

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОВКИ КРУПНЫХ ПОКОВОК НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЧЕНИЕМ МЕТАЛЛА

Алиев И. С., Жбанков Я. Г., Таган Л. В., Швец А. А.

Предложена классификация процессов ковки крупных поковок на основе выделения трех факторов, позволяющих управлять напряженно-деформированным состоянием заготовки. Выделены фактор формы, кинематический фактор и температурный фактор. Фактор формы обуславливает различную форму инструмента и заготовки, кинематический фактор включает в себя различную кинематику движения деформирующего инструмента и различные механические режимы ковки. Температурный фактор описывает различное тепловое состояние заготовки и различное температурное поле. Проведен анализ работ отечественных и зарубежных исследователей, на основании чего определен уровень исследованности каждого из факторов классификации и намечены пути дальнейших исследований в области ковки крупных поковок.

Запропоновано класифікацію процесів кування крупних поковок на основі виділення трьох факторів, що дозволяють управляти напружено-деформованим станом заготовки. Виділено фактор форми, кінематичний фактор і температурний фактор. Фактор форми обумовлює різну форму інструменту і заготовки, кінематичний фактор включає в себе різну кінематику руху деформуючого інструменту і різні механічні режими кування. Температурний фактор описує різний тепловий стан заготовки і її різне температурне поле. Проведено аналіз робіт вітчизняних і зарубіжних дослідників, на підставі чого визначено рівень дослідженості кожного з факторів класифікації та намічені шляхи подальших досліджень в області кування крупних поковок.

A classification of forging processes large forgings based on the extraction of three factors which allow you to control the stress-strain state of the workpiece is proposed. The factor of the form, kinematic factor and factor of temperature are distinguish. Form factor determines the different shape of billet and tools, the kinematic factors include different kinematics of movement the deforming tool and the different mechanical regimes of forging. Temperature factor describes the different thermal state of the initial billet and the different temperature field. The analysis of the works of domestic and foreign researchers, based on that analysis it is determined level of study, each of the factors of the classification and the ways for further research in the field of forging large forgings.

Алиев И. С.

д-р техн. наук, проф., зав. каф. ОМД ДГМА
pnir@dgma.donetsk.ua

Жбанков Я. Г.

канд. техн. наук, ст. преп. каф. ОМД ДГМА

Таган Л. В.

аспирант ДГМА

Швец А. А.

аспирант ДГМА

УДК 621.735.3

Алиев И. С., Жбанков Я. Г., Таган Л. В., Швец А. А.

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОВКИ КРУПНЫХ ПОКОВОК НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЧЕНИЕМ МЕТАЛЛА

Классификации процессов ковки поковок позволяют определиться с направлением дальнейших исследований, выявить неисследованные и перспективные приемы ковки. Составлением классификаций ранее занимались Охрименко Я. М., Тюрин В. А. и др. [1, 2]. Однако они были не полными и включали в себя в основном только лишь разделение процессов ковки по форме применяемого инструмента и заготовки.

На качество поковки оказывает большое влияние напряженно-деформированное состояние (НДС). Анализ многочисленных работ отечественных и зарубежных исследователей позволил разбить все факторы, влияющие на НДС заготовки в процессе ковки, на три группы (рис. 1): фактор формы, в который входит форма инструмента и заготовки, кинематический фактор и температурный фактор.

Фактор формы определяется формой инструмента и формой исходной заготовки. Так, существует большое количество инструмента для ковки заготовок: это плоские бойки, комбинированные, вырезные, радиусные, выпуклые, бойки несимметричной формы и т. д. Практически всеми перечисленными бойками из одной и той же исходной заготовки можно получить одинаковое изделие, но НДС заготовки в процессе ковки везде будет различным. Применение того или иного инструмента обусловлено материалом исходной заготовки, его качеством, формой и необходимыми свойствами конечного изделия. Существуют и заготовки различных форм для ковки: это заготовки круглого сечения, например, полученные в машинах непрерывного литья, это многогранные кузнечные слитки, слябовые слитки, трехлучевые слитки, плоские слитки и т. д. Все рассмотренные слитки, кроме того что имеют различное внутреннее строение (различную химическую, структурную ликвацию), обуславливают и различное НДС при ковке одним и тем же инструментом.

Кинематический фактор определяется кинематикой воздействия инструмента на заготовку и механическим режимом ковки заготовки. Наиболее распространенной кинематикой движения инструмента при ковке крупных поковок, а, следовательно, и его воздействия на заготовку, является линейное вертикальное перемещение деформирующего инструмента, которое реализуется на гидравлических ковочных прессах и ковочных молотах. Также достаточно часто встречается и всестороннее обжатие заготовки, которое присуще радиально-ковочным машинам и устройствам. Такая кинематика движения инструмента обуславливает всестороннее сжатие заготовки и применяется при ковке заготовок из малопластичных материалов для получения поковок с малыми припусками. Кроме того, встречается и трехстороннее движение инструмента при ковке коленчатых валов. Здесь совмещается вертикальное и горизонтальное движение инструмента. Сложная кинематика перемещения деформирующего инструмента встречается очень редко из-за сложности ее реализации. Различная кинематика движения инструмента обеспечивает и различное течение металла, и форму получаемого изделия. Механический режим также относится к кинематическому воздействию инструмента на заготовку. Так, различная величина подачи заготовки в инструмент, ее обжатие, очередность кантовок является эффективным инструментом в управлении деформированным состоянием заготовки. Ковка заготовок с паузами позволяет управлять и напряженным состоянием заготовки за счет ее разупрочнения.

Температурный фактор определяется температурным полем заготовки и ее температурным состоянием. Заготовка, подвергаемая деформированию, может быть нагрета выше температуры рекристаллизации (это подавляющее большинство процессов ковки крупных поковок), она может быть условно холодная, т. е. ее температура ниже температуры рекристаллизации

(подвергаться специальному виду обработки) и может состоять из двух фаз: жидкой и твердой (заготовки, получаемые в машинах непрерывного литья заготовок). Кроме того, заготовка может иметь различный вид температурного поля: однородное температурное поле, неоднородное симметричное с различным видом распределения температур по сечению и неоднородное несимметричное. Деформирование заготовок с описанными температурными полями в различных температурных состояниях будет обеспечивать различное НДС, что обусловлено значительным влиянием температуры на механические свойства металла.

Каждый из описанных выше факторов имеет значительное влияние на процессковки и на параметры качества получаемых изделий. Сочетание данных факторов позволит получить управляемые процессыковки крупных поковок, обеспечивающие требуемые параметры получаемых изделий.

Целью данной работы является определение уровня исследованности каждого из факторов управления НДС заготовки в процессахковки крупных поковок и перспективных путей дальнейших исследований процессовковки, обеспечивающих контролируемое получение заданных свойств конечного изделия.

Фактор формы. Форма инструмента.

На течение металла при ковке, на его деформированное состояние влияет множество факторов, основными из которых являются форма инструмента, заготовки, режимковки, температурное поле заготовки и т. д. Исследованию данных факторов уделено определенное внимание как отечественными, так и зарубежными учеными. Так, например, в работе [3] Л. Н. Соколовым и Б. С. Каргиным проведено исследованиековки в комбинированных бойках. Одной из традиционных схемковки являетсяковка в комбинированных бойках с незначительными обжатиями до 15 % и кантовками на угол 23–30°. Предложен способ, заключающийся в максимально допустимом обжатии заготовки и кантовке на 180° и 90° (рис. 2). Установлено, что предлагаемый процесс позволяет значительно снизить количество обжатий заготовки при ее ковке и повысить проработку центральной зоны заготовки (рис. 3). На данном рисунке кривыми 1 и 3 обозначено распределение деформаций в поперечном сечении заготовки, откованной по традиционной схеме (рис. 2, а–в). Кривые 2 и 4 показывают распределение деформаций в поперечном сечении заготовки, полученной по предлагаемой схеме (рис. 2, г–е). Видно, что предлагаемый способ позволяет значительно повысить проработку центральной части заготовки.

Корейские ученые С. Y. Park и D. Y. Yang также исследовали процессковки в комбинированных бойках. Они исследовали процесс закрытия внутренних пустот заготовки при ковке комбинированными бойками (рис. 4): верхний вырезной, нижний плоский [4]. В их работе отмечено, что протяжка является наиболее важной операциейковки для закрытия внутренних дефектов металлургического происхождения заготовки. Показано, что при использовании комбинированных бойков заваривание внутреннего дефекта заготовки в виде сквозного отверстия происходит более эффективно, нежели при ковке плоскими бойками.

