

Пряме холодне видавлювання є найефективнішим способом отримання стрижневих деталей з конічними елементами. Проте пряме видавлювання супроводжується виникненням ряду проблем вирішення яких залежить від певних вимог до технологічного процесу, матриці і мастила.

Ключові слова: пряме холодне видавлювання, деталі з конічними елементами, матриця, силовий режим, бандажування, втрати зусиль на тертя.

Direct cold extruding is the most effective way to get rod details of conical elements. However, direct extruding accompanied by the emergence several problems whose solution depends on the certain requirements of the process, the die and grease.

Keywords: direct cold extruding, details of conical elements, die, power mode, banding friction loss.

УДК 621.73

В. В. КУХАРЬ, докт. техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь;
О. В. ВАСИЛЕВСКИЙ, ст. мастер, ООО «Метинвест–МРМЗ»,
Мариуполь.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ КУЗНЕЧНОЙ ПРОТЯЖКИ ЗАГОТОВОК С ОБКАТКОЙ В КОМБИНИРОВАННЫХ БОЙКАХ

Разработана и реализована методика экспериментальных исследований формоизменения и силовых параметров при протяжке заготовок с обкаткой по диаметру в комбинированных бойках. Установлены закономерности изменения силовых параметров, геометрических характеристик и оптимальные режимы деформирования заготовок при протяжке обкаткой в комбинированных бойках с различными величинами обжатий и углов кантовок заготовок вокруг продольной оси.

Ключевые слова: кузнечная протяжка, комбинированные бойки, режимы деформации, силовые параметры, геометрические характеристики, экспериментальные исследования.

Введение. Процессы ковки поковок валов являются весьма трудоемкими, при этом основную долю машинного времени ковки занимают операции кузнечной протяжки. Изменение размеров поперечного сечения и длины поковки при протяжке производят различным рабочим инструментом [1]: плоскими бойками, выпуклыми бойками, вырезными бойками, комбинированными бойками. Калибры вырезных и комбинированных бойков могут иметь ромбический или радиусный (круглый) профиль. Поковки валов, в зависимости от условий эксплуатации изделий из них, подразделяют на технологические группы с определенным видом и порядком механических испытаний. В настоящее время идет активная разработка инновационных способов ковки, которые позволяют интенсифицировать проработку внутренних слоев слитка при незначительных коэффициентах общего укова, причем основная масса из них связана с реализацией макросдвигов материала заготовки [2, 3]. С точки зрения минимизации отходов при дальнейшей доводке поковки до размеров детали операциями резания необходимо соблюдение требований к геометрической точности поковок круглого поперечного сечения.

Анализ последних исследований и литературы. Эффекта макросдвиговых деформаций при ковке достигают различными способами радиального обжатия слитков [4], для чего применяют, например, специальные

четырёхбойковые устройства [5]. Такие технологические решения связаны с использованием специализированных металлоемких ковочных приспособлений, установка которых на пресс требует дополнительных трудозатрат и ограничивает сортамент поковок по массе. В работах [6, 7] предложено осуществлять промежуточную ковку крупных поковок профилированными бойками, позволяющими обжимать слиток на трехлучевую и четырехлучевую заготовку. Дальнейшая протяжка из профилированной заготовки, сопровождающаяся формированием круглого поперечного сечения поковки за счет макросдвигов, требует смены инструмента, что может вызвать подстуживание и необходимость дополнительных подогревов слитка. Кроме того, для получения трех- и четырехлучевых заготовок применяют различные комплекты рабочего инструмента.

Технологическая реализация способа [8] предполагает ковку заготовки вначале плоскими бойками, а затем её обкатку вокруг продольной оси в бойках с круглым вырезом без увеличения длины вала. Исследованию протяжки слитков профилированными бойками посвящена работа [9], в которой проанализированы условия изменения размеров заготовки и возникновения макросдвигов. Согласно способу [10], валы производят протяжкой с захватом манипулятором вначале одного, затем другого конца слитка. При этом специальный нижний боек разворачивают по фронту подачи ковальной заготовки и выполняют протяжку по длине. Повтор данного цикла обеспечивает проковку сформированной профилированной заготовки с обеспечением эффекта макросдвигов. Однако очевидно, что достижение положительного влияния эффекта макросдвигов на показатели качества поковок за счет усложнения или увеличения количества комплектов рабочего инструмента экономически оправдано только при ковке слитков из высоколегированных дорогостоящих марок стали.

