

И.С. Алиев, Я.Г. Жбанков, А.В. Периг
I.S. Aliiev, I.G. Zhbankov, A.V. Perig

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина
Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПАРАМЕТРЫ КОВКИ КРУПНЫХ ПОКОВОК

FACTORS INFLUENCING FORGING PROCESS PARAMETERS

Предложена классификация факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние заготовки в процессековки крупных поковок. Выделен фактор формы в виде формы инструмента и исходной заготовки, кинематический фактор, который обуславливается кинематикой воздействия инструмента на заготовку и механическим режимомковки, и температурный фактор в виде температурного поля и температурного состояния заготовки как наиболее существенные. Установлены известные приемыковки в пределах каждого из факторов, используемые на производстве. Определена степень изученности каждого из факторов и направление дальнейших исследований по созданию новых приемовковки крупных поковок, позволяющих эффективно управлять напряженно-деформированным состоянием заготовки.

Ключевые слова: ковка, протяжка, классификация, инструмент, слиток, движение, температурное поле, механический режим.

Classification of factors which influence the stress-strain conditions of a billet during forging processes was proposed. The approach was to determine the relative significance of shape factor which involves tool shape and initial billet shape, the kinematic factor which is defined by the kinematics of impact tools on the billet and the mechanical regime of the forging process and the temperature factor, involving the temperature field and temperature state of the billet. The well known techniques which are used in manufacturing were considered within the limits of each of these factors. The volume of research which was devoted to each of the factors was determined along with the direction of further research in the development of new heavy forging techniques which are managed by the stress-strain state of the billet with high efficiency.

Keywords: forging, cogging, classification, tools, ingot, movement, temperature field, mechanical regime.

Классификации процессовковки поковок позволяют определиться с направлением дальнейших исследований, выявить неисследованные и перспективные приемыковки. Составлением классификаций занимались Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин и др. [1, 2]. Однако эти классификации были неполными и заключались в основном в разделении процессовковки 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 процессековки, 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. Существует большое количество инструмента дляковки заготовки: 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 процессековки будет различным. Применение того или иного инструмента обусловлено материалом исходной заготовки, его качеством, формой и необходимыми свойствами конечного изделия.

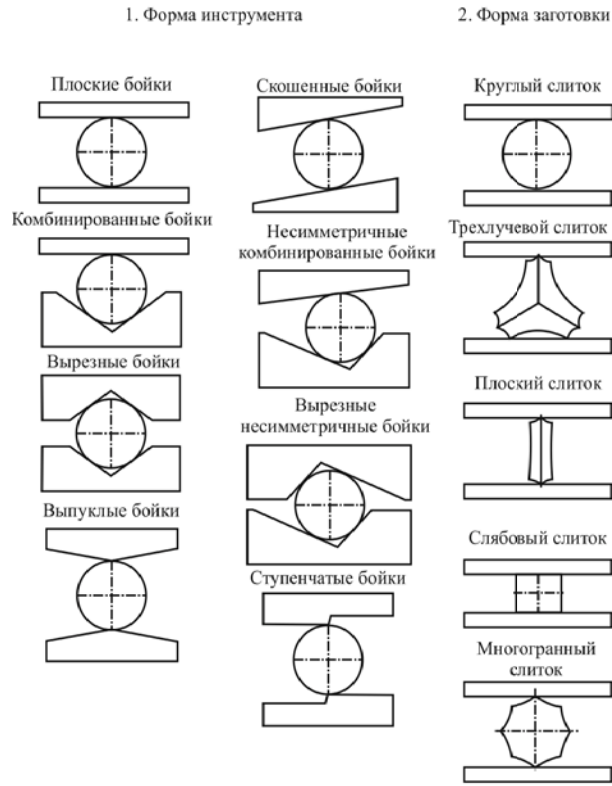
Существуют и заготовки различных форм дляковки: это заготовки круглого сечения, например полученные в машинах непрерывного литья, это многогранные кузнечные слитки, слябовые слитки, трехлучевые слитки, плоские слитки и т.д. Все рассмотренные слитки, кроме того что имеют различное внутреннее строение (различную химическую, структурную ликвацию), обуславливают различное НДС приковке одним и тем же инструментом.