П. Ф. Иванушкин и Б. С. Каргин в работе [5] рассмотрели комбинированные и вырезные бойки, их влияние на интенсивность протяжки и распределение деформации. Исследование проводили на заготовках из стали 35, ковку осуществляли в температурном интервале 900–1230 °С. Установлено, что существенное влияние на интенсивность протяжки оказывает угол выреза бойков. Так, с увеличением угла от 90° до 180° интенсивность протяжки будет уменьшаться в 4 раза для вырезных и в 2 раза для комбинированных бойков. Установлено, что степень вытяжки заготовки при ковке в вырезных бойках больше, чем в комбинированных на 48–55 %. При протяжке заготовки вырезными бойками с малыми обжатиями и подачей деформируются только лишь поверхностные слои, деформация не распространяется вглубь заготовки. При больших подачах деформация больше проникает в центральную зону и достигает там максимального значения. При ковке комбинированными бойками наибольшие деформации сосредотачиваются в слоях, расположенных между центром и поверхностью заготовки.

I. Фактор формы

II. Кинематический фактор

III. Температурный фактор

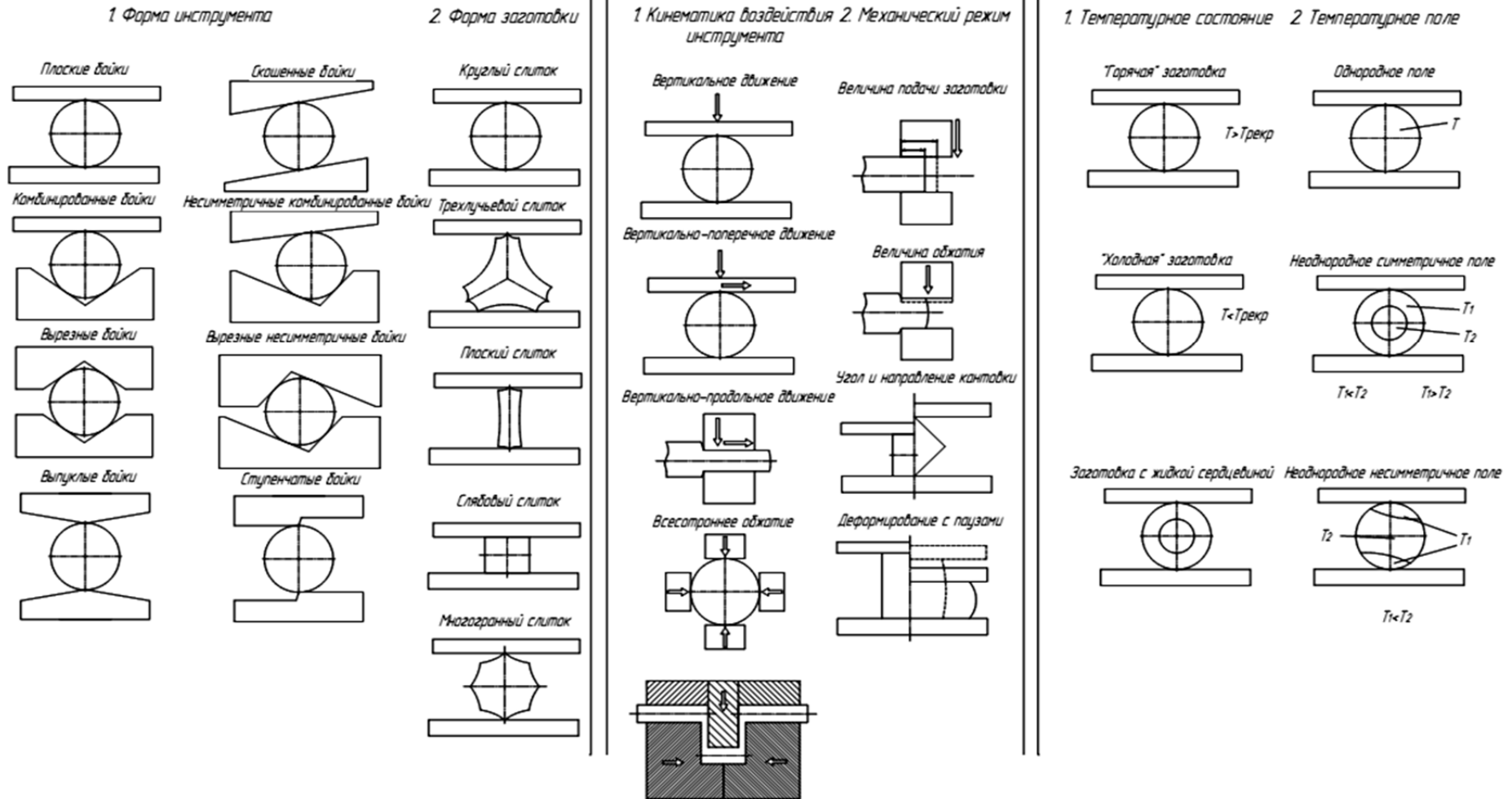


Рис. 1. Приемыковки, позволяющие управлять напряженно-деформированным состоянием заготовки

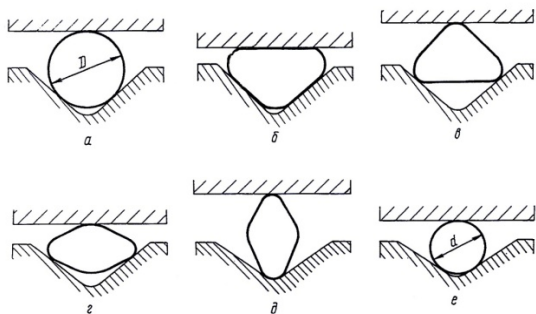


Рис. 2. Схемаковки комбинированными бойками

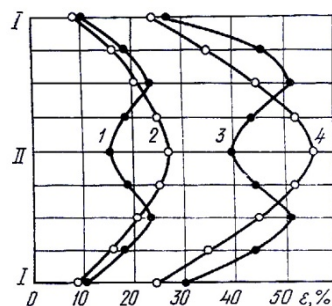


Рис. 3. Распределения деформаций по высоте поковки в средней части длины подачи при протяжке комбинированными бойками (кривые 1 и 2 – уков 1,5, кривые 3 и 4 – уков 3,0):

I – поверхность заготовки; II – центр заготовки

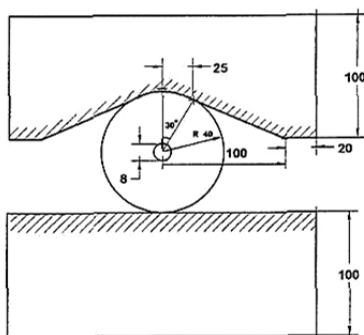


Рис. 4. Схемаковки комбинированными бойками

При ковке заготовки с кантовками в вырезных бойках деформации распределяются аналогично ковке с единичным обжатием – в центральных слоях с наибольшей деформацией. При ковке в комбинированных бойках осевая часть заготовки полностью не проковывается (рис. 5).

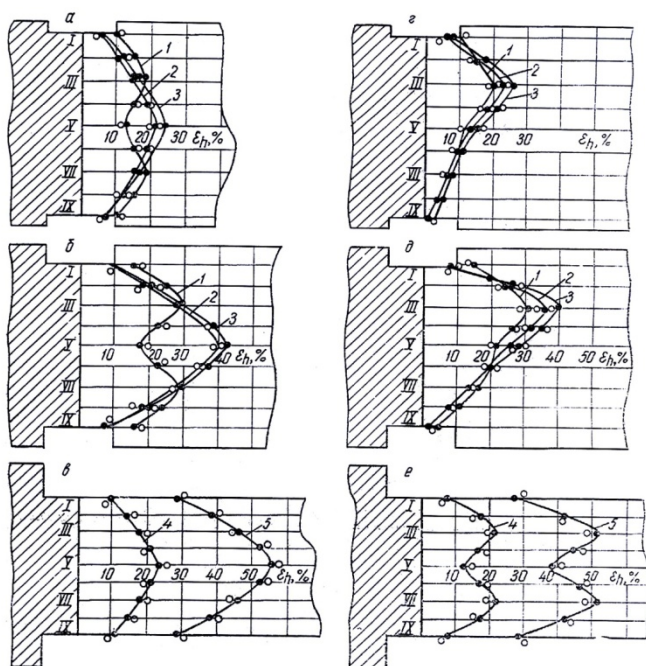


Рис. 5. Распределение обжатия по высоте сечения поковки по оси симметрии очага деформации при протяжке вырезными (а, б, в) и комбинированными (г, д, е) бойками:

а, г – при единичном обжатии $\varepsilon = 0,1$; б, д – при единичном обжатии $\varepsilon = 0,2$; в, е – при укове 1,5 (кривая 4) и укове 3 (кривая 5); кривая 1 – подача 0,3; кривая 2 – подача 0,6; кривая 3 – подача 0,9; \circ – угол выреза 90° ; \bullet – угол выреза 120°

Большое внимание уделено и исследованию специальных конструкций бойков, их влиянию на параметрыковки. В работе [6] ученые Н. Duja, G. Banaszek и др. провели моделирование операции протяжки бойками специальной формы – вырезными радиусными и трапецеидальными (рис. 6). Установлено, что вырезные трапецеидальные бойки обеспечивают более интенсивное удлинение заготовки и меньшую силу протяжки. Авторы установили, что наибольшая равномерность распределения интенсивности деформации по всему объему заготовки получается при ковке радиальными вырезными бойками. Однако они отмечают, что с точки зрения экономических и качественных показателей более предпочтительной является ковка трапецеидальными бойками.

