

*О.Е. Марков*

Донбасская государственная машиностроительная академия (г. Краматорск)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОВКИ КРУПНЫХ ПОКОВОК КЛИНОВЫМИ БОЙКАМИ

Современные тенденции развития металлургической промышленности требуют от тяжелого машиностроения изготовления деталей большой массы с комплексом высоких механических свойств и приемлемой себестоимостью (к таким деталям относятся опорные валки прокатных станков). Соответственно необходима разработка новых ресурсосберегающих технологических процессовковки крупнотоннажных (масса которых превышает 150 т) поковок.

Опорные валки прокатных станков являются поковками ответственного назначения, основной способ их производства – ковка, которая должна устранить металлургические дефекты слитка (в основном осевую рыхлость), что повысит надежность и долговечность работы валка [1]. Основным ограничением при ковке слитков массой более 150 т является невозможность применения энергоемкой операции осадки. Улучшить проработку литой структуры без применения операции осадки можно за счет применения укороченных слитков [2] или специального кузнечного инструмента [3, 4] с обеспечением определенных термомеханических режимовковки. При ковке заготовок большого диаметра сложно обеспечить глубокое проникновение очага деформации до средних слоев слитка. Деформации в осевой зоне слитка появляются при использовании схемыковки валов через квадрат, в этом случае возникает значительная неравномерность деформаций. При этом необходимо применение специального кузнечного инструмента, который будет обеспечивать равномерное распределение деформаций в теле заготовки в процессековки. Применение специального инструмента должно также обеспечивать заваривание дефектов осевой зоны слитка.

Альтернативой исключения операции осадки является применение операции протяжки слитков выпуклым радиусным бойком [4 – 7]. Ограничением использования протяжки выпуклым радиусным бойком является низкая универсальность: для обеспечения эффективности протяжки определенный радиус выступа бойка применим для заготовок узкого диапазона диаметров. Более универсальным является использование выпуклых клиновых бойков, которые применимы для заготовок различных диаметров. Ковка клиновыми бойками позволяет повысить равномерность распределения деформаций в теле заготовки.

В настоящей работе использован комплексный подход, который заключается в поиске рациональной гео-

метрии выпуклых бойков дляковки укороченных слитков. Отличие исследуемого способа, предложенного в работе Я.М. Охрименко и В.А. Тюрина [8], состоит в применении оппозитных клиновых бойков дляковки укороченных слитков [9]. Ковка слитка производится с кантовкой на 90°. Продавливание выпуклыми бойками позволяет получать четырехлучевую заготовку, что в итоге дополнительно повышает жесткость схемы напряженного состояния в осевой части слитка при последующей обкатке в вырезных бойках.

Цель настоящей работы – исследование влиянияковки укороченных слитков клиновыми бойками с различными углами на напряженно-деформированное состояние (НДС) и закрытие осевого дефекта слитка.

Задача исследования сводится к определению эффективных углов развала выпуклого клинового бойка и установления минимальных степеней обжатий, при которых происходит закрытие осевого дефекта. Процесс обкатки четырехлучевой заготовки в вырезных бойках не рассматривается, так как ковка в вырезных бойках не будет способствовать раскрытию осевых дефектов. Исследовали следующие углы клиновых выпуклых бойков: 140°, 160° и 180° (плоские бойки).

По результатам исследования необходимо определить возможность и целесообразность применения новой технологииковки без осадки с точки зрения величины накопления интенсивности деформации металла слитка в процессековки. Исследование проводили с применением конечно-элементной программы DEFORM 3D, которая с высокой степенью достоверности моделирует многооперационные процессыковки крупных слитков. Это позволяет не проводить дорогостоящие производственные эксперименты для поиска оптимальных технологических решений дляковки уникальных поковок ответственного назначения.

В качестве заготовки принят укороченный слиток диам.  $D = 2000$  мм и длиной  $L = 1000$  мм. В слитке моделировали искусственный осевой дефект диаметром  $d_{\text{деф0}} = 0,1D$ . На рис. 1 представлены продольные разрезы вдоль оси заготовки после формирования четырехлучевой заготовки с распределением накопленной интенсивности деформаций, средних напряжений и изменение размеров осевого дефекта при разных углах клина бойков. Важным критерием при ковке крупных поковок является равномерность распределения деформаций в теле заготовки. Неравномерность деформаций