Кинематический фактор определяется кинематикой воздействия инструмента на заготовку и механическим режимомковки заготовки. Наиболее распространенной кинематикой движения инструмента приковке крупных поковок, а следовательно, воздействием на заготовку, является линейное вертикальное перемещение деформирующего инструмента, которое реализуется на гидравлических ковочных прессах и ковочных молотах. Также достаточно часто встречается всестороннее обжатие заготовки, которое присуще радиально-ковочным машинам и устройствам. Такая кинематика движения инструмента обуславливает всестороннее сжатие заготовки и применяется приковке заготовок из малопластичных материалов для получения поковок с малыми припусками. Кроме того, встречается и трехстороннее движение инструмента приковке коленчатых валов, здесь совмещается вертикальное и горизонтальное движение инструмента.

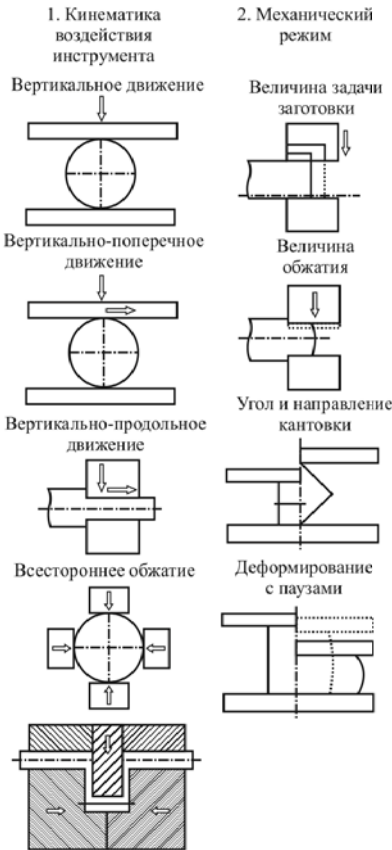
Сложная кинематика перемещения деформирующего инструмента встречается очень редко, из-за сложности ее реализации. Различная кинематика движения инструмента обеспечивает и различное течение металла, и форму получаемого изделия.

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.

I. Фактор формы



II. Кинематический фактор



III. Температурный фактор

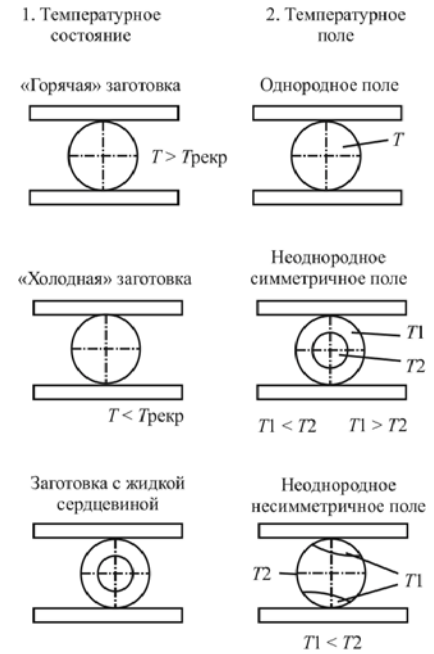


Рис. 1. Приемы ковки, позволяющие управлять напряженно-деформированным состоянием заготовки

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 может быть 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 процесс ковки и на параметры качества получаемых изделий. Сочетание данных факторов позволит получить управляемые процессы ковки крупных поковок, обеспечивающие требуемые параметры получаемых изделий.