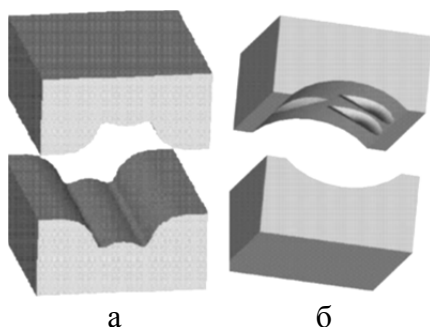


Рис. 6. Бойки специальной формы:

а – трапецеидальные вырезные бойки; б – радиальные вырезные бойки

В работе [7] G. Banaszek и P. Szota провели исследование влияния относительной подачи заготовки на деформированное состояние заготовки при ковке профилированными бойками. Бойки имеют плоскую форму со скосами с двух сторон. Ими установлено, что для наибольшей равномерности распределения деформаций и напряжений в заготовке бойки должны иметь скос равный 60° , ковка должна осуществляться с единичным обжатием 25 % и относительной подачей 0,4. Они установили, что угол скоса бойков, влияет на такие параметрыковки, как относительное удлинение заготовки, силу протяжки и неоднородности распределения деформаций в заготовке.

В работе [8] G. Banaszek и A. Stefanik провели моделирование процессаковки заготовки с дефектами металлургического происхождения в виде несплошностей. Исследовался процессковки цилиндрической заготовки с отверстиями, расположенными в центральной части заготовки и на различном расстоянии от нее. Проведено исследованиековки в бойках различной конфигурации: вырезных радиальных несимметричных и вырезных трапецеидальных (рис. 7, 8). На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлено, что использование профилированных бойков способствует уменьшению в заготовке внутренних дефектов в виде несплошностей и уменьшения неоднородности распределения деформаций по сечению заготовки. Отмечено, что данные бойки имеют преимущество перед традиционно используемыми на польских предприятиях плоскими, вырезными и комбинированными.

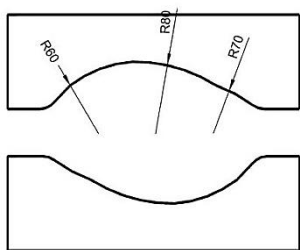


Рис. 7. Вырезные радиальные несимметричные бойки

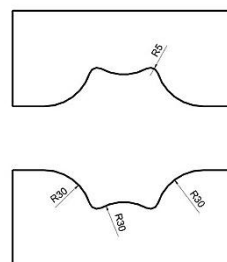


Рис. 8. Вырезные трапецеидальные бойки

Они установили, что асимметрия формы бойков благоприятно влияет на закрытие металлургических дефектов уже на начальной стадииковки.

В работе [9] Н. Duja, G. Banaszek, и др. определяли влияние симметрии и асимметрии формы бойков на качество кованных изделий. В данной работе рассмотрены радиусные несимметричные бойки, вырезные бойки и вырезные трапецеидальные. Они установили, что заготовка, откованная в асимметричных бойках, хотя и имеет деформации меньшего значения в поперечном сечении, чем заготовка, откованная в вырезных бойках, но она имеет меньшую неоднородность распределения. Ковкой в трапецеидальных вырезных бойках получают заготовку с интенсивно проработанными наружными слоями.

В работе [10] G. Banaszek и S. Berski провели исследованиековки заготовки вырезными бойками, у которых вырез имеет асимметричную форму как в поперечном, так и в продольном направлении (рис. 9). Они установили, что протяжка, проводимая в асимметричных бойках, обеспечивает лучшее качество поковок в сравнении с широко распространенными формами бойков.

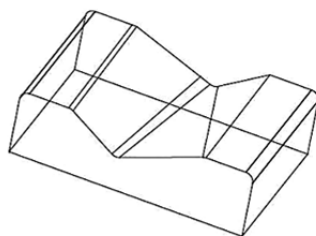


Рис. 9. Схема вырезного бойка с асимметричной формой

Исследователями также было предложено немало специальных конструкций бойков дляковки крупных поковок. Так А. В. Котелкин и В. А. Петров предложили устройство несимметричных комбинированных бойков [11]. При деформировании такими комбинированными бойками (рис. 10) увеличивается несимметричность приложения внешних усилий относительно заготовки за счет наклона рабочей поверхности верхнего бойка на угол α_3 . Применение такой конструкции бойков вызывает развитие в объеме заготовки дополнительных плоскостей сдвига, которые способствуют интенсификации проработки структуры металла и заварке внутренних дефектов. При этом схема напряженного состояния в центральной зоне заготовки, которая в наибольшей степени поражена дефектами, улучшается. Это способствует при развитых сдвиговых деформациях лучшему завариванию внутренних дефектов.

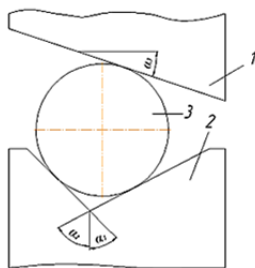


Рис. 10. Схема специальных комбинированных бойков

Л. В. Прозоров, Г. А. Пименов и др. также предложили специальную конструкцию вырезных бойков дляковки [12]. Верхний и нижний бойки (рис. 11) выполнены вырезными с углом выреза $\alpha-\alpha'$, рабочие поверхности, которых расположены под разными углами $\alpha 1$ и $\alpha 2$; $\alpha' 1$ и $\alpha' 2$ к оси $I-I$, проходящей через вершину угла выреза, при этом накрест лежащие углы бойков попарно равны между собой, т. е. $\alpha 1 = \alpha' 1$, $\alpha 2 = \alpha' 2$. При ковке данным инструментом максимально однородно прорабатывается структура поковок.

Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин и С. Д. Баранов предложили ступенчатые скрещивающиеся бойки [13] (рис. 12). В данном инструменте деформирующие участки расположены по вершинам выступов и основаниям впадин параллельно один другому и оси ковки. Выступы одного бойка расположены напротив впадин другого бойка. Это обеспечивает при ковке повышение качества поковок.

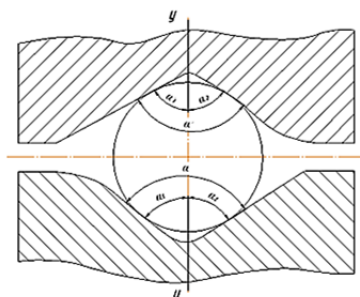


Рис. 11. Схема специальных вырезных бойков

При рабочем ходе инструмента выступы обжимают лишь часть поперечного сечения заготовки. Затем в действие включаются участки впадин, и заготовка подвергается последующему обжатию. В результате обеспечивается последовательное перемещение границ очага деформации по поперечному сечению заготовки и дробность обжатий заготовки по ее контактной поверхности, что повышает качество поковок.

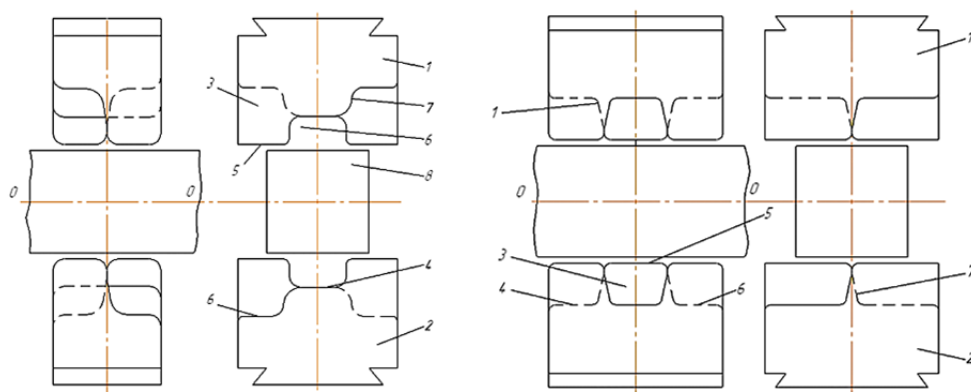


Рис. 12. Схема ступенчатых скрещивающихся бойков

Я. М. Охрименко, В. Н. Лебедев, В. А. Тюрин и В. П. Барсуков предложили специальный инструмент дляковки [14] в виде вырезного несимметричного бойка (рис. 13). Предлагаемый инструмент позволит улучшить проработку структуры металла. Это достигается тем, что рабочие поверхности бойка расположены под разными углами к оси, проходящей через вершину угла выреза. Входящий в инструмент боек, например нижний, выполнен с углом выреза α , равным $90-135^\circ$. Рабочие поверхности 1 и 2 бойка расположены под разными углами α_1 и α_2 к оси $0-0$, проходящей через вершину угла выреза α . При этом $\alpha_1 \neq \alpha_2$, $\alpha_1 + \alpha_2 = \alpha$, а $\alpha_1 - \alpha_2 = 15-30^\circ$.

