

РАЗДЕЛ II ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.735.3

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

УПРАВЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫМ СОСТОЯНИЕМ ЗАГОТОВКИ В ПРОЦЕССАХ КОВКИ КРУПНЫХ ПОКОВОК

Для выявления неисследованных и перспективных приемов ковки, позволяющих снизить себестоимость изделий или повысить их качество, а также для определения направления дальнейших исследований в области ковки, необходима классификация процессов ковки поковок [1]. Классификацией процессов ковки ранее занимались Охрименко Я. М., Тюрин В. А. и др. [1, 2], но известные классификации являются не полными и включают в себя в основном разделение процессов ковки по форме применяемого инструмента и видам заготовки. Для определения направлений исследований необходимо создание более полной классификации процессов ковки крупных поковок на основе учета более широкого круга факторов [3].

Целью данной работы является создание классификации способов ковки по различным факторам, влияющим на напряженно-деформированное состояние (НДС) заготовки в процессе ковки, определение уровня исследованности каждого из факторов и перспективных путей дальнейших исследований процессов ковки, обеспечивающих контролируемое получение заданных свойств конечного изделия.

Большое влияние на качество поковки оказывает напряженно-деформированное состояние. 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. Существует большое количество инструментов для ковки заготовок (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 в каждом случае 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 (заготовки круглого сечения, например, полученные в машинах непрерывного литья, 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, подвергается деформированию, может быть нагрета выше температуры рекристаллизации (это подавляющее большинство процессовковки 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.

Фактор формы. Форма инструмента. На течение металла при ковке, 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 [4] Л. Н. Соколовым и Б. С. Каргиным проведено исследованиековки в комбинированных бойках. Одной из традиционных схемковки 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. Предлагаемый способ позволяет значительно повысить проработку центральной части заготовки.

Корейские ученые С. У. Park и D. У. Yang также исследовали процессковки в комбинированных бойках. Они исследовали процесс закрытия внутренних пустот заготовки при ковке комбинированными бойками – верхний вырезной, нижний плоский [5]. В их работе отмечено, что протяжка является наиболее важной операциейковки для закрытия внутренних дефектов металлургического происхождения заготовки. Показали, 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 [6] рассмотрели комбинированные и врезные бойки, их влияние на интенсивность протяжки и распределение деформаций. Исследование проводили на заготовках из стали 35, ковку осуществляли в температурном интервале 900 °С–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 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 %.