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

Фактор формы. Форма инструмента. На течение металла при ковке, его деформированное состояние влияет множество факторов, основными из которых являются форма инструмента, заготовки, режим ковки, температурное поле заготовки и т.д. Исследованию данных факторов уделено внимание как отечественными, так и зарубежными учеными. Так, в работе [3] Л.Н. Соколовым и Б.С. Каргиным проведено исследование ковки в комбинированных бойках. Одной из традиционных схем ковки является ковка в комбинированных бойках с незначительными обжатиями до 15 % и кантовками на угол 23–30°. Предложен способ, заключающийся в максимально допустимом обжатии заготовки и кантовки на 180° и 90°. Установлено, что предлагаемый процесс позволяет значительно снизить количество обжатий заготовки при ее ковке и повысить проработку центральной зоны заготовки.

Корейские ученые С.У. Park и D.У. Yang также изучали процесс ковки в комбинированных бойках. Они исследовали процесс закрытия внутренних пустот заготовки при ковке комбинированными бойками – верхний вырезной, нижний плоский [4]. В их работе отмечено, что протяжка является наиболее важной операцией ковки 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 врезные бойки, их влияние на интенсивность протяжки и распределение деформации. Исследование проводили на заготовках из стали 35, ковку осуществляли в температурном интервале 900–1230 °С. Установили, что существенное влияние на интенсивность протяжки оказывает угол выреза бойков. Так, с увеличением угла от 90° до 180° интенсивность протяжки будет уменьшаться в четыре раза для вырезных и в два 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 поверхностные слои, вглубь заготовки деформация не распространяется. 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.

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.

Большое внимание уделено и исследованию специальных конструкций бойков, их влиянию на параметрыковки. В работе [6] ученые Н. Дуја, G. Vapaszek и др. провели моделирование операции протяжки бойками специальной формы – вырезными радиусными и трапецеидальными (рис. 2). 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.

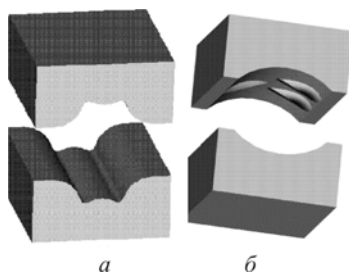


Рис. 2. Бойки: а – трапецеидальные вырезные бойки;
б – радиальные вырезные бойки

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

В работе [8, 9] 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 трапецидальных (см. рис. 2). На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлено, что использование профилированных бойков способствует уменьшению в заготовке внутренних дефектов в виде несплошностей и уменьшению неоднородности распределения деформаций по сечению заготовки. Отмечено, что данные бойки имеют преимущество перед традиционно используемыми на польских предприятиях плоскими, вырезными и комбинированными. Ученые также установили, что асимметрия формы бойков благоприятно влияет на закрытие металлургических дефектов уже на начальной стадииковки.

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. 3). Они установили, что протяжка, проводимая в ассиметричных бойках, обеспечивает лучшее качество поковок в сравнении с широко распространенными формами бойков.

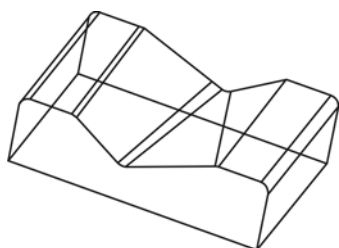


Рис. 3. Схема вырезного бойка асимметричной формы

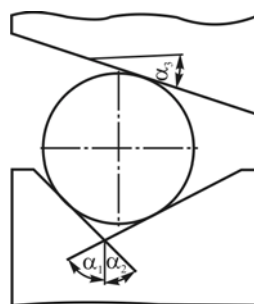


Рис. 4. Схема специальных комбинированных бойков

Отечественными 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. 4) 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.

Л.В. Прозоров, Г.А. Пименов и др. также предложили специальную конструкцию вырезных бойков дляковки [12]. Верхний и нижний бойки выполнены вырезными, их рабочие поверхности расположены под разными углами к оси, проходящей через вершину угла выреза. При ковке данным инструментом, по предположению авторов, максимально однородно прорабатывается структура поковок.

Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин и С.Д. Баранов предложили ступенчатые скрещивающиеся бойки [13]. В данном инструменте деформирующие участки расположены по вершинам выступов и основаниям впадин параллельно один другому и осиковки. Выступы одного бойка расположены напротив впадин другого бойка. Это обеспечивает повышение качества поковок. При рабочем ходе инструмента выступы обжимают лишь часть поперечного сечения заготовки. Затем заготовка деформируется участками бойка в виде впадин. В результате обеспечивается последовательное перемещение границ очага деформации по поперечному сечению заготовки и дробность обжатий заготовки по ее контактной поверхности, что повышает качество поковок.

Я.М. Охрименко, В.Н. Лебедев, В.А. Тюрин и В.П. Барсуков предложили специальный инструмент дляковки [14] в виде вырезного несимметричного бойка. Ковка такими бойками обеспечивает перераспределение зон локализованной и заторможенной деформации, а следовательно, улучшает проработку литой дендритной структуры.

Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин и др. предложили скошенные бойки со скрещивающимися рабочими поверхностями [15]. Инструмент содержит верхний и нижний вырезные бойки. Боковые рабочие поверхности каждого бойка расположены крест-накрест. Заготовку подают под бойки и обжимают в вертикальном направлении. При воздействии на заготовку такими бойками происходит пластический сдвиг поворотом одной части очага деформации

относительно другой, что позволяет избежать однонаправленного волоконно-образования, а также снизить анизотропию металла поковки и улучшить проработку металла в зонах затрудненной деформации.

Я.М. Охрименко и В.А. Тюрин предложили процесс протяжки с непрямолинейным фронтом подачи [16, 17]. Они установили, что при ковке квадратной заготовки плоскими бойками образуются две пары плоскостей максимальных сдвигов, локализующихся попарно. 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.

Я.М. Охрименко и В.А. Тюрин также установили, что для интенсификации процесса протяжки и улучшения проработки металла целесообразно увеличивать количество и поверхность плоскостей сдвига, т.е. усилить сдвиговую деформацию по объему проковываемого металла. Для достижения данной цели они предложили использовать бойки специальной формы, обеспечивающие непрямолинейный фронт подачи заготовки. 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.

В.К. Воронцов, А.Б. Найзабеков и др. в своей работе [18] проводили исследования способаковки заготовок ступенчатыми в продольном сечении бойками (рис. 5) и определяли условия развития сдвиговых деформаций. Они отметили, что с использованием ступенчатых бойков возможно 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 (см. рис. 5). Для оценки влияния новой схемы деформирования на формирование структуры металла и распределение механических свойств в объеме металла поковки 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. Эти преимущества получены за счет развитых в объеме заготовки при небольших уковах сдвиговых деформаций. Авторы установили, что процесс ковки 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.

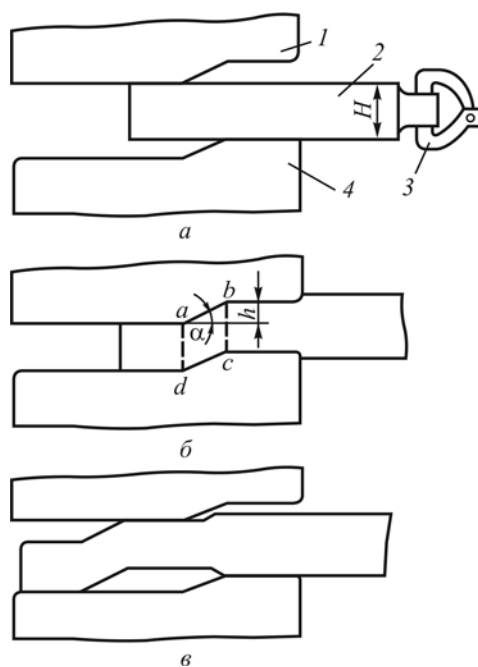


Рис. 5. Схема ковки в бойках со ступенчатой рабочей поверхностью:
а, б, в – этапы ковки; *1* – верхний боек; *2* – заготовка;
3 – клещи манипулятора; *4* – нижний боек

В работе [20] А.Б. Найзабеков и В.В. Исаенко предложили использовать для ковки 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. 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.

