

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КРУПНЫХ ПОКОВОК ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СХЕМ КОВКИ С ИНТЕНСИВНЫМИ ПЛАСТИЧЕСКИМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ****Марков О. Е., Злыгорев В. Н., Руденко Н. А., Коляденко А. В.**

В статье рассмотрено влияние угла клина выпуклых бойков и глубины вогнутости граней на заковывание осевых дефектов и напряженное состояние в осевой зоне. Установлено, что с увеличением угла клина бойков и глубины вогнутостей граней увеличивается степень заковывания осевых дефектов. Для плоских бойков обжатия по диаметру заготовки достаточно 25 %, для угла 160 ° – 35 %, а для угла 140 ° – больше 35 %. Угол 140 ° нерационален для получения четырёхлучевых заготовок с точки зрения заковывания осевого дефекта слитка. Для интенсивного заковывания осевых дефектов необходимо получать четырёхлучевую заготовку со степенью обжатия 25...30 % бойками с углом в диапазоне 160...180 °. Высокий уровень сжимающих напряжений для этих условий обеспечивает полное заковывание осевого дефекта. Полученные результаты объясняются показателем жесткости схемы напряженного состояния в осевой зоне при формировании четырёхлучевой заготовки и подтверждаются экспериментальными исследованиями.

У статті розглянуто вплив кута клину опуклих бойків і глибини увігнутості граней на заковування осьових дефектів і напружений стан в осьовій зоні. Встановлено, що зі збільшенням кута клину бойків і глибини увігнутостей граней збільшується ступінь заковування осьових дефектів. Для плоских бойків обтиснення по діаметру заготовки достатньо 25 %, для кута 160 ° – 35 %, а для кута 140 ° – більше 35 %. Кут 140 ° нерациональний для отримання чотирипроменевиx заготовок з точки зору заковування осьових дефектів. Для інтенсивного заковування осьових дефектів необхідно отримувати чотирихпроменеvu заготовку зі ступенем обтиснення 25...30 % бойками з кутом в діапазоні 160...180 °. Високий рівень стискаючих напружень для цих умов забезпечує повне заковування осьового дефекту. Отримані результати пояснюються показником жорсткості напруженого стану в осьовій зоні при формуванні чотирипроменевої заготовки і підтверджуються експериментальними дослідженнями.

Effect of wedge angle and depth of the convex dies concavity faces on closure of the axial defects and stress state in the axial zone was considered in the paper. It was found, that increasing wedge angle and depth of concavities dies faces increases the degree of closure of the axial defects. Reduction in diameter was 25 % for flat dies, for angle 160 ° – 35 %, for angle 140 ° – more than 35 %. Angle 140 ° was inefficient for obtaining four-ray workpieces with the point view of closure of axial defects. Intensive closure of defects occurs in the four-ray workpieces during reduction of 25 ... 30 % in the dies with the angle in the range 160 ... 180 °. High level of compressive stresses provides full closure of axial defects. These results explained by index of rigidity of stress state in axial zone to form the four-ray workpiece. These data are confirmed by experimental studies.

Марков О. Е.

д-р. техн. наук, проф.,  
зав. каф. МПФ ДГМА  
oleg.markov.ond@mail.ru  
аспирант каф. МПФ ДГМА

Злыгорев В. Н.

Руденко Н. А.

канд. техн. наук,  
ст. преп. каф. МПФ ДГМА  
студент ДГМА

Коляденко А. В.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.735.36

Марков О. Е., Злыгорев В. Н., Руденко Н. А., Коляденко А. В.

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КРУПНЫХ ПОКОВОК ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СХЕМ КОВКИ С ИНТЕНСИВНЫМИ ПЛАСТИЧЕСКИМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ**

Основная задача при изготовлении крупных деталей в тяжелом машиностроении – получение высококачественных поковок из слитков [1, 2]. При этом необходимо обеспечить минимальные затраты на ковку. После анализа существующих технологических процессов ковки крупных поковок установлено, что около 90 % всех технологических процессов ковки предполагают применение энергоёмкой операции осадки. При осадке в осевой зоне слитка возникает неблагоприятное напряженно-деформированное состояние (НДС), которое приводит к раскрытию осевой рыхлости слитка [3]. Исключить операцию осадки можно за счёт применения укороченных слитков [4]. Основным дефект кузнечного слитка, который должен быть устранен операциями ковки – осевая пористость [5]. Эффективным способом заковывания осевых дефектов слитков является применение кузнечной операции протяжки [6]. При протяжке укороченных слитков необходимо обеспечить равномерное распределение деформаций по сечению заготовки и состояние всестороннего неравномерного сжатия в осевой зоне слитка [7]. Это возможно за счёт ковки слитков выпуклыми бойками (профилирования заготовки) и последующей обкатки вырезными или плоскими бойками.