Управление НДС заготовки при ковке крупных поковок

I Фактор формы

II Кинематический фактор

III. Температурный фактор

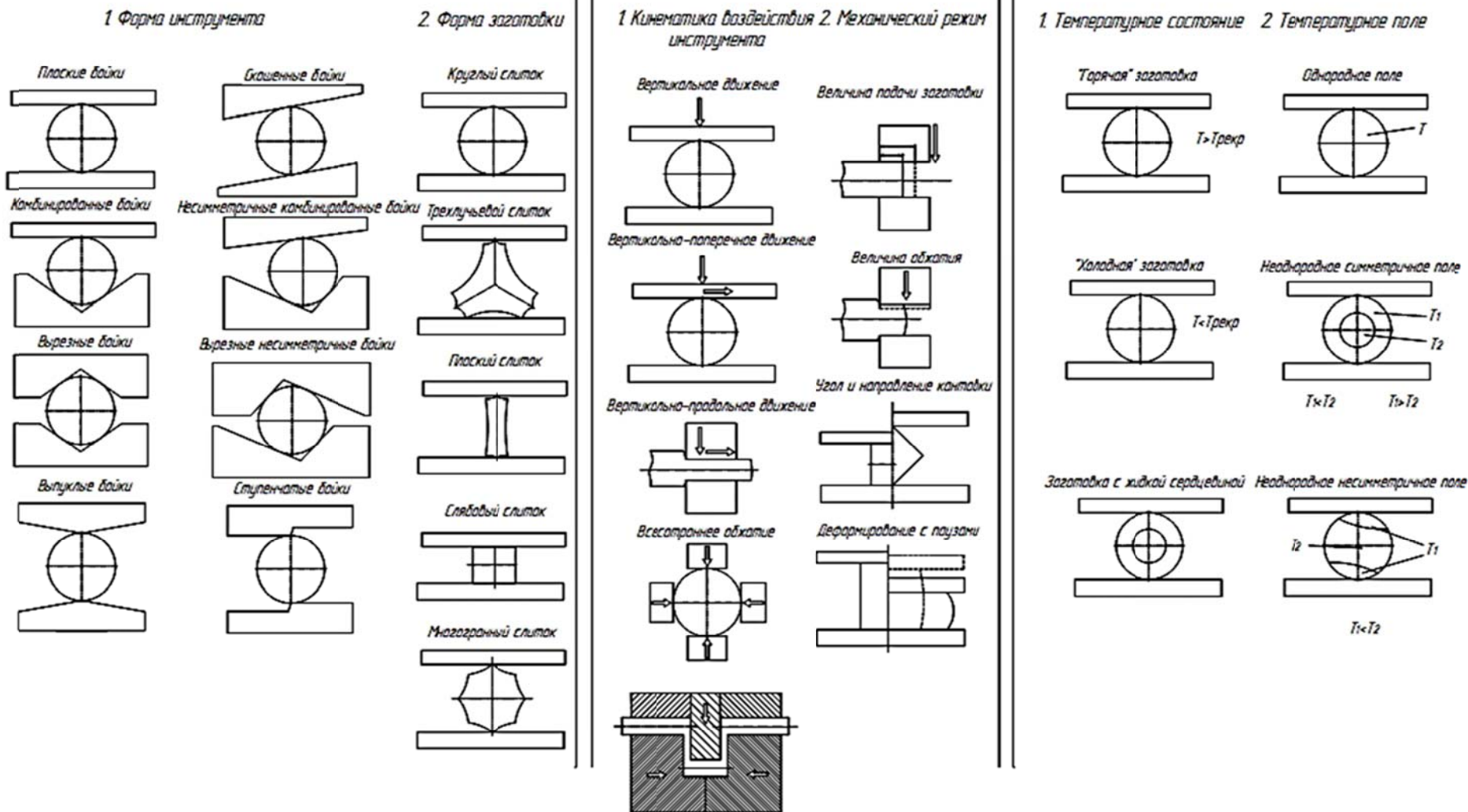


Рис. 1. Приемыковки, позволяющие управлять напряженно-деформированным состоянием заготовки

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. 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 [7] ученые Н. Дуја, G. Banaszek и др. провели моделирование операции протяжки бойками специальной формы – вырезными радиусными и трапецеидальными. 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. В работе [8] 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. Было 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.

В работе [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 трапецеидальных. 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.

Исследователями также было предложено немало специальных конструкций бойков дляковки крупных поковок. Так А. В. Котелкин и В. А. Петров предложили устройство несимметричных комбинированных бойков [10]. 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 с несимметричным вырезом [11].

Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин и С. Д. Баранов предложили ступенчатые скрещающиеся бойки [12]. 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 при ковке повышение качества поковок. 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.

Я. М. Охрименко, В. Н. Лебедев, В. А. Тюрин и В. П. Барсуков предложили специальный инструмент дляковки [13] в виде вырезного несимметричного бойка. 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. При обжатии слитка инструментом, у которого рабочие поверхности одного из бойков расположены под разными углами к оси, проходящей через вершину угла выреза, образуются зоны локализованной и заторможенной деформации в несимметричных местах относительно указанной оси.

Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин и другие предложили скошенные бойки со скрещивающимися рабочими поверхностями [14]. Инструмент содержит верхний и нижний вырезные бойки. Боковые рабочие поверхности каждого бойка расположены крест-накрест. Заготовку подают под бойки и обжимают в вертикальном направлении. Одновременно с единичным высотным обжатием заготовки данными бойками производится 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.

Я. М. Охрименко и В. А. Тюрин в работе [15] предложили процесс протяжки с непрямолинейным фронтом подачи. Они установили, что при ковке квадратной заготовки плоскими бойками образуются две пары плоскостей максимальных сдвигов, локализующихся 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.

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

В. К. Воронцов, А. Б. Найзабеков и др. в своей работе [17] проводили исследования способаковки заготовок ступенчатыми в продольном сечении бойками 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 [18, 19] А. Б. Найзабеков, А. В. Котёлкин, В. А. Петров и другие исследовали процессковки заготовок штамповых кубиков в бойках со ступенчатой рабочей поверхностью. 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 балл 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 работе С. А. Машекова [20] представлено исследование напряженно-деформированного состояния заготовки при ковке в комбинированных, вырезных симметричных и несимметричных бойках. Автором установлено, что деформирование заготовки бойками с несимметричным вырезом способствует возникновению дополнительных сдвиговых деформаций в заготовке, способствующих проработке литой структуры металла.

Форма заготовки. Кроме конструкции инструмента на течение металла при ковке и качество поковок оказывает влияние и форма исходной заготовки. В работе [21] В. А. Тюрин привел различные типы форм заготовок дляковки крупных поковок и указал на эффективность применения таких заготовок для получения различных поковок. Так он привел слиток восьмигранный, плоский и трехлепестковый. Тюрин В. А. показал, что применение на производстве трехлепесткового слитка массой 7 т позволило исключить брак в валках холодной прокатки, увеличить до 40 % местные деформации в осевой зоне поковки при уковке 1,5.