Специальные формы бойков также рассмотрены в работе [22] И.К. Марченко, Ю.С. Холодняка и Н.Л. Ярмака. Авторы оценивали эффективность применения в ковке полунепрерывнолитых слитков, ряда конструкций бойков. 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 (рис. 6). Ширина бойков 320 мм, величина относительной подачи при ковке 0,5–0,7, относительные обжатия за ход прессы не превышали 20 %.

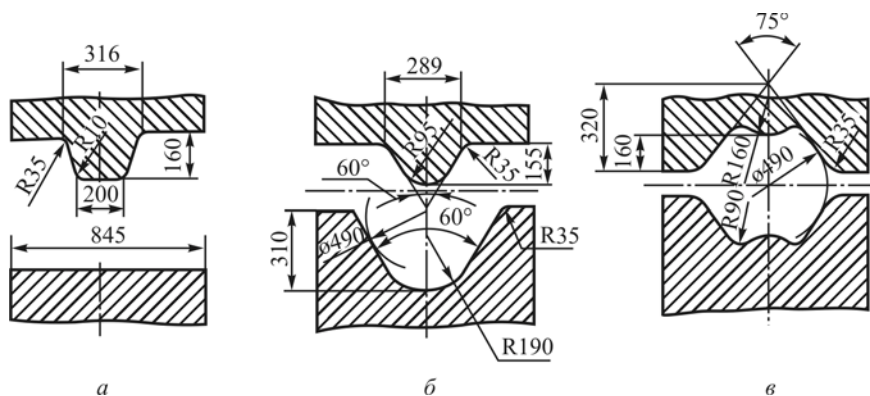


Рис. 6. Конструкция специальных бойков: *а* – плоские; *б* – комбинированные; *в* – вырезные

Ковка включала в себя 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.

Результаты исследований ковального металла показали, что качество всех сравниваемых ступеней поковок приблизительно одинаково. Различия носили бессистемный характер и были, по-видимому, следствием неоднородности металла по длине слитка. Таким образом, приведенные в работе вариантыковки с использованием бойков с выступами, внедряемыми в заготовку, не обладают заметными преимуществами по сравнению с обычными плоскими и комбинированными бойками.

Форма заготовки. Кроме конструкции инструмента на течение металла при ковке и качество поковок оказывает влияние форма исходной заготовки. В работе [23] В.А. Тюрин привел различные типы форм заготовок дляковки крупных поковок и указал на эффективность применения таких заготовок для получения различных поковок. Он рассмотрел восьмигранный, плоский и трехлепестковый слитки. Автор 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 укове 1,5.

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 невысокого 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 нетрадиционной формы, применение которого потенциально служит совершенствованию 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. 7) [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.

В.М. Сегал и Д.А. Павлик предложили инструмент дляковки металла, с продольным сдвигом заготовки [25, 26]. Инструмент, в котором верхний бок движется в двух направлениях (горизонтальном и вертикальном), позво-

ляет повысить производительность работ и улучшить качество проработки металла. Бойки 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. 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.

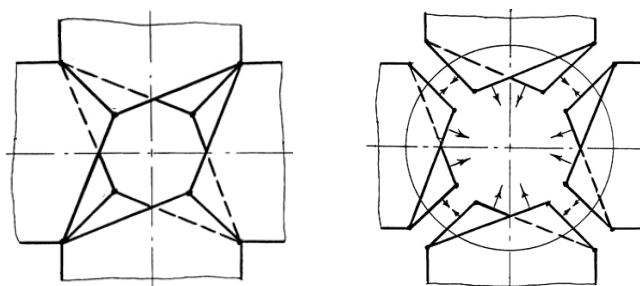


Рис. 7. Схема инструмента для радиальнойковки

Указанные особенности определяются относительно слабым влиянием контактного трения для высоких полос и перестройкой очага деформации за счет сдвига бойков. Анализ данной схемыковки показал, что обжатие с продольным сдвигом наиболее целесообразно при относительной подаче, равной 1, и при соотношении вертикальной и горизонтальной скоростей, равном 1.