Ограничением профилирования заготовок выпуклым радиусным бойком является их низкая универсальность – определённый радиус выступа бойка применим для узкого диапазона диаметров заготовок [8]. Более универсальной схемой ковки будет применение выпуклых клиновидных бойков, которые применимы для различных диаметров заготовок (рис. 1).

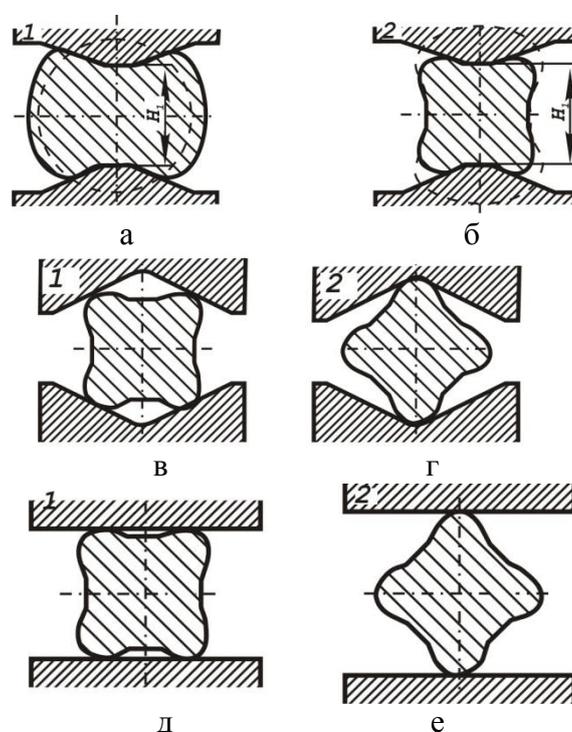


Рис. 1. Последовательность получения четырехлучевой заготовки (а, б) и схемы обкатки четырехлучевой заготовки на круглое сечение вырезными (в, г) и плоскими бойками (д, е)

В данной работе будет исследован комплексный подход, который заключается в поиске рациональной геометрии выпуклых клиновых бойков дляковки укороченных слитков, глубины обжатия этими бойками и способ последующей обкатки. Ковка слитка производится с кантовкой на  $90^\circ$ . Продавливание выпуклыми клиновыми бойками позволит получить четырёхлучевую заготовку с вогнутыми гранями, что в итоге дополнительно повысит уровень сжимающих напряжений в осевой части слитка при последующей ковке.

Цель работы – исследование влиянияковки выпуклыми клиновыми оппозитными бойками с различными углами и степенью обжатия на НДС и заковывания осевого дефекта слитка. Задача исследования сводится к определению эффективных углов выпуклого клинового бойка, установления рациональных степеней обжатий, при которых происходит закрытие осевого дефекта.

Были исследованы следующие углы клиновых выпуклых бойков:  $140^\circ$ ,  $160^\circ$  и  $180^\circ$  (плоские бойки) и двухстороннее обжатие 15 %, 25 %, 35 % от диаметра заготовки.