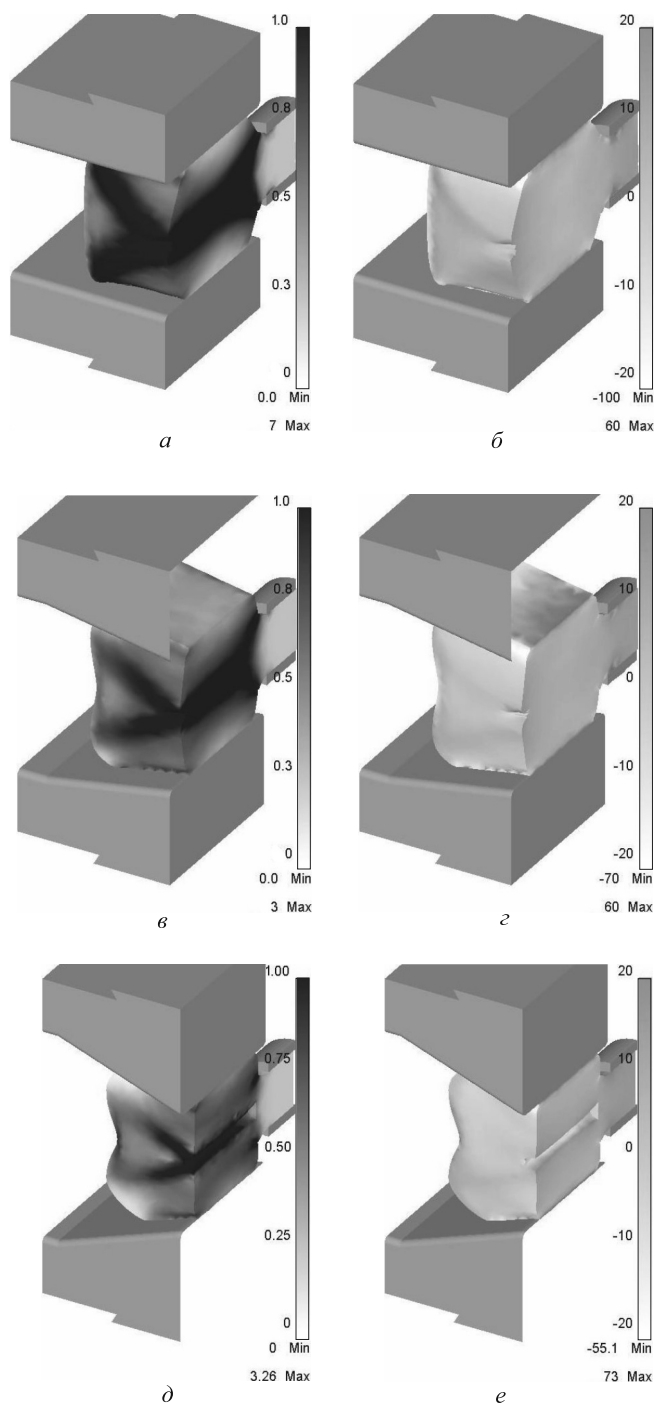


Рис. 1. Напряженно-деформированное состояние заготовки и закрытие осевого дефекта при протяжке выпуклыми клиновыми бойками (осевой продольный разрез заготовки)

определяли в поперечном сечении на середине подачи заготовки и оценивали по зависимости  $\Delta e = e_{\max} - e_{\min}$  (рис. 2, а). Закрытие осевого дефекта оценивали по коэффициенту изменения его размера по отношению к начальному диаметру ( $d_{\text{деф1}}/d_{\text{деф0}}$ ). Основное влияние на закрытие осевого дефекта оказывает напряженное состояние (НС) в осевой зоне. Появление сжимающих напряжений способствует закрытию дефектов.

Наиболее комплексной оценкой закрытия осевого дефекта является показатель схемы напряженного сос-

тояния в осевой зоне заготовки для исследуемых схем деформирования. Так как ковку на четырехлучевую заготовку осуществляли клиновыми бойками с кантовкой на  $90^\circ$ , то необходимо оценить влияние всего процесса на показатель схемы НС (рис. 2, б). Ковку выпуклыми бойками проводили до высоты недокова в средней его части  $H_1 = 1265$  мм ( $\varepsilon \approx 35\%$ ). Исследование новых схем деформирования проводили путем сравнения с хорошо зарекомендовавшей себя схемой ковки валов плоскими бойками через квадрат.