Кроме того, известны схемыковки со сложной кинематикой движения инструмента для получения поковок кривошипных валов, где вертикальное движение траверсы пресса с главным деформирующим инструментом совмещается с горизонтальным перемещением дополнительного инструмента для вытяжки. Для такого способаковки применяются специальные штампы. Исследования сложной кинематики перемещения инструмента и ее влияния на напряженно-деформированное состояние заготовки при ковке крупных поковок малочисленны из-за сложности ее реализации на практике. Так, широкое распространение нашла лишь радиальнаяковка 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 для создания 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 объема поковки. 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. 8), плоскими и выпуклыми бойками с уковами 2,5 и 6.

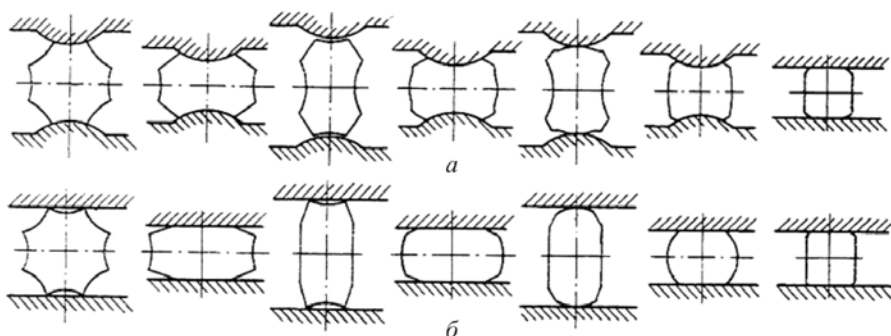


Рис. 8. Контур поперечного сечения заготовки при протяжке между выпуклыми (а) и плоскими (б) бойками

Установлено, что поковка, откованная выпуклыми бойками, имеет неравномерность распределения деформаций примерно в четыре раза меньшую, 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 120° 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 поковок, 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 переходов ковки, 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 эффективна для заковки внутреннего дефекта слитка схема ковки через пластину со степенью деформации в одном направлении не менее 30–40 %.

Механический режим ковки как параметр, с помощью которого возможно управлять напряженно-деформированным состоянием заготовки, имеет широкие возможности. Так, используя стандартный инструмент, имеющийся практически на каждом предприятии, где осуществляется ковка крупных поковок, возможно, задавая определенные параметры ковки, такие как подача, обжатие, кантовка, 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 процессе ковки. Несмотря на то что механические режимы ковки исследовались и ранее, существуют и определенные белые пятна. 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 этапах ковки, как ожидается, позволит получить равномерное деформационное поле в заготовке.

Температурный фактор. Температурное поле. Еще одним параметром, позволяющим управлять процессом ковки, 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 деформа-

ции заготовки и, как следствие, различное распределение деформаций. Они исследовали процессковки, основой которого является то, что при охлаждении нагретой заготовки образуется наружный слой металла с лучшими характеристиками прочности по сравнению с характеристиками осевой зоны заготовки. При соблюдении определенных температур во внешних и внутренних слоях заготовки, обеспечении определенной толщины охлажденного слоя металла достигаются благоприятные условия напряженного состояния металла в осевой зоне, удачно сочетающиеся со 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 способовковки 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 процессахковки крупных поковок и учета его влияния на НДС заготовки. Однако современный математический инструментарий более совершенный и позволяет учитывать неравномерное температурное поле в заготовках в процессахковки. Это обуславливает необходимость его исследования в сочетании с другими факторами управления НДС заготовки.