В качестве заготовки был принят укороченный слиток с диаметром  $D = 2000$  мм и длиной  $L = 1000$  мм. В слитке моделировался искусственный осевой дефект диаметром  $d_{\text{деф}0} = 0,1D$ . Основным критерием при ковке крупных поковок является заковывание осевой пористости. Закрытие осевого дефекта оценивается коэффициентом изменения его размера по отношению к начальному диаметру ( $d_{\text{деф}1}/d_{\text{деф}0}$ ). Основное влияние на заковывание осевого дефекта оказывает напряженное состояние в осевой зоне. Появление сжимающих напряжений будет способствовать заковыванию дефектов. Комплексной оценкой закрытия осевого дефекта является показатель схемы напряжённого состояния (НС) в осевой зоне заготовки

для исследуемых схем деформирования 
$$P_\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}$$
. Исследование проводилось мето-

дом конечных элементов. При обжатии цилиндрической заготовки выпуклыми бойками (угол  $140^\circ$ ,  $160^\circ$ ,  $180^\circ$ ) можно отметить, что дефект интенсивнее заковывается при ковке бойками с углом  $180^\circ$  – плоские бойки (рис. 2, а). После обжатия заготовки плоскими бойками более 25 % дефект заковывается полностью. Для угла  $140^\circ$  дефект после обжатия на 35 % заковывается на 52 %, а для угла  $160^\circ$  – на 72 % (рис. 2, а).

После кантовки на  $90^\circ$  и дальнейшего обжатия до получения симметричной четырёхлучевой заготовки с формированием различной глубины вогнутости граней в поперечном сечении установлено следующее. Получение четырёхлучевой заготовки с глубиной вогнутостей граней 15 % не обеспечивает полного заковывания дефекта (рис. 2, б линия 1) – диаметр дефекта меньше исходного на 10...35 % в зависимости от угла бойка (чем больше угол бойка, тем сильнее заковывается дефект). Это объясняется недостаточной величиной обжатия заготовки. Увеличение обжатия до 25 % способствует более интенсивному заковыванию осевого дефекта, особенно дляковки плоскими бойками (угол  $180^\circ$ ), в этом случае дефект заковывается на 100 % (рис. 2, б линия 2). Для угла  $140^\circ$  – на 40 %, а в  $160^\circ$  – на 80 %. Для четырёхлучевых заготовок с глубиной вогнутости 35% осевой дефект закрывается полностью для углов  $160^\circ$  и  $180^\circ$  и на 95 % для угла  $140^\circ$  (рис. 2, б линия 3). Дальнейшая обкатка на круглое сечение (рис. 1 в-г) не приводит к раскрытию сомкнувшегося дефекта для различной геометрии инструмента (вырезные или плоские бойки) и способа укладки заготовки в бойках («на ребро» или «плашмя»).

Можно сделать вывод, что чем больше угол бойка и глубина вогнутостей граней (величина обжатия), тем интенсивнее закрывается осевой дефект. Для плоских бойков обжатия по диаметру заготовки достаточно 25 %, для угла  $160^\circ$  – 35 %, а для угла  $140^\circ$  – больше 35 %. Таким образом, угол в  $140^\circ$  нерационален для получения четырёхлучевых заготовок с точки зрения заковывания осевого дефекта слитка. Полученные теоретические исследования заковывания осевых дефектов подтверждаются экспериментальным моделированием на свинцовых моделях (табл. 1).