При обжатии слитка инструментом, рабочие поверхности одного из бойков которого расположены под разными углами к оси, проходящей через вершину угла выреза, образуются зоны локализованной и заторможенной деформации в несимметричных местах относительно указанной оси. Часть объема слитка, обжатая рабочей поверхностью 1, расположенной под углом α_1 , после кантовки будет обжиматься рабочей поверхностью 2, расположенной под углом α_2 , и наоборот, что обеспечивает перераспределение зон локализованной и заторможенной деформации а, следовательно, улучшает проработку литой дендритной структуры.

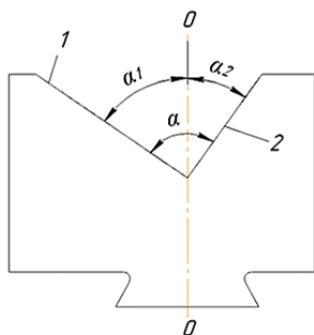


Рис. 13. Схема вырезного несимметричного бойка

Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин и др. предложили скошенные бойки со скрещивающимися рабочими поверхностями [15]. Инструмент (рис. 14) содержит верхний 1 и нижний 2 вырезные бойки. Боковые рабочие поверхности 3 и 4 каждого бойка расположены крест-накрест. Заготовку 5 подают под бойки и обжимают в вертикальном направлении. При воздействии на заготовку боковыми поверхностями 3 одна часть очага деформации поворачивается по направлению, указанному стрелками a . А другая, на которую воздействуют боковыми поверхностями 4, по стрелке b , т. е. одновременно с единичным высотным обжатием заготовки производят пластический сдвиг поворотом одной части очага деформации относительно другой, что позволяет избежать однонаправленного волокнообразования, а также снизить анизотропию металла поковки и улучшить проработку металла в зонах затрудненной деформации.

Для предотвращения образования на поковке зажимов по границе обжатой и недеформированной частей на бойках предусмотрены уклоны β .

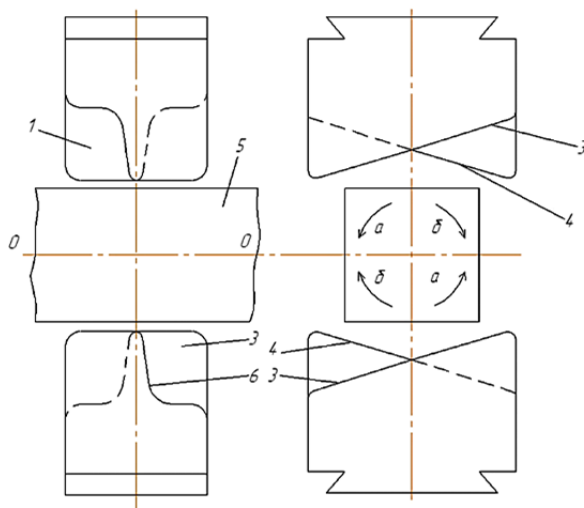


Рис. 14. Схема скошенных бойков со скрещивающимися рабочими поверхностями

Я. М. Охрименко и В. А. Тюрин в своей работе [16] предложили процесс протяжки с непрямолинейным фронтом подачи (рис. 15). Они установили, что при ковке квадратной заготовки плоскими бойками образуются две пары плоскостей максимальных сдвигов, локализуемых попарно. Следы этих плоскостей расположены по диагоналям поперечного и продольного сечения очага деформации. После каждой кантовки на 90° и обжатия одного и того же участка заготовки сдвиговые деформации изменяют свой знак, но действуют в тех же плоскостях. Из-за этого через некоторое количество кантовок и обжатий может произойти расслоение заготовки по этим плоскостям. Ковка слитков при больших подачах способствует развитию ковочного креста в плоскостях знакопеременных сдвигов.

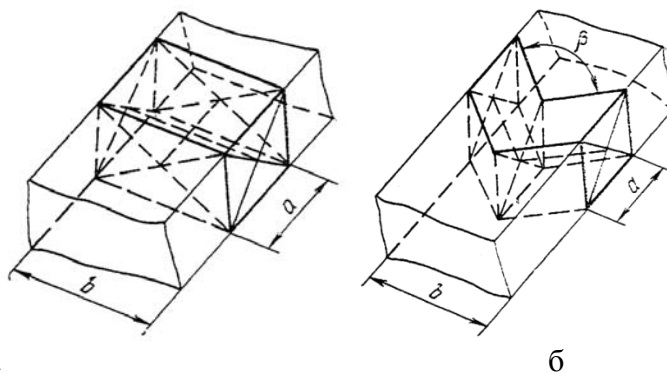


Рис. 15. Формы геометрических очагов деформации:
а – с прямолинейным фронтом подачи; б – с непрямолинейным фронтом подачи

Я. М. Охрименко и В. А. Тюрин установили, что для интенсификации процесса протяжки и улучшения проработки металла целесообразно увеличивать количество и поверхность плоскостей сдвига, т. е. интенсифицировать сдвиговую деформацию по объему проковываемого металла. Для достижения данной цели они предложили использовать бойки специальной формы, обеспечивающие непрямолинейный фронт подачи заготовки (рис. 15, б). В ходе экспериментальных исследований установлено, что применение протяжки с непрямолинейным фронтом подачи способствует меньшему развитию ковочного креста в поперечном сечении заготовки и большей однородности распределения деформаций в поперечном сечении заготовки.

Я. М. Охрименко и В. А. Тюрин предложили устройство дляковки заготовок с непрямолинейным фронтом подачи (рис. 16), содержащее соосно установленные бойки, перемещаемые в направлении, перпендикулярном плоскостиковки [17], причем с целью повышения качества и уменьшения анизотропии металла бойки развернуты один относительно другого в плоскостиковки на заданный угол.

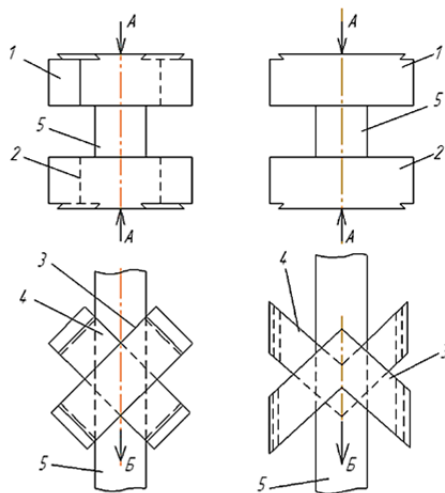


Рис. 16. Схема устройства дляковки заготовок с непрямолинейным фронтом подачи

Устройство содержит бойки 1 и 2, которые имеют в плоскостиковки прямолинейный или ломаный фронт 3 и 4. Заготовка 5 помещена между бойками, которые развернуты один относительно другого в плоскостиковки на заданный угол и закреплены в оборудовании известными средствами, например, посредством «ласточкина хвоста» и клиньев.

Приковке бойки, сближаясь в направлении A , перпендикулярном плоскостиковки, деформируют заготовку. Часть материала заготовки перемещается перпендикулярно фронту 3 верхнего бойка, часть – перпендикулярно фронту 4 нижнего бойка.

После единичного обжатия заготовку перемещают в направлении B на величину подачи и снова куют. В промежутках между обжатиями заготовку кантуют относительно продольной оси.

В. К. Воронцов, А. Б. Найзабеков и др. в своей работе [18] проводили исследования способаковки заготовок ступенчатыми в продольном сечении бойками (рис. 17) и определяли условия развития сдвиговых деформаций. Они отметили, что с использованием ступенчатых бойков можно достичь высокого качества изделий при минимальной вытяжке. Обеспечение высокого качества связано с развитием больших пластических деформаций за счет такого формоизменения, при котором отсутствует или слабо выражено течение металла в одном направлении. Такое течение обеспечивается при ковке передачей металла (сдвигом одной части заготовки относительно другой) и может быть реализовано ковкой в ступенчатых бойках. В работе показана эффективность использования ступенчатых бойков по сравнению с плоскими бойками при получении качественных изделий с малыми уковами без использования операции осадки.