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

Большое внимание уделено исследованию процессовковки заготовок инструментом различной формы, однако в большинстве случаев нет рекомендаций по расчету размеров инструмента для конкретных условийковки, режимовковки. Кроме того, в литературе мало внимания уделено ковке слитков специальных конфигураций, из-за невысокого их распространения на производстве.

Исследования сложной кинематики перемещения инструмента и ее влияния на НДС заготовки при ковке крупных поковок малочисленны из-за сложности ее реализации на практике. Широкое распространение нашла 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 для создания оборудования нового типа.

Исследование термомеханического режимаковки также заслуживает большего внимания, так как позволяет эффективно, с минимальными затратами влиять на качество поковок.

Список литературы

1. Тюрин В.А. Разновидности процессов кузнечной протяжки // Кузнечно-штамповочное производство. – 2009. – № 9. – С. 5–8.

2. Охрименко Я.М. Повышение эффективности и качества работы в кузнечном производстве // Кузнечно-штамповочное производство. – 2007. – № 8. – С. 1–7.

3. Соколов Л.Н., Каргин Б.С. Усовершенствование технологииковки комбинированными бойками // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1974. – № 1. – С. 102–103.

4. Park C.Y., Yang D.Y. A study of void crushing in large forgings II. Estimation of bonding efficiency by finite-element analysis // Journal of Materials Processing Technology. – 1997. – № 72. – P. 32–41.

5. Иванушкин П.Ф., Каргин Б.С. Влияние формы бойков на интенсивность протяжки и распределение деформаций // Изв. 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. Mroz, S. Berski // Journal of Materials Processing Technology. – 2004. – № 157–158. – P. 131–137.

7. Banaszek G., Szota P. A comprehensive numerical analysis of the effect of relative feed during the operation of stretch forging of large ingots in profiled anvils // Journal of Materials Processing Technology. – 2005. – № 169. – P. 437–444.

8. Banaszek G., Stefanik A. Theoretical and laboratory modelling of the closure of metallurgical defects during forming of a forging // 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. Mroz // Journal of Materials Processing Technology. – 2004. – № 157–158. – P. 496–501.

10. Banaszek G., Berski S., Dyja H. Numerical Analysis of the Torsion Stretch Forging Operation in Asymmetric Anvils // Metallurgical and Mining Industry. – 2011. – № 7. – P. 98–101.

11. Комбинированные бойки: а.с. 774756 СССР: МКИ В 21 J 13/22 / А.В. Котелкин, В.А. Петров (СССР). – № 2715513; заявл. 23.01.79; опубл. 30.10.80, Бюл. № 40.

12. Инструмент дляковки металлов и сплавов: а.с. 471143 СССР: МКИ В 21 J 13/22 / Л.В. Прозоров, Г.А. Пименов, А.А. Костава (СССР). – № 1870592; заявл. 11.01.73; опубл. 25.05.75, Бюл. № 19.

13. Кузнечный инструмент: а.с. 442878 СССР: МКИ В 21 J 13/02 / Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин, С.Д. Баранов (СССР). – № 1623639; заявл. 01.03.71; опубл. 15.09.74, Бюл. № 34.

14. Инструмент дляковки металлов и сплавов: а.с. 428841 СССР, МКИ В 21 J 13/02 / 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. Инструмент дляковки: а.с. 393018 СССР: МКИ В 21 J 13/02 / Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин, Ю.И. Мищенко, М.С. Экарев (СССР). – № 1643794; заявл. 30.03.71; опубл. 10.08.73, Бюл. № 33.

16. Охрименко Я.М., Тюрин В.А., Барсуков В.П. Исследование процесса протяжки с непрямолинейным фронтом подачи // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1971. – № 3. – С. 79–82.

17. Устройство дляковки заготовок: а.с. 339089 СССР: МКИ В 21 J 13/02 / 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. Котёлкин, В.А. Петров // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1987. – № 5. – С. 50–53.