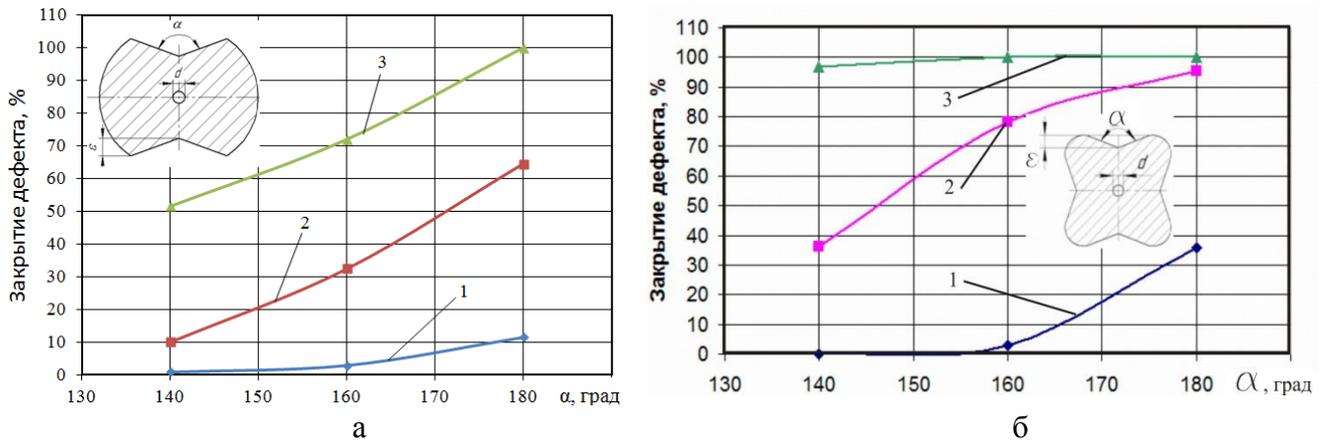


Рис. 2. Заковывание осевого дефекта при получении двухлучевой (а) и четырёхлучевой (б) заготовки с различными углами и глубиной вогнутостей:

1 – обжатие 15 %; 2 – обжатие 25 %; 3 – обжатие 35 %

Таблица 1

Изменение формы осевого дефекта после обжатия выпуклыми клиновыми бойками с различными углами и глубиной вогнутостей

	Угол бойка 140 °	Угол бойка 160 °	Угол бойка 180 °
Глубина вогнутости 15 %			
Глубина вогнутости 25 %			
Глубина вогнутости 35 %			

Оценить интенсивность заковывания осевых дефектов можно на основании данных о распределении показателя жёсткости схемы напряжённого состояния в осевой зоне заготовки (рис. 3).

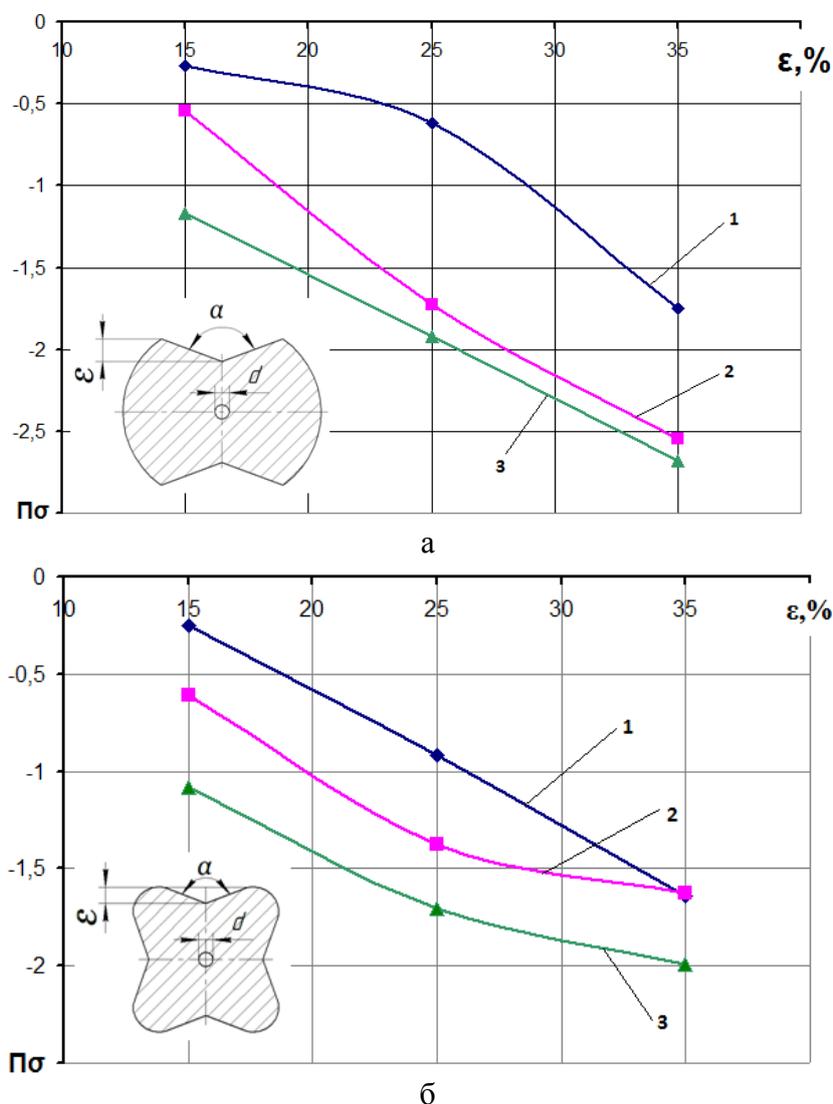


Рис. 3. Изменение показателя жёсткости схемы напряжённого состояния в зависимости от глубины вогнутостей граней, получение двулучевой заготовки (а) и получение четырёхлучевой заготовки (б):