Ковка бойками с углом рабочей поверхности  $180^\circ$  – плоские бойки (рис. 1, а, б). Ковка цилиндрической заготовки плоскими бойками с кантовкой на  $90^\circ$  реализуется по схеме протяжки через квадрат. Результаты распределения деформаций в теле заготовки совпадают с известными в литературе данными [9]. Зоны за-

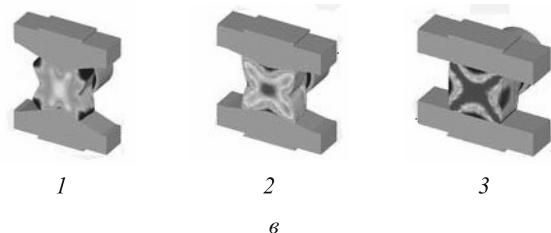
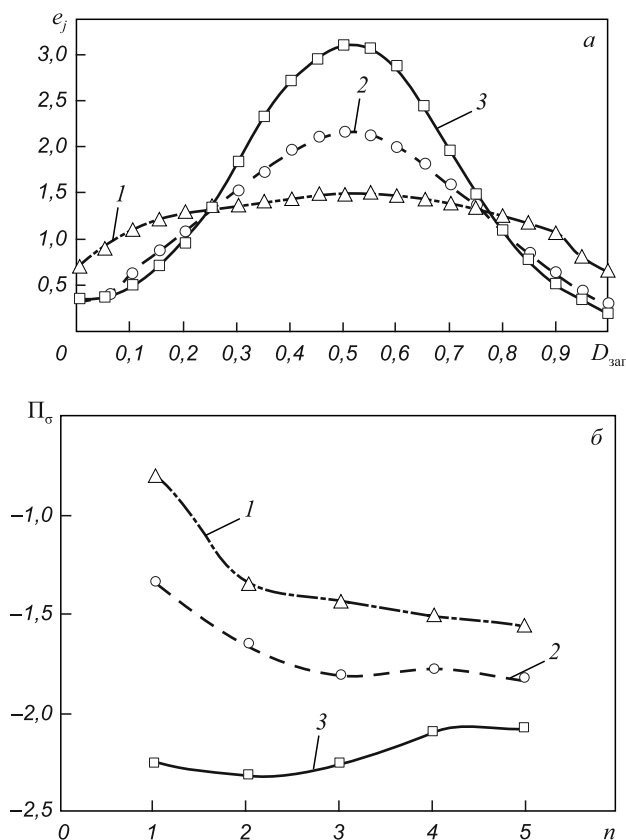


Рис. 2. Распределение интенсивности логарифмических деформаций по диаметру недокова ( $D_{\text{заг}}$ ) в среднем сечении (а), изменение показателя схемы напряженного состояния недокова в зависимости от числа кантовок на  $90^\circ$  в осевой зоне (б) и схемы деформирования (в) при различных углах клина бойков: 1 –  $140^\circ$ ; 2 –  $160^\circ$ ; 3 –  $180^\circ$

готовки, контактирующие с инструментом, остаются недеформированными. Основные деформации возникают по диагоналям квадратного сечения заготовки величиной больше 2,0 (рис. 1, а). При этом схема характеризуется высокой неравномерностью распределения деформаций в объеме заготовки ( $\Delta e \approx 2,75$ ) (рис. 2, а, кривая 3). Максимальные деформации локализуются в центральной осевой зоне заготовки с уровнем приблизительно 3,0. При этом уровень средних напряжений (рис. 1, б) в теле заготовки составляет  $\sigma_{н.ср} = -20$  МПа, что соответствует состоянию сжатия. Показатель  $P_{\sigma}$  жесткости схемы напряженного состояния составляет примерно  $-2,1$  (рис. 2, б, кривая 3). Такие деформации обеспечивают интенсивное закрытие осевого дефекта. По мере уменьшения величины обжатия после каждой кантовки для придания заготовке квадратного поперечного сечения жесткость схемы НС снижается примерно на 10 %.

*Ковка выпуклыми клиновыми бойками с углом рабочей поверхности  $160^\circ$*  (рис. 1, в, з). Применение выпуклых бойков приводит к изменению деформированного и напряженного состояний. Снижается неравномерность распределения деформаций  $\Delta e \approx 1,75$  (рис. 2, а, кривая 2). Однако при этом максимальные деформации ( $e_{max} \approx 2,2$ ) локализуются в месте расположения осевого дефекта. Для этой схемы деформирования (рис. 1, з) уровень средних напряжений в осевой зоне составляет приблизительно  $-15$  МПа (состояние всестороннего неравномерного сжатия), а показатель жесткости схемы НС после обжатия до высоты в средней части до 1265 мм составляет примерно  $-1,8$  (рис. 2, б, кривая 2). Такое НДС приводит к полному закрытию осевого дефекта на всей его длине после обжатия цилиндрической заготовки на 35 %. Уровень средних напряжений  $\sigma_{н.ср}$  на поверхности заготовки в месте острия клина бойка составляет примерно 10 МПа, что свидетельствует о растягивающих напряжениях за счет расклинивания металла заготовки.