В работе [19] А. Б. Найзабеков, А. В. Котёлкин, В. А. Петров и др. исследовали процессковки заготовок штамповых кубиков в бойках со ступенчатой рабочей поверхностью (рис. 17). Для оценки влияния новой схемы деформирования на формирование структуры металла и распределение механических свойств в объеме металла поковок слитки ковали по заводской и разработанной технологиям. В результате исследования было выявлено, что макроструктура металла поковок, откованных по предлагаемой технологии, более плотная и на 0,5–1,0 балла выше, чем макроструктура металла поковок, изготовленных по действующей технологии. Также, микроструктура металла поковок, откованных по разработанной технологии, по всему сечению на 2–3 балла мельче, чем микроструктура металла поковок, полученных по действующей технологии.

В результате исследований плотности металла поковок выявили, что металл поковок, полученных по разработанной технологии, более плотный по всему сечению по сравнению с металлом поковок, откованных по действующей технологии.

При протяжке бойками со ступенчатой рабочей поверхностью сдвиговые деформации развиты во всем объеме металла, где действует наклонный участок инструмента (зона $abcd$, рис. 17). При этом улучшаются механические свойства и макроструктура. Эти преимущества получены за счет развитых в объеме заготовки при небольших уковах сдвиговых деформаций. Для равномерного распределения механических свойств по всей длине и сечению заготовки необходимо осуществлять такую подачу, при которой металл по всей длине будет подвергаться развитому сдвигу на наклонном участке инструмента.

Авторы установили, что процессковки заготовок (слитков) в бойках со ступенчатой рабочей поверхностью обеспечивает требуемые свойства металла поковок при малом укове, а также дает возможность исключить операцию осадки из технологического цикла и увеличивает выход годного.

В работе [20] А. Б. Найзабеков и В. В. Исаенко предложили использовать дляковки поковок типа плит и пластин бойки с трапециевидными выступами и впадинами. Авторы установили, что применение таких бойков позволяет интенсифицировать логарифмические деформации сдвига по всему сечению заготовки путем локализации знакопеременных сдвиговых деформаций.

В работе С. А. Машекова [21] представлено исследование напряженно-деформированного состояния заготовки при ковке в комбинированных, вырезных симметричных и несимметричных бойках (рис. 18). Автором установлено, что при деформировании заготовок в комбинированных или вырезных бойках с углом выреза 90° интенсивность логарифмических деформаций по сечению заготовки распространяется неравномерно. Увеличение угла от 90° до 120° приводит к выравниванию деформаций по сечению заготовки. Деформирование заготовки бойками с несимметричным вырезом способствует возникновению дополнительных сдвиговых деформаций в заготовке, способствующих проработке литой структуры металла.

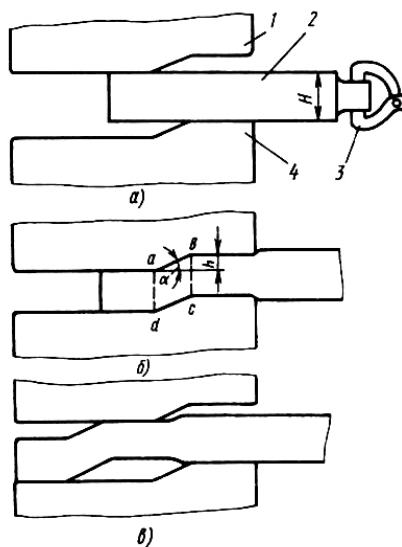


Рис. 17. Схема ковки в бойках со ступенчатой рабочей поверхностью:

1 – верхний боек; 2 – заготовка; 3 – клещи манипулятора; 4 – нижний боек; а, б, в – этапы ковки

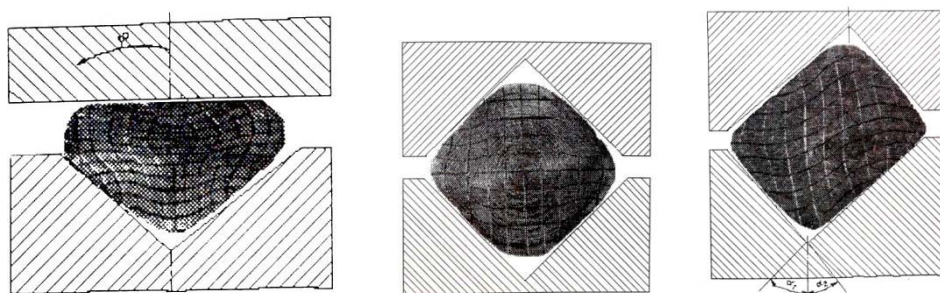


Рис. 18. Распределение интенсивности логарифмической деформации по сечению заготовки при протяжке различными бойками:

а – угол вырезного бойка 120° ; б – угол выреза бойков 90° ; в – бойки с полууглами 70° и 40°

Специальные формы бойков также рассмотрены в работе [22] И. К. Марченко, Ю. С. Холодняка и Н. Л. Ярмака. Здесь авторы оценивали эффективность применения к ковке полунепрерывнолитых слитков ряда конструкций бойков с внедряемыми в заготовку выступами, которые обеспечивают более активное «облагораживание» литого металла.

Исследовали ковку слитков сечением 470×470 мм и диаметром 490 мм из стали 35. Слитки нагревали до 1260°C . Ковку вели в традиционных бойках (плоских и комбинированных с углом развала нижнего бойка 120°) и в специальных бойках с выступами, конструктивные параметры которых приведены на рис. 19. Ширина бойков 320 мм, величина относительной подачи при ковке находилась в пределах 0,5–0,7, относительные обжатия за ход прессы не превышали 20 %.

Ковка включала обжим нижней половины каждого из слитков специальными бойками. После подогрева слитки квадратного сечения протягивали по всей длине в плоских бойках на квадрат с уковами 1,5 и 2,0, а круглого сечения – на круг в комбинированных бойках с такими же величинами укова. Сечения слитков после обжатия в специальных бойках приведены на рис. 20.

Результаты исследований кованого металла показали, что качество всех сравниваемых ступеней поковок приблизительно одинаково. Различия носили бессистемный характер и были, по-видимому, следствием неоднородности металла по длине слитка. Эти различия относились к показателям, не характеризующим непосредственно несущую способность

изделий к ликвационной неоднородности, макро- и микроструктуры. Таким образом, приведенные в работе варианты ковки с использованием бойков с выступами, внедряемыми в заготовку, не обладают заметными преимуществами по сравнению с обычными плоскими и комбинированными бойками.

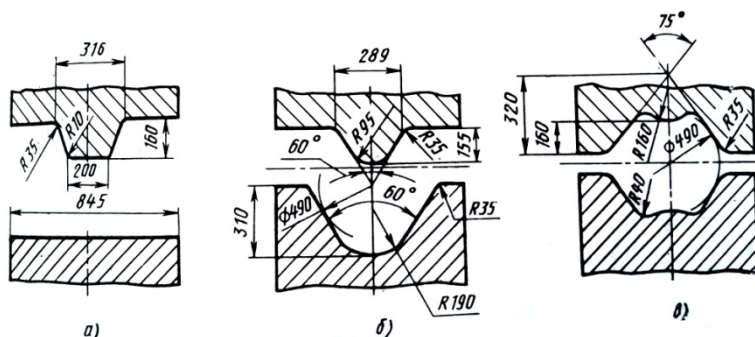


Рис. 19. Конструкции специальных бойков, применяемые в экспериментальных исследованиях:

а – плоские; б – комбинированные; в – вырезные

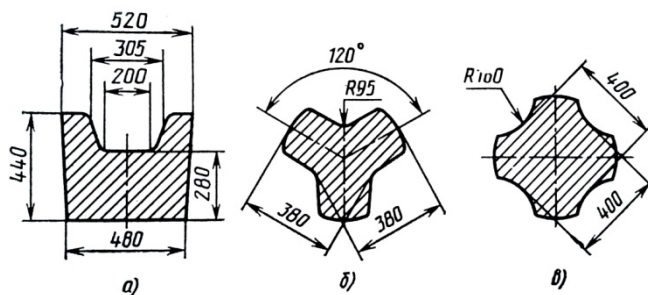


Рис. 20. Сечения слитков после обжатия в специальных бойках:

а – плоские; б – комбинированные; в – вырезные

Форма заготовки.

Кроме конструкции инструмента на течение металла при ковке и качество поковок оказывает влияние и форма исходной заготовки. В работе [23] В. А. Тюрин привел различные типы форм заготовок для ковки крупных поковок и указал на эффективность применения таких заготовок для получения различных поковок. Так на рис. 21 показаны различные виды слитков: восьмигранный, плоский и трехлепестковый.