Заслуживает внимания способ [11], согласно которому установлено достижение макросдвигов при ковке валов круглого или многоугольного поперечного сечения в круглых вырезных или ромбических вырезных бойках за счет варьирования режимами обжатий и кантовок слитка вокруг продольной оси. При этом неизвестными остаются режимы сочетания величин обжатий и углов кантовок, которые являются оптимальными для достижения равномерной проработки слитка по поперечному сечению или обеспечения наилучших показателей по геометрии (с точки зрения приближения сечения к форме круга).

Учитывая, что использование универсального инструмента позволяет охватить более широкую номенклатуру кованных изделий, то исследования следует ориентировать именно на разработку инновационных режимов ковки заготовок в распространенных на производстве комбинированных бойках. Такие исследования начаты в работах [12, 13] применительно к условиям кузнечно-прессового цеха предприятия ООО «Метинвест – Мариупольский ремонтно-механический завод», организованного на базе блока ремонтных цехов ПАО «ММК им. Ильича» (г. Мариуполь). Методами конечно-элементного моделирования выявлены особенности деформированного

состояния поволоков валов при ковке [12], а также установлены закономерности влияния величины обжатия на кинематические характеристики при протяжке заготовок в комбинированных бойках с круглой формой выреза [13]. Разработка научно обоснованных рекомендаций по выбору рациональных режимов ковки в таких бойках требует экспериментального изучения влияния величин обжатий и углов кантовки заготовки вокруг продольной оси на геометрические характеристики поперечного сечения и проработку материала поковки.

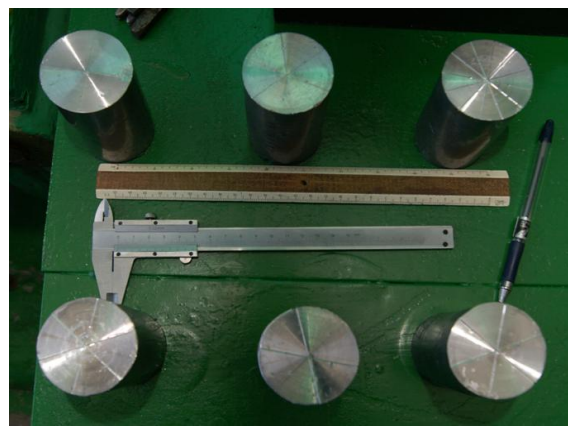
Цель исследования, постановка проблемы. Целью настоящего исследования является экспериментальное изучение формоизменения и силовых параметров при различных режимах протяжки цилиндрических заготовок в комбинированных бойках.

Для достижения указанной цели требуется определение коэффициентов вытяжки и улова заготовок, изменения геометрических характеристик поперечного сечения с точки зрения его приближения к круглой форме и распределения силовых параметров на этапах протяжки с различными величинами обжатий и углов кантовки заготовок вокруг продольной оси. Исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) заготовки при различных режимах протяжки в комбинированных бойках в данной работе не приведены.

Материалы исследования. Изготавливали шесть одинаковых образцов диаметром $D_0 = 50$ мм и длиной $L_0 = 100$ мм из свинца сурьмянистого (марка ССу). Учитывая комплексность постановки опытов, связанную с совмещением исследований геометрических характеристик и НДС образцов, их изготавливали прессованием в виде двух половинок полукруглого сечения. На тыльную сторону одной из половинок наносили координатную сетку и выполняли пайку образцов сплавом Вуда, получая сплошные объекты. Целые образцы маркировали на одном из торцов пометками «0», «1», «2», «3», «5», «8» (рис. 1,а), а на другом торце проводили разметку для обеспечения кантовки заготовки вокруг продольной оси на угол $\Delta\varphi = 30^\circ$, 60° и 90° (рис. 1,б). Перед выполнением протяжки длину заготовок L_0 уточняли путем измерения штангенциркулем.