*Ковка выпуклыми клиновыми бойками с углом рабочей поверхности  $140^\circ$*  (рис. 1, д, е). Эта схема деформирования приводит к меньшей (0,75) неравномерности распределения деформаций  $\Delta e$  в теле заготовки (рис. 2, а, кривая 1), чем ковка плоскими бойками. Однако такое деформированное состояние не способствует полному закрытию осевого дефекта (рис. 1, д), его размер уменьшается примерно на 42 % ( $d_{деф1}/d_{деф0} = 0,58$ ). Можно утверждать, что для этой схемы деформирования нет достаточного уровня концентрирования деформаций в области расположения осевого дефекта для его закрытия. Для этой схемы деформирования также характерно низкое ( $P_{\sigma} \approx -1,5$ ) значение показателя жесткости схемы напряженного состояния в осевой зоне (рис. 2, б, кривая 1) после пятой кантовки и прохода. Можно отметить высокую равномерность распределения средних напряжений по сравнению с предыдущими двумя схемами деформирования в теле заготовки

при  $\sigma_{н.ср} \approx -10$  МПа (рис. 1, б), что в два раза меньше, чем в осевой зоне. Средние напряжения  $\sigma_{н.ср} = 73$  МПа, возникающие на поверхности заготовки в месте внедрения острия клина бойка (рис. 1, е), обеспечивают в этом месте значительные растягивающие напряжения.

На основании проведенных исследований разработан и апробирован новый технологический процессковки крупных укороченных слитков выпуклыми бойками без осадки в условиях ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод» на гидравлическом прессе усилием 100 МН. Угол клина оппозитных выпуклых бойков составлял  $160^\circ$  с радиусом скругления клина 100 мм. Температурный интервалковки  $1200 - 850^\circ\text{C}$ , сталь 38ХНЗМФА, масса поковки 104,5 т, масса слитка 170 т. Технологический процессковки реализовывали за пять нагревов, процесс состоял из следующих основных операций: биллетировка на диам. 2200 мм при длине примерно 4200 мм; продавливание заготовки выпуклыми клиновыми бойками на глубину примерно 200 – 300 мм; протяжка вырезными ромбическими бойками с углом  $135^\circ$  на круг диам. 1400 мм длиной примерно 9000 мм; после этого подсекали и оттягивали донную и прибыльную части шейки поковки.

Полученные результаты по НДС заготовки в процессековки соответствуют реальным производственным данным. Размеры заготовки по переходамковки совпадают с реальными данными карт фиксации с точностью 3 – 5 %. Полученные в результате конечно-элементного моделирования утяжины на переходе с бочки вала на шейки и форма концевой сферы были отмечены на реальной поковке. Температура реальных поковок послековки составляла примерно  $850^\circ\text{C}$ , средняя по результатам численного моделирования – примерно  $830^\circ\text{C}$ . Сравнение результатов моделирования программой DEFORM 3D с данными промышленнойковки показало высокую сходимость результатов. Таким образом, подтверждается достоверность результатов, получаемых используемым конечно-элементным программным продуктом.

**Выводы.** Увеличение угла клина выпуклого бойка от  $140^\circ$  до  $180^\circ$  приводит к следующему: степень закрытия осевого дефекта увеличивается; повышаются уровень сжимающих средних напряжений в теле заготовки и показатель схемы напряженного состояния, но при этом увеличивается неравномерность распределения деформаций в объеме заготовки. Наиболее эффективной геометрией инструмента для получения приемлемой равномерности распределения деформаций, обеспечения в осевой зоне состояния неравномерного всестороннего сжатия и закрытия осевых дефектов является угол выпуклых клиновых бойков примерно  $160^\circ$ . Установлено, что продавливание выпуклым клиновым бойком позволяет обеспечить проникновение очага деформации до осевой зоны поковки с сечением слитка более 2000 мм. Освоена и внедрена уникальная технологияковки поковок ответственного назначения крупного сечения из укороченных