19. Ковка поковок прямоугольного сечения и заготовок штамповых кубиков / А.Б. Найзабеков [и др.] // Кузнечно-штамповочное производство. – 1990. – № 10. – С. 4–6.

20. Найзабеков А.Б., Исаенко В.В. Анализ деформированного состояния и качества заготовок приковке // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1998. – № 2. – С. 17–20.

21. Машеков С.А. Исследование деформированного состояния заготовок приковке в вырезных и комбинированных бойках // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1995. – № 4 – С. 36–39.

22. Марченко И.К., Холодняк Ю.С., Ярмач Н.Л. Опытковки полунепрерывнолитых слитков в бойках специальной конструкции // Кузнечно-штамповочное производство. – 1989. – № 11. – С. 26–27.

23. Тюрин В.А. Инновационные технологииковки // Кузнечно-штамповочное производство. – 2006. – № 5 – С. 27–29.

24. Инструмент для радиальной ковки: пат. 2240199 Рос. Федерация, МКИ В 21 J 13/02 / А.М. Володин, Л.Г. Конев, В.А. Лазоркин. – № 2003110916/02; заявл. 16.04.2003; опубл. 20.11.2004.

25. Инструмент дляковки металла: а.с. 564075 СССР: МКИ В 21 J 13/02 / В.М. Сегал, Д.А. Павлик (СССР). – № 2320449; заявл. 09.02.76; опубл. 05.07.77, Бюл. № 25.

26. Сегал В.М., Резников В.И., Павлик Д.А. Технологические особенностиковки-протяжки с продольным сдвигом бойков // Кузнечно-штамповочное производство. – 1980. – № 11. – С. 8–10.

27. Улучшение качества металла при продольной ковке / Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин, В.Н. Лебедев, А.И. Гринюк // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1971. – № 4. – С. 96–99.

28. Белова Л.П., Тюрин В.А., Дубков А.Н. Влияние схемыковки на деформирование центральных слоев заготовки // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1962. – № 5. – С. 70–74.

29. Ковка крупных поковок. Ч. 2 / под ред. В.Н. Трубина, В.А. Шелехова. – М.: Машиностроение, 1965. – 295 с.

30. Тарновский В.Н., Трубин В.Н., Златкин М.Г. Свободная ковка на прессах. – 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 // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1980. – № 9. – С. 96–99.

32. Пименов Г.А. Исследование условийковки крупных поковок из стали 60ХН: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1968. – 213 с.

Получено 15.02.2013

Алиев Играмотдин Серажутдинович – доктор технических наук, профессор, Донбасская государственная машиностроительная академия (84313, Украина, Донецкая область, г. Краматорск, ул. Шкадинова, 72, e-mail: pnir@digma.donetsk.ua).

Жбанков Ярослав Геннадьевич – кандидат технических наук, старший преподаватель, Донбасская государственная машиностроительная академия (84313, Украина, Донецкая область, г. Краматорск, ул. Шкадинова, 72, e-mail: yzhbankov@gmail.com).

Периг Александр Викторович – кандидат технических наук, старший преподаватель, Донбасская государственная машиностроительная академия (84313, Украина, Донецкая область, г. Краматорск, ул. Шкадинова, 72, e-mail: alexander.perig@digma.donetsk.ua, olexander.perig@gmail.com).

Aliiev Igramotdin Serazhutdinovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Donbass State Engineering Academy (84313, Ukraine, Donetsk region, Kramatorsk, Shkadinova st., 72, e-mail: pnir@dgma.donetsk.ua).

Zhbankov Iaroslav Gennadyevich – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Donbass State Engineering Academy (84313, Ukraine, Donetsk region, Kramatorsk, Shkadinova st., 72, e-mail: yzhbankov@gmail.com).

Perig Alexander Viktorovich – Candidate of in Technical Sciences, Senior Lecturer, Donbass State Engineering Academy (84313, Ukraine, Donetsk region, Kramatorsk, Shkadinova st., 72, e-mail: alexander.perig@dgma.donetsk.ua, olexander.perig@gmail.com).