а



б

Рис. 1 – Исходные образцы:

а – маркировка на одном торце; б – разметка углов кантовки на другом торце

Для проведения лабораторных опытов были изготовлены модели вырезных бойков в масштабе 1:10 к размерам производственной природы: ширина $B_m = 30$ мм, радиус выреза в нижнем бойке $R_m = 30$ мм. Материал бойков – сталь 45. Данные бойки закрепляли в штамповом блоке (рис. 2, а), установленном на универсальной испытательной машине Р-20, и осуществляли деформирование свинцовых образцов (рис. 2, б) всей шириной бойка B в средней части длины заготовки (что соответствует величине подачи $\Delta L = 30$ мм, т.е. относительная подача $\psi = \Delta L/B_m = 1,0$). То есть, проводили исследование режима обкатки по диаметру при протяжке заготовки для исключения влияния жестких концов поковки (рис. 3, а и б). В реальных условиях для осуществления следующего шага протяжки необходимо переместить заготовку вдоль фронта подачи с относительной подачей $\psi = 1,0$ и провести обкатку по диаметру при заданных величинах обжатий и углов кантовки.

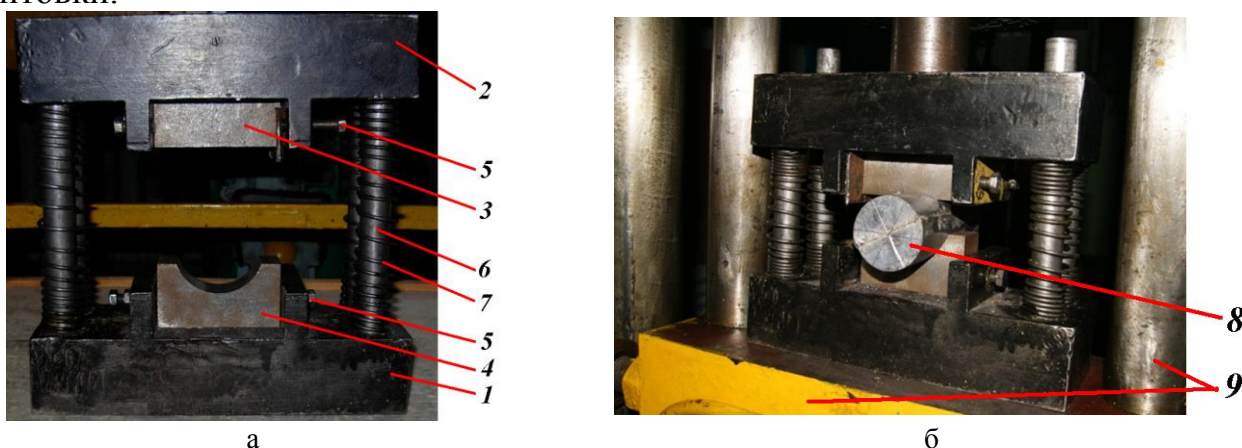


Рис. 2 – Универсальная испытательная машина: а – штамповый блок для исследования; б –:протяжки заготовок; 1 и 2 – нижняя и верхняя плиты; 3 и 4 – верхний плоский и нижний вырезной бойки; 5 – крепёж; 6 и 7 – направляющие и пружины; 8 – образец; 9 – испытательная машина