слитков без осадки с использованием клиновых выпуклых бойков. В результате примерно на 30 % повысилась производительность процессаковки крупных валов, количество нагревов снизилось с семи до пяти. Полученные поковки соответствуют требованиям по механическим свойствам и ультразвуковому контролю.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алиев И.С., Марков О.Е., Олешко М.В., Злыгоров В.Н. – В кн.: Обработка материалов давлением: сб. научн. трудов. – Краматорск: изд. ДГМА, 2010. № 2 (23). С. 94 – 98.
2. Дурьнин В.А., Солнцев Ю.П. Исследование и совершенствование технологии производства с целью повышения ресурса стальных изделий из крупных поковок ответственного назначения. – С-Пб.: Химиздат, 2006. – 272 с.
3. Дубков А.Н. // Кузнечно-штамповочное производство. 1977. № 4. С. 20 – 22.
4. Белова Л.П., Дубков А.Н., Делягина Н.Ф., Горювая Е.К. // Кузнечно-штамповочное производство. 1985. № 1. С. 5 – 7.
5. Белова Л.П., Рыбин Ю.И., Дубков А.Н., Баушева Е.О. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1986. № 3. С. 81 – 85.
6. Белова Л.П., Тюрин В.А., Дубков А.Н. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1982. № 5. С. 70 – 74.
7. Белкин М.Я., Кривошеев В.П., Пименов Г.А. // Кузнечно-штамповочное производство. 1988. № 1. С. 5 – 7.
8. Охрименко Я.М., Тюрин В.А., Лебедев В.Н., Гринюк А.И. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1971. № 4. С. 96 – 99.
9. Пат. 7481 Украина. Спосіб виготовлення поковок типу плит та пластин / Роганов Л.Л., Соколов Л.М., Роганов М.Л., Корчак О.С., Марков О.С. Заявник та власник ДДМА. Бюл. № 6. Заявл. 27.12.04.; опубл. 15.06.05.

© 2012 г. О.Е. Марков  
Поступила 13 февраля 2012 г.

УДК 669.1:504.06:662.75

*А.Б. Юрьев<sup>1</sup>, М.Б. Школлер<sup>2</sup>, Е.В. Протопопов<sup>2</sup>, Л.А. Ганзер<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ОАО «Евраз – объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»

<sup>2</sup> Сибирский государственный индустриальный университет

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ ТОПЛИВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ КОКС – ЧУГУН – СТАЛЬ. СООБЩЕНИЕ 2\*

Теоретическое обоснование получения синтез-газа для производства синтетического жидкого топлива при парокислородной газификации угля в доменной печи свидетельствует о достаточно высокой рентабельности процесса [1]. В то же время более эффективным представляется развитие направления использования высокопотенциальных вторичных энергоресурсов (ВЭР), образующихся при реализации различных технологий на интегрированных металлургических предприятиях с полным циклом. Вторичные энергоресурсы представлены газовыми средами с определенным содержанием горючих компонентов ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_m\text{H}_n$  и др.), их тепловая ценность и выход на единицу продукции, как правило, определяются составом исходной шихты, физико-химическими процессами, свойственными той или иной технологии, причем в общем энергетическом балансе металлургического предприятия ВЭР составляют около 50 % [2 – 4]. Безусловно, при традиционной схеме производства металлопродукции на основе аглодоменного комплекса с развитой инфраструктурой (коксохимическим, аглодоменным, сталеплавильным и другими производствами) источники ВЭР, как правило, разобщены территориально, функционируют в разных

временных режимах, а сами носители энергии сильно различаются по термодинамическим параметрам (температуре, давлению, составу и т.д.). Все это значительно усложняет создание замкнутой системы, обеспечивающей экономию энергии и улучшение экологической обстановки металлопроизводящих регионов. Однако совмещение даже нескольких технологических процессов (например, выплавки стали в кислородных конвертерах и коксохимического производства) с позиций накопления и использования ВЭР и дальнейшего получения синтез-газа с применением химической энергии коксового и конвертерного газов позволит значительно повысить энергоэффективность черной металлургии.

Так, например, обратный коксовый газ поступает в газовые сети металлургического предприятия после отделения смолы коксования, сырого бензола и пиридиновых оснований в химическом цехе коксохимического предприятия и используется обычно как топливо в различных переделах.

Конвертерный газ из-за значительных колебаний его количества по выходу в течение плавки (в среднем 70 – 90 м<sup>3</sup>/т), а также в силу периодичности процесса в агрегате, к сожалению, для производственных целей в отечественной металлургии практически не используется. В то же время существуют различные конструктивные решения по применению отходящих

\* Работа выполнена в рамках государственного задания вузу № 7.4828.2011.