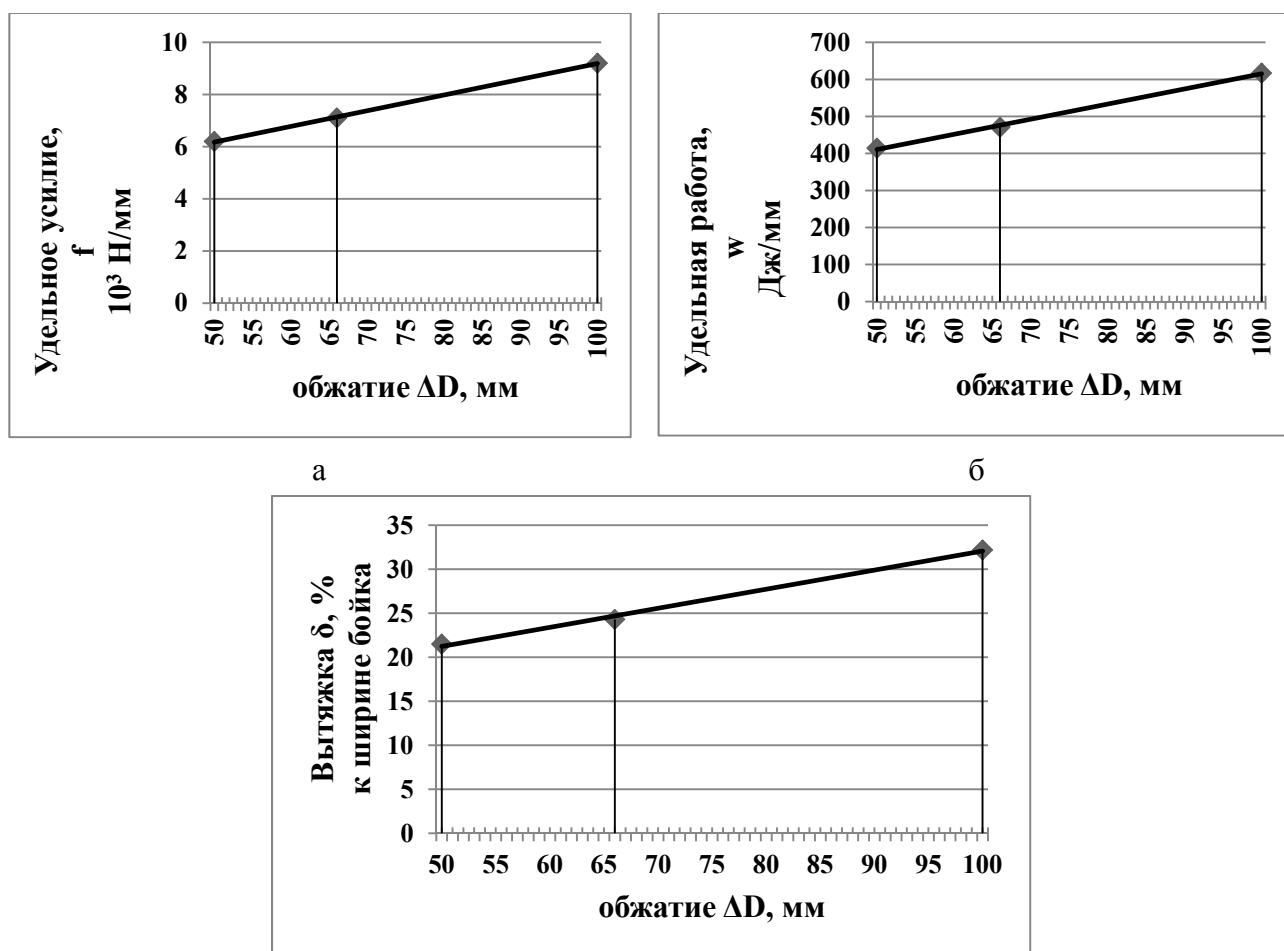


Рис. 4. Зависимости удельного деформирующего усилия (а), суммарной затраченной удельной энергии (б) и суммарной продольной приведенной вытяжки (в) заготовки на единицу ширины бойка от величины обжатия

## ВЫВОДЫ

Таким образом, проанализировав и обобщив данные, полученные при исследовании режимовковки, можно заключить, что с уменьшением степени обжатия за проход снижаются значения максимальных усилий на всем протяженииковки и снижаются значения суммарной работы пластической деформации при протяжке. Уменьшение продольных деформаций при малых обжатиях можно считать положительным явлением, поскольку металл в этом случае менее интенсивно вытекает из-под бойков, оставаясь в рабочей зоне, улучшая характеристики проковываемости.

Основываясь на анализе и обобщении полученных в результате математического моделирования данных, для практического применения с точки зрения энергетических затрат и удельных усилий можно рекомендовать режимы с малыми степенями обжатий.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарновский И. Я. Свободная ковка на прессах. / И. Я. Тарновский, В. Н. Трубин, М. Г. Златкин. – М. : Машиностроение, 1967. – 328 с.
2. Современные тенденции в изготовлении и эксплуатации прокатных валков / И. А. Балаклеец, В. С. Филиппов, Э. Н. Шебаниц, А. В. Мурашкин, С. В. Форман // *Металл и литьё Украины*. – 2012. – № 2–3. – С. 50–55.
3. George Krauss. *Deformation, processing and structure* / George Krauss. – ASM. : St. Louis, 1984. – 524 p.
4. Третьяков А. В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А. В. Третьяков, В. И. Зюзин. – М. : Металлургия, 1973. – 224 с.
5. Василевский О. В. Пути оптимизации технологических процессовковки труднодеформируемых и малопластичных сталей / О. В. Василевский, В. В. Кухарь // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2009. – № 1. – С. 34–38. – (Серия «Технічні науки»).
6. Тюрин В. А. Дополнительные макросдвиги – технологические резервыковки / В. А. Тюрин // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1993. – № 12. – С. 8–9.
7. Тюрин В. А. Инновационные технологииковки с применением макросдвигов / В. А. Тюрин // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2007. – № 11. – С. 15–20.
8. Василевский О. В. Влияние режимов пластической деформации на эксплуатационные характеристики кованых деталей металлургического оборудования / О. В. Василевский, В. В. Кухарь // *Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. Сучасні технології в гірництві, машинобудуванні та транспорті*. – Кременчук : КрНУ, 2011. – № 5(70). – С. 70–74.
9. 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.

Василевский О. В. – зам. нач. 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.

ПГТУ – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

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

Статья поступила в редакцию 23.03.2012 г.