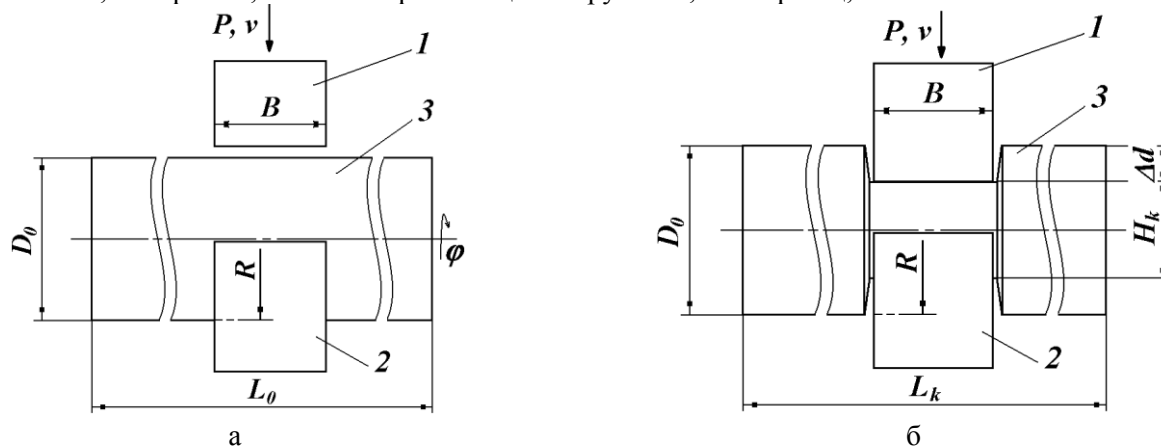


Рис. 3 – Схема протяжки заготовки: а – до обжатия, б – после обжатий с кантовкой заготовки; 1 и 2 – верхний плоский и нижний вырезной бойки, 3 – заготовка; P и v – сила при обжатии и скорость инструмента

Для изучения влияния режимов протяжки на контролируемые показатели образцы разделяли на две группы, для каждой из которых назначали угол кантовки $\Delta\phi$, величины обжатий Δd и количество обжатий n до полного поворота заготовки на 360° . В первой группе образцов («0», «1», «2») проводили варьирование углом кантовки ϕ при фиксированной величине

обжатия $\Delta d = 5$ мм: образец «0» – $\Delta\varphi = 30^\circ$, $n = 12$; образец «1» – $\Delta\varphi = 60^\circ$, $n = 6$; образец «2» – $\Delta\varphi = 90^\circ$, $n = 4$. Во второй группе образцов («3», «5», «8») проводили варьирование величиной обжатия Δd при фиксированной величине угла кантовки $\Delta\varphi = 60^\circ$: образец «3» – $\Delta d = 5$ мм, $n = 6$; образец «5» – $\Delta d = 6,6$ мм, $n = 6$; образец «8» – $\Delta d = 9$ мм, $n = 6$. Таким образом, исследования проводили при относительных обжатиях: $\varepsilon_d = \Delta d / D_0 = 0,1; 0,132$ и $0,18$.

В процессе экспериментов фиксировали силу деформирования P на каждом обжатии, выполненном при заданном режиме.

После каждого обжатия измеряли длину L_k деформированного образца (см. рис. 3) и вычисляли его относительную вытяжку по формулам:

$$\lambda^{(I)} = \frac{L_k - L_{0y}}{B_m} \quad \text{и} \quad \lambda^{(II)} = \frac{L_k - L_{0y}}{L_{0y}} \quad (1)$$

После последнего обжатия при полной обкатке на 360° получали показатель относительной вытяжки λ_k , соответствующий режиму обжатия.

Уков заготовки при протяжке оценивается параметром [1]:

$$U = F_0 / F_k, \quad (2)$$

где $F_0 = \pi D_0^2 / 4 = 1962,5$ мм² – площадь поперечного сечения исходного образца;

F_k – площадь поперечного сечения образца в месте обжатия.

При этом величину F_k можно определить несколькими методами.

1. Расчетный метод. Заключается в расчете по формуле:

$$F_k^{(p)} = F_0 / (1 + \lambda_k^{(I)}) \quad (3)$$

2. Экспериментально-расчетный метод. Для определения геометрических характеристик деформированной заготовки был разработан метод, заключающийся в вырезке из деформированной серединной части образцов (см. рис. 4, а) темплетов, взвешивания данных вырезок для определения их массы M_{Te} и замера их высот h_1, h_2, \dots, h_5 на различных участках (см. рис. 4, б).

Тогда площадь деформированного образца в месте обжатия:

$$F_k^{(ep)} = V_{Te} / h_{cp}, \quad (4)$$

где $V_{Te} = M_{Te} / \rho_c$ – объем вырезанного темплета, здесь $\rho_c = 11760$ кг/м³ = $11,76 \cdot 10^{-6}$ кг/мм³ – плотность используемого свинца;

$h_{cp} = (h_1 + h_2 + \dots + h_5) / 5$ – усредненная высота темплета.