1 – угол бойков 140 °; 2 – угол бойков 160 °; 3 – угол бойков 180 °

На первом переходе после внедрения выпуклых клиновых бойков показатель жёсткости схемы напряжённого состояния характеризует увеличение состояния всестороннего неравномерного сжатия при увеличении величины обжатия заготовки (рис. 3, а). Наибольшее сжатие обеспечивает ковка плоскими бойками (угол 180 °, линия 3). Обжатие бойком в 140 ° при обжатии на 15 % не обеспечивает сжимающих напряжений в осевой зоне ( $P\sigma \approx -0,25$ ), что объясняет отсутствие заковывания осевого дефекта (рис. 2, б).

При увеличении обжатия от 15 % до 35 % показатель  $P\sigma$  увеличивается от 2 до 5 раз в зависимости от угла клина бойков, и для углов 160 ° и 180 ° составляет  $P\sigma \approx -2,5$ .

Аналогичные зависимости сохраняются при втором переходе (кантовка на 90 ° и продавливание выпуклым бойком до получения четырёхлучевой заготовки). Можно отметить значительное влияние степени обжатия (глубины вогнутости граней) и увеличения угла кли-

на бойков (от  $160^\circ$  до  $180^\circ$ ) на обеспечение более жёсткой схемы напряжённого состояния (рис. 3, б). Высокий уровень сжимающих напряжений ( $P\sigma \approx -1,5...2,0$ ) для этих условий обеспечивает полное заковывание осевого дефекта (рис. 2, б).

### ВЫВОДЫ

Установлено, что чем больше угол клина бойка и глубина вогнутостей граней (величина обжатия), тем интенсивнее происходит заковывание осевого дефекта. Для плоских бойков обжатия по диаметру заготовки достаточно 25 %, для угла  $160^\circ$  – 35 %, а для угла  $140^\circ$  – больше 35 %. Угол в  $140^\circ$  нерационален для получения четырёхлучевых заготовок с точки зрения заковывания осевого дефекта слитка. Для интенсивного заковывания осевых дефектов необходимо формировать четырёхлучевую заготовку со степенью обжатия 25...30 % бойками с углом в диапазоне  $160...180^\circ$ . Полученные результаты объясняются показателем жесткости схемы напряженного состояния в осевой зоне при формировании четырёхлучевой заготовки и подтверждаются экспериментальными исследованиями.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюрин В. А. Инновационные технологииковки с применением макросдвигов / В. А. Тюрин // КШП ОМД. – 2007. – № 11. – С. 15–20.
2. Тюрин В. А. Инновационные технологииковки / В. А. Тюрин // КШП ОМД. – 2006. – № 5. – С. 27–29.
3. Марков О. Е. Изменение размеров осевых дефектов при осадке заготовок / О. Е. Марков // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 4 (29). – С. 103–110.
4. Тепловое состояние при формировании укороченных кузнечных слитков с направленной кристаллизацией / И. С. Алиев, О. Е. Марков, С. С. Захарчук, Л. В. Таган // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 2 (31). – С. 85–89.
5. О механизме возникновения химической неоднородности в стальном слитке / В. А. Вишняков, Н. М. Данилов, В. Д. Дементьев, О. В. Трифонов // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1977. – № 2. – С. 35–39.
6. Тюрин В. А. Разновидности процессов кузнечной протяжки / В. А. Тюрин // КШП ОМД. – 2009. – № 9. – С. 5–8.
7. Марков О. Е. Прогрессивная схема протяжки крупных валов из укороченных слитков // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 1 (30). – С. 118–122.
8. Исследование напряженно-деформированного состояния при обжатии слитка выпуклым и вырезным бойками / Л. П. Белова, Ю. И. Рыбин, А. Н. Дубков, Е. О. Баушева [и др.] // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1986. – № 3. – С. 81–85.