Проведенный обзор показал, что 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 не высокого 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. 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 [22]. 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 [23, 24]. Инструмент, в котором верхний бок движется в двух направлениях (горизонтальном и вертикальном) позволяет 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.

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.

Механический режим. Кроме конструкций инструмента в работах многих исследователей большое внимание уделено и режимамковки с учетом использования специального инструмента. Так в работе [25] 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. Рассмотренаковка протяжкой бойками с выпуклой рабочей поверхностью и последующей правкой плоскими бойками, которая позволяет достичь большей проработки сечения слитка.

В работе А. П. Белова, В. А. Тюрина и А. Н. Дубкова [26] описано исследование поведения и степени закрытия осевого отверстия в поковках в зависимости от схемы ковки, 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.

Механический режим ковки как параметр, которым возможно управлять напряженно-деформированным состоянием заготовки, имеет широкие и перспективные возможности. Так, используя стандартный инструмент, имеющийся практически на каждом предприятии, где осуществляется ковка крупных поковок, задавая определенные параметры ковки, такие как подача, обжатие, кантовки, возможно получать в заготовках различные деформационные поля, иными словами, управлять деформационным полем.

Температурный фактор. Температурное поле. Еще одним параметром, позволяющим управлять процессом ковки, является температурное поле заготовки. В работе [27] 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, различное распределение деформаций.

Ковка заготовок с подстуженной поверхностью должна осуществляться с небольшими единичными обжатиями примерно равными 7 %. В. А. Тюрин, А. В. Хабаров и другие экспериментально показали эффективность данных способов ковки с точки зрения проработки центральной части заготовки.

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

Предложена классификация способов ковки, основанная на выделении трех факторов, позволяющих влиять на НДС заготовки, таких как фактор формы, кинематический фактор и температурный фактор. Фактор формы предполагает различную форму как инструмента для ковки, так и форму исходной заготовки. Установлено, что данный фактор позволяет в широком диапазоне влиять на НДС заготовки и, несмотря на обширные исследования, проведенные ранее, остается неизученным вопрос влияния размеров специального инструмента на параметры качества поковок. Особенно мало внимания уделено исследованию ковки заготовок специальной формы. Кинематический фактор предполагает различную кинематику движения деформирующего инструмента и различные механические режимы ковки. Установлено, что особенно перспективным является разработка рациональных механических режимов ковки обычным кузнечным инструментом. Температурный фактор, обуславливающий различные температурные состояния заготовки и ее температурное поле, также является малоизученным, хотя влияние его на НДС заготовки достаточно существенно. Таким образом, намечены направления дальнейших исследований, которые необходимо проводить в области ковки крупных 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. Направления совершенствования технологий ковки крупных поковок на основе управления течением металла [Электронный ресурс] / И. С. Алиев, Я. Г. Жбанков, Л. В. Таган, А. А. Швец // *Научный Вестник ДГМА : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 1 (9E).* – С. 7–25. – Режим доступа: [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№1\(9E\)_2012/article/12AISMFC.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№1(9E)_2012/article/12AISMFC.pdf).

4. Соколов Л. Н. Усовершенствование технологииковки комбинированными бойками / Л. Н. Соколов, Б. С. Каргин // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 1974. – № 1. – С. 102–103.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. А. с. 393018 СССР, МКИ В 21 J 13/02. Инструмент дляковки / Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин, Ю. И. Мищенко, М. С. Экарев (СССР). – № 1643794; заявл. 30.03.71; опубл. 10.08.73; Бюл. № 33.
15. 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.
16. 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.
17. Условия развития сдвиговых деформаций при ковке 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.
18. Ковка поковок прямогольного 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.
19. Найзабеков А. Б. Анализ деформированного состояния и качества заготовок при ковке / А. Б. Найзабеков, В. В. Исаенко // *Известия вузов. Черная металлургия*, 1998. – № 2. – С. 17–20.
20. Машеков С. А. Исследование деформированного состояния заготовок при ковке в вырезных и комбинированных бойках / С. А. Машеков // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 1995. – № 4. – С. 36–39.
21. Тюрин В. А. Инновационные технологииковки / В. А. Тюрин // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2006. – № 5. – С. 27–29.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. Улучшение качества металла при продольной ковке / Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин, В. Н. Лебедев, А. И. Гринюк // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 1971. – № 4. – С. 96–99.
26. 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.
27. 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.

Алиев И. С. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. ОМД ДГМА;

Жбанков Я. Г. – канд. техн. наук, ст. преп. каф. ОМД ДГМА;

Таган Л. В. – аспирант ДГМА;

Швец А. А. – аспирант ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: yzhbankov@gmail.com

Статья поступила в редакцию 15.01.2013 г..