3. Экспериментальный метод с компьютерной обработкой изображений. Вырезанные темплеты сканировали и распознавали при помощи компьютерной техники. Для проведения тарировки сканирование проводили совместно с эталонным элементом миллиметровой бумаги (рис. 5).

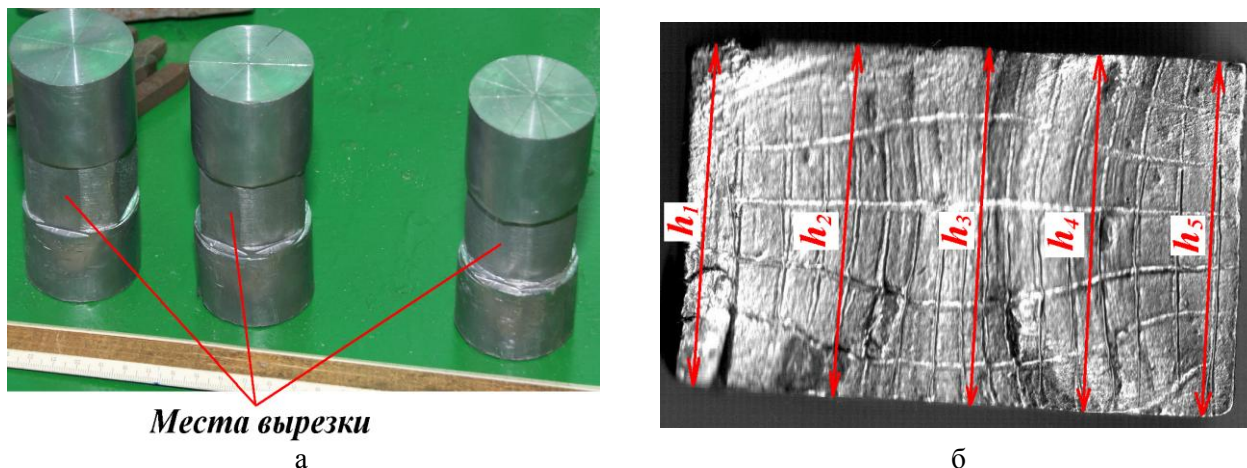


Рис. 4 – Образцы после деформирования:
 а – места вырезки темплетов в образцах «0», «1», «2»; б – вырезанный темплет и замер высот

В результате были определены как площади поперечного сечения $F_k^{(e)}$, так и периметры $\Pi_k^{(e)}$ вырезок из экспериментальных образцов.



Рис. 5 – Пример сканирования темплета для образца «3» и определения его геометрических характеристик

Выполненные расчеты выявили, что значения площадей, определенные по выражениям (3) и (4), имеют различия не более чем 2 %. Это позволило в дальнейшем с минимальной погрешностью для расчетов использовать только данные по геометрическим характеристикам поперечных сечений, полученные экспериментально-расчетным методом.

Так как идеально круглая фигура характеризуется минимумом отношения площади сечения к периметру, то степень приближения формы сечения деформированного образца к кругу может быть оценена коэффициентами:

$$k_{\Pi} = \frac{\Pi_k^{(e)}}{\Pi_k^{(ep)}} \quad \text{и} \quad k_F = \frac{F_k^{(e)}}{F_k^{(ep)}}, \quad (5)$$

где $\Pi_k^{(cp)} = \pi D_k^{(ep)}$ – приведенный (идеализированный) периметр, здесь имеем $D_k^{(ep)} = 1,13\sqrt{F_k^{(e)}}$ – приведенный диаметр поперечного сечения.

Чем ближе коэффициенты (5) к единице, тем более правильную геометрическую фигуру получают в поперечном сечении. Кроме того,

вычисляли экспериментальное и расчетное отношение площади к периметру поперечного сечения деформированных образцов:

$$k_e = F_k^{(e)} / \Pi_k^{(e)} \quad \text{и} \quad k_p = F_k^{(ep)} / \Pi_k^{(ep)}. \quad (6)$$

С целью выполнения статистической обработки результатов эксперимента количество образцов было увеличено до 5 для каждого исследуемого режима протяжки.

Результаты исследования. Экспериментальное распределение силы на обжатиях при различных режимах протяжки приведено на рис. 6.