Тюрин В. А. показал, что применение на производстве трехлепесткового слитка массой 7 т позволило исключить брак валков холодной прокатки, увеличить до 40 % местные деформации в осевой зоне поковки при уковке 1,5 (рис. 22).

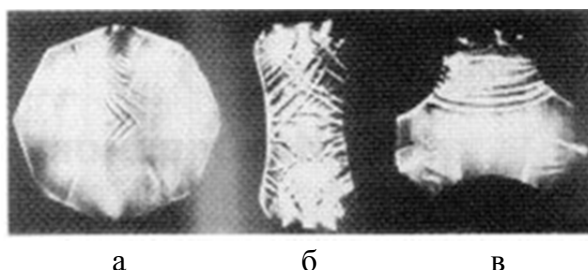


Рис. 21. Формы поперечного сечения 8-гранного (а), плоского (б) и трехлепесткового (в) слитков

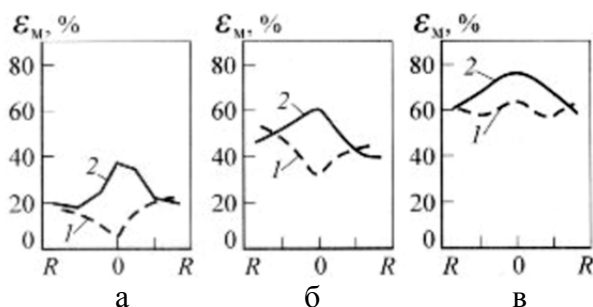


Рис. 22. Распределение деформации в поперечном сечении поковки:

1 – обычный слиток; 2 – трехлепестковый слиток; а – уков 1,5; б – уков 2,25; в – уков 3,7

Большое внимание уделено исследованию процессовковки заготовок инструментом различной формы, однако в большинстве случаев нет конкретных рекомендаций по расчету размеров инструмента для конкретных условийковки, режимовковки. Таким образом, дальнейшие исследования с использованием современного математического аппарата рассмотренных выше схем является целесообразным. Кроме того, в литературе мало внимания уделено ковке слитков специальных конфигураций из-за низкого их распространения на производстве, что, однако, может сдерживаться отсутствием научно обоснованных рекомендаций по их применению. Практически полностью отсутствуют данные по ковке слитков специальных конфигураций в инструменте не традиционной формы. Что также является дополнительным ресурсом совершенствования процессовковки крупных поковок.

Кинематический фактор. Кинематика воздействия инструмента.

Российские ученые А. М. Володин, Л. Г. Конев, В. А. Лазоркин предложили специальный инструмент для радиальнойковки (рис. 23) [24]. Инструмент содержит две пары расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях бойков с вырезами. Бойки имеют по две пары смещенных относительно друг друга вдоль продольной оси рабочих наклонных поверхностей. Каждая пара состоит из примыкающих друг к другу длинной и короткой поверхностей. При смыкании бойков длинные рабочие поверхности образуют два расположенных крест-накрест ромба. В результате обеспечивается повышение производительности процесса и более интенсивная деформационная проработка литой структуры металла заготовок (рис. 23).

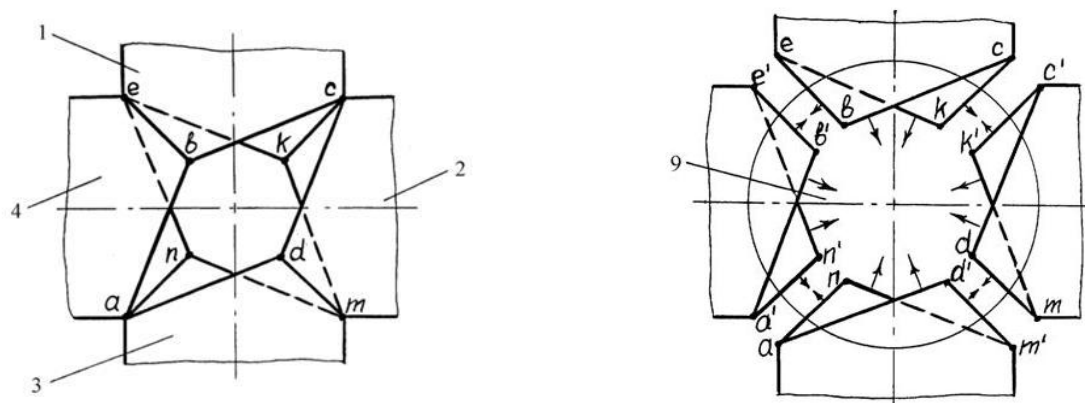


Рис. 23. Схема инструмента для радиальнойковки

В. М. Сегал и Д. А. Павлик предложили инструмент дляковки металла с продольным сдвигом заготовки [25]. Инструмент, приведенный на рис. 24, позволяет повысить производительности работ и улучшить качество проработки металла. В исходном положении (рис. 24, а) бойки разведены и обрабатываемое изделие подается между ними. При ходе

ползуна вниз бойки сближаются, в результате чего кривошипы 7 поворачиваются вокруг своих шарниров 8 и перемещают рабочие вставки 5 и 6 по направляющим 3 и 4 относительно верхнего 1 и нижнего 2 бойков во взаимно противоположных направлениях. Благодаря этому рабочие вставки 5 и 6 воздействуют на обрабатываемый материал как в нормальном, так и в касательном направлениях, вызывая одновременно его осадку и сдвиг за счет противоположно направленных сил контактного трения со стороны верхнего и нижнего бойков. После достижения заданной величины обжатия (рис. 24, б) верхний боек поднимается вместе с ползуном пресса, кривошипы 7 поворачиваются в обратном направлении, а рабочие вставки возвращаются в исходное положение. Затем вновь производится подача материала и при необходимости его кантовка.

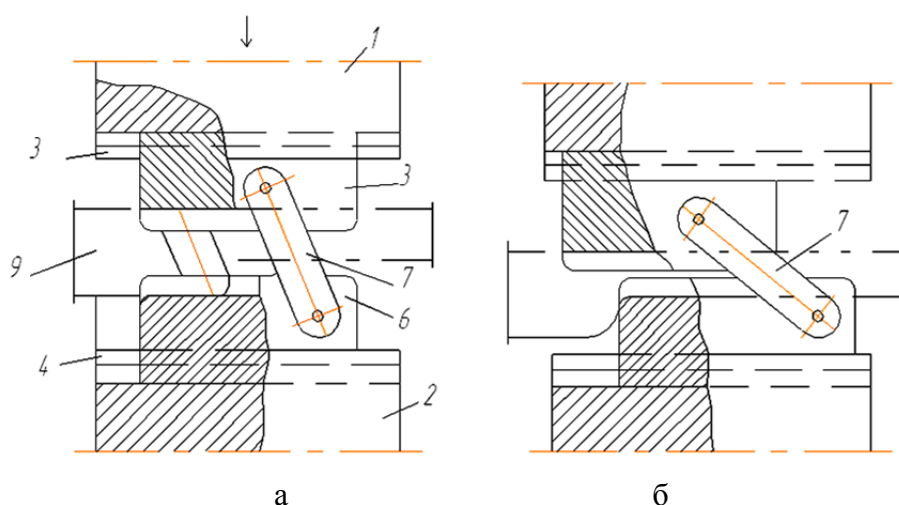


Рис. 24. Схема инструмента дляковки с продольным сдвигом

В работе [26] В. М. Сегал и Д. А. Павлик провели исследования процессаковки-протяжки с продольным сдвигом (рис. 25). Наибольший интерес представляет анализ влияния параметра m (соотношение скорости тангенциального и нормального перемещения бойков в любой момент времени) на характер распределения напряжений и деформации в пластической области. При наложении продольного сдвига основное течение происходит в направлении оси, а уширение металла незначительно.

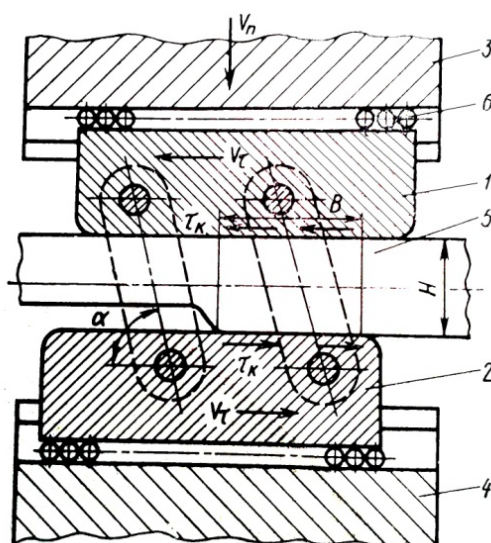


Рис. 25. Схема процессаковки-протяжки с продольным сдвигом

Исследования показали, что при ковке высоких полос продольный сдвиг приводит к благоприятному распределению напряжений и деформаций, что способствует качественной проковке материала и устраняет осевое разрушение, тогда как энергетические показатели процесса ухудшаются. Указанные особенности определяются относительно слабым влиянием контактного трения для высоких полос и перестройкой очага деформации за счет сдвига бойков.

Проведенный анализ данной схемыковки показал, что обжатие с продольным сдвигом наиболее целесообразно при подаче $B/H=1$ и при соотношении скоростей $m=1$, когда достигается равномерная проработка материала и уменьшается опасность разрушения. Этот случай является оптимальным и в отношении энергоемкости процесса.

Кроме того, известны схемыковки со сложной кинематикой движения инструмента для получения поковок кривошипных валов, где вертикальное движение траверсы прессы с главным деформирующим инструментом совмещается с горизонтальным перемещением дополнительного инструмента для вытяжки. Для такого способаковки применяются специальные штампы. В целом исследования сложной кинематики перемещения инструмента, ее влияния на напряженно-деформированное состояние заготовки при ковке крупных поковок малочисленны из-за сложности ее реализации на практике. Так широкое распространение нашла только лишь радиальная ковка в специальных машинах или устройствах, устанавливаемых на обычный гидравлический ковочный пресс. Интерес представляют новые схемыковки со сложной кинематикой перемещения инструмента сложной конфигурации, которая может быть реализована в специальных штампах либо на специализированном оборудовании, что также может дать толчок в создании оборудования нового типа.

Механический режим.

Кроме конструкций инструмента в работах многих исследователей большое внимание уделено и режимамковки с учетом использования специального инструмента. Так, в работе [27] Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин и др., рассматривая вопрос улучшения качества металла при продольной ковке, отметили, что качество поковок, изготавливаемых из слитков, определяется степенью местной деформации исходной литой структуры. Важнейшей задачей при этом является обеспечение равномерности деформации в каждой точке объемаковки. Регулирование течения металла можно эффективно осуществлять путем варьирования формы заготовки. При этом форму заготовки целесообразно задавать ковкой за счет рациональной конфигурации инструмента. Рассмотрена ковка протяжкой бойками с выпуклой рабочей поверхностью и последующей правкой плоскими бойками, которая позволяет достичь большей проработки сечения слитка. Проведен эксперимент по ковке слитка массой 1,7 т. из стали 30ХГСА по двум схемам (рис. 26), плоскими и выпуклыми бойками с уковами 2,5 и 6.

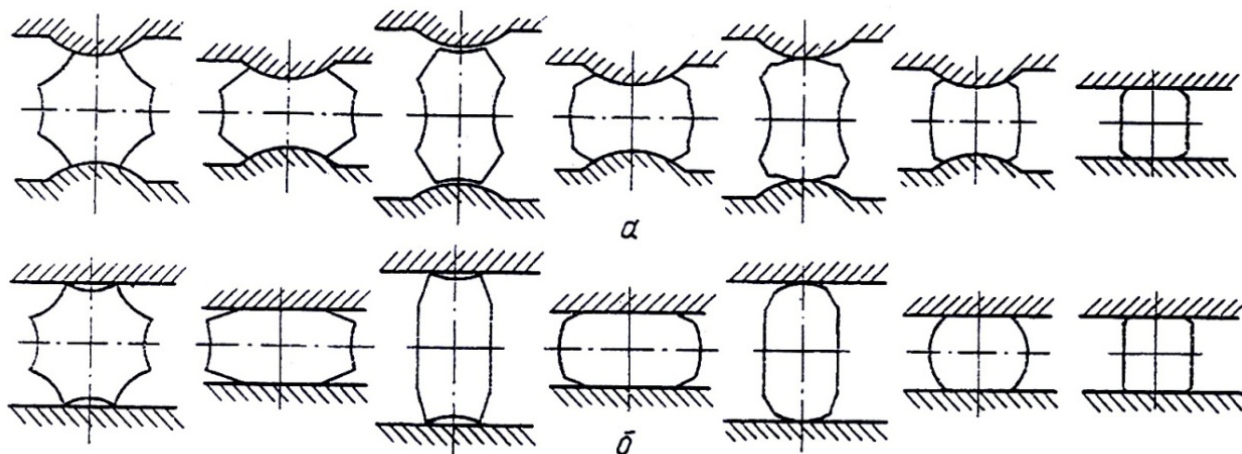


Рис. 26. Схематическое изображение контура поперечного сечения заготовки при протяжке между выпуклыми (а) и плоскими (б) бойками

Установлено, что поковка, откованная выпуклыми бойками, имеет неравномерность распределения деформаций примерно в 4 раза меньше, чем поковка, откованная плоскими бойками.

В работе А. П. Белова, В. А. Тюрина и А. Н. Дубкова [28] описано исследование поведения и степени закрытия осевого отверстия в поковках в зависимости от схемыковки, которая заключается в предварительном профилировании и последующей протяжке в комбинированных бойках. Суть способа заключается в обжатии заготовки выпуклыми бойками с кантовкой 12° на трехлучевую заготовку со степенью обжатия 15 %. Данный способ показал высокую эффективность закрытия искусственного дефекта в экспериментальных исследованиях.

В ранних работах И. Я. Тарновского, В. Н. Трубина, В. А. Шелохова [29, 30] рассмотрено влияние величины относительной подачи и обжатия заготовки плоскими бойками на ее напряженно-деформированное состояние и заковку внутренних дефектов в виде осевых пустот. В этих работах установлено, что при протяжке заготовок с малыми относительными подачами до 0,5 в центральной части заготовки возникают растягивающие напряжения, неблагоприятно влияющие на качество поковки; протяжка с относительной подачей более 0,6 приводит к появлению в центральной части заготовки всестороннего неравномерного сжатия. Кроме того, подача заготовки существенно влияет на распределение деформаций в ее продольном сечении, при малых подачах эта неравномерность меньше.

В этих работах также установлено влияние переходовковки, обусловленных определенной последовательностью кантовок, величиной обжатий и подач на напряженно-деформированное состояние заготовки. Так из схем перековки круглой заготовки на круг: круг – квадрат – квадрат – круг, круг – пластина – пластина – круг, круг – круг, наиболее эффективной для заковки внутреннего дефекта слитка является схемаковки через пластину со степенью деформации в одном направлении не менее 30–40 %.

Механический режимковки как параметр, которым возможно управлять напряженно-деформированным состоянием заготовки, имеет широкие и перспективные возможности. Так, используя стандартный инструмент, имеющийся практически на каждом предприятии, где осуществляетсяковка крупных поковок, задавая определенные параметрыковки, такие как подача, обжатие, кантовки, возможно получать в заготовках различные деформационные поля, иными словами, управлять деформационным полем. Кроме того, возможно профилирование заготовки, т. е. получение промежуточной формы заготовки, обуславливающей определенное НДС заготовки в процессековки. Несмотря на то что механические режимыковки исследовались и ранее, существуют и определенные белые пятна, так скажем, многие авторы отмечают, что практически невозможно получать однородное деформационное поле в заготовке, скажем при протяжке. Однако известным фактом является то, что протяжка с большими обжатиями и подачами приводит к существенной проработке центральной части заготовки, а малые обжатия и подачи к проработке периферийных слоев заготовки. Таким образом, сочетание этих режимов протяжки на определенных этапахковки наверняка позволит получить равномерное деформационное поле в заготовке.

Температурный фактор. Температурное поле.

Еще одним параметром, позволяющим управлять процессомковки, является температурное поле заготовки. В работе [31] В. А. Тюрин и А. В. Хабаров отметили, что поле температур в заготовке в значительной мере влияет на структуру очага деформации заготовки и, как следствие, на различное распределение деформаций.

Они исследовали процессковки, основой которого является то, что при охлаждении нагретой заготовки образуется наружный слой металла с более высокими характеристиками прочности, чем в осевой зоне заготовки. При соблюдении определенных температур во внешних и внутренних слоях заготовки, при обеспечении определенной толщины охлажденного слоя металла достигаются благоприятные условия напряженного состояния металла, в осевой зоне удачно сочетающиеся с сосредоточением в ней наибольших деформаций при ковке.

Ковка заготовок с подстуженной поверхностью должна осуществляться с небольшими единичными обжатиями, примерно равными 7 %. В. А. Тюрин, А. В. Хабаров и др. экспериментально показали эффективность данных способов ковки с точки зрения проработки центральной части заготовки. Г. А. Пименов в своей работе [32] отметил, что при ковке вала из стали 60ХН эффективным с точки зрения проковки осевой части заготовки и минимизации остаточных напряжений является деформирование охлажденной заготовки с небольшими обжатиями. Он приводит данные о деформировании заготовки с температурой поверхности 400–450 °С и температурой центральной части 700–750 °С с обжатиями 2–3 % от диаметра заготовки в вырезных бойках.

Температурный фактор обладает широкими возможностями в управлении НДС заготовки при ковке. В ранних работах отечественных ученых этот фактор слабо исследован из-за определенных проблем, связанных с математическим описанием неравномерного температурного поля в процессах ковки крупных поковок и учета его влияния на НДС заготовки. Однако современный математический инструментарий более совершенный и позволяет учитывать неравномерное температурное поле в заготовках в процессах ковки. Это обуславливает необходимость его исследования в сочетании с другими факторами управления НДС заготовки.

ВЫВОДЫ

Выделены основные факторы управления напряженно-деформированным состоянием заготовки в процессах ковки крупных поковок. К ним относятся фактор формы заготовки и инструмента, кинематический фактор в виде кинематики воздействия инструмента на заготовку и механического режима ковки и температурный фактор. В пределах каждого из факторов определены приемы, позволяющие управлять НДС заготовки.

Установлено, что большое внимание уделено исследованию процессов ковки заготовок инструментом различной формы, однако в большинстве случаев нет конкретных рекомендаций по расчету размеров инструмента для определенных условий ковки, режимов ковки. Кроме того, в литературе мало внимания уделено ковке слитков специальных конфигураций из-за невысокого их распространения на производстве.

Исследования сложной кинематики перемещения инструмента, ее влияния на НДС заготовки при ковке крупных поковок малочисленны из-за сложности ее реализации на практике. Так, широкое распространение нашла только лишь радиальная ковка в специальных машинах или устройствах, устанавливаемых на обычный гидравлический ковочный пресс. Интерес представляют новые схемы ковки со сложной кинематикой перемещения инструмента сложной конфигурации, которая может быть реализована в специальных штампах либо на специализированном оборудовании, что также может дать толчок в создании оборудования нового типа.

Исследование термомеханического режима ковки также заслуживает большого внимания, т. к. позволяет эффективно с минимальными затратами влиять на качество поковок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюрин В. А. Разновидности процессов кузнечной протяжки / В. А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2009. – № 9. – С. 5–8.
2. Охрименко Я. М. Повышение эффективности и качества работы в кузнечном производстве / Я. М. Охрименко // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2007. – № 8. – С. 1–7.
3. Соколов Л. Н. Усовершенствование технологии ковки комбинированными бойками / Л. Н. Соколов, Б. С. Каргин // Известия вузов. Черная металлургия. – 1974. – № 1. – С. 102–103.
4. Park C. Y. A study of void crushing in large forgings II. Estimation of bonding efficiency by finite-element analysis / C. Y. Park, D. Y. Yang // Journal of Materials Processing Technology. – 1997. – № 72. – P. 32–41.
5. Иванушкин П. Ф. Влияние формы бойков на интенсивность протяжки и распределение деформаций / П. Ф. Иванушкин, Б. С. Каргин // Известия вузов. Черная металлургия. – 1971. – № 1. – С. 96–100.

6. *Modelling of shape anvils in free hot forging of long products* / H. Dyja, G. Banaszek, S. Mr.oz, S. Berski // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2004. – № 157–158. – P. 131–137.
7. *Banaszek G. A comprehensive numerical analysis of the effect of relative feed during the operation of stretch forging of large ingots in profiled anvils* / G. Banaszek, P. Szota // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2005. – № 169. – P. 437–444.
8. *Banaszek G. Theoretical and laboratory modelling of the closure of metallurgical defects during forming of a forging* / G. Banaszek, A. Stefanik // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2006. – № 177. – P. 238–242.
9. *Effect of symmetrical and asymmetrical forging processes on the quality of forged products* / H. Dyja, G. Banaszek, S. Berski, S. Mr.oz // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2004. – № 157–158. – P. 496–501.
10. *Banaszek G. Numerical Analysis of the Torsion Stretch Forging Operation in Asymmetric Anvils* / G. Banaszek, S. Berski., H. Dyja // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2011. – № 7. – P. 98–101.
11. А. с. 774756 СССР, МКИ В 21 J 13/22. Комбинированные бойки / А. В. Котелкин, В. А. Петров (СССР). – № 2715513; заявл. 23.01.79; опубл. 30.10.80; Бюл. № 40.
12. А. с. 471143 СССР, МКИ В 21 J 13/22. Инструмент дляковки металлов и сплавов / Л. В. Прозоров, Г. А. Пименов, А. А. Костава (СССР). – № 1870592; заявл. 11.01.73; опубл. 25.05.75; Бюл. № 19.
13. А. с. 442878 СССР, МКИ В 21 J 13/02. Кузнечный инструмент / Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин, С. Д. Баранов (СССР). – № 1623639; заявл. 01.03.71; опубл. 15.09.74; Бюл. № 34.
14. А. с. 428841 СССР, МКИ В 21 J 13/02. Инструмент дляковки металлов и сплавов / Я. М. Охрименко, В. Н. Лебедев, В. А. Тюрин, В. П. Барсуков (СССР). – № 1848771; заявл. 23.11.72; опубл. 25.05.74; Бюл. № 19.
15. А. с. 393018 СССР, МКИ В 21 J 13/02. Инструмент дляковки / Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин, Ю. И. Мищенков, М. С. Экарев (СССР). – № 1643794; заявл. 30.03.71; опубл. 10.08.73; Бюл. № 33.
16. Охрименко Я. М. Исследование процесса протяжки с непрямолинейным фронтом подачи / Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин, В. П. Барсуков // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 1971. – № 3. – С. 79–82.
17. А. с. 339089 СССР, МКИ В 21 J 13/02. Устройство дляковки заготовок / Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин (СССР). – № 1666176; заявл. 17.06.71; опубл. 30.03.79; Бюл. № 12.
18. Условия развития сдвиговых деформаций приковке заготовок в ступенчатых бойках / В. К. Воронцов, А. Б. Найзабеков, А. В. Котелкин, В. А. Петров // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 1987. – № 5. – С. 50–53.
19. Ковка поковок прямоугольного сечения и заготовок штамповых кубиков / А. Б. Найзабеков, А. В. Котелкин, В. А. Петров, В. К. Воронцов, Б. О. Темкин, В. Ф. Касатонов // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1990. – № 10. – С. 4–6.
20. Найзабеков А. Б. Анализ деформированного состояния и качества заготовок приковке / А. Б. Найзабеков, В. В. Исаенко // *Известия вузов. Черная металлургия*, 1998. – № 2. – С. 17–20.
21. Машеков С. А. Исследование деформированного состояния заготовок приковке в вырезных и комбинированных бойках / С. А. Машеков // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 1995. – № 4. – С. 36–39.
22. Марченко И. К. Опытковки понунепрерывнолитых слитков в бойках специальной конструкции / И. К. Марченко, Ю. С. Холодняк, Н. Л. Ярмач // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1989. – № 11. – С. 26–27.
23. Тюрин В. А. Инновационные технологииковки / В. А. Тюрин // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2006. – № 5. – С. 27–29.
24. Пат. 2240199 РФ, МКИ В 21 J 13/02. Инструмент для радиальнойковки / Володин А. М., Конев Л. Г., Лазоркин В. А. – № 2003110916/02; заявл. 16.04.2003; опубл. 20.11.2004.
25. А. с. 564075 СССР, МКИ В 21 J 13/02. Инструмент дляковки металла / В. М. Сегал, Д. А. Павлик (СССР). – № 2320449; заявл. 09.02.76; опубл. 05.07.77; Бюл. № 25.
26. Сегал В. М. Технологические особенностиковки-протяжки с продольным сдвигом бойков / В. М. Сегал, В. И. Резников, Д. А. Павлик // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1980. – № 11. – С. 8–10.
27. Улучшение качества метала при продольнойковке / Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин, В. Н. Лебедев, А. И. Гринюк // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 1971. – № 4. – С. 96–99.
28. Белова Л. П. Влияние схемыковки на деформирование центральных слоев заготовки / Л. П. Белова, В. А. Тюрин, А. Н. Дубков // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 1962. – № 5. – С. 70–74.
29. Ковка крупных поковок. Часть 2 / под ред. В. Н. Трубина, В. А. Шелехова. – М. : Машиностроение, 1965. – 295 с.
30. Тарновский В. Н. Свободнаяковка на прессах / И. Я. Тарновский, В. Н. Трубин, М. Г. Златкин. – М. : Машиностроение, 1967. – 328 с.
31. Технологические особенностиковки заготовок с неоднородным температурным полем / В. А. Тюрин, А. В. Храбров, В. Н. Дубков, Л. П. Белова // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 1980. – № 9. – С. 96–99.
32. Пименов Г. А. Исследование условийковки крупных поковок из стали 60ХН : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 / Пименов Г. А. – М., 1968. – 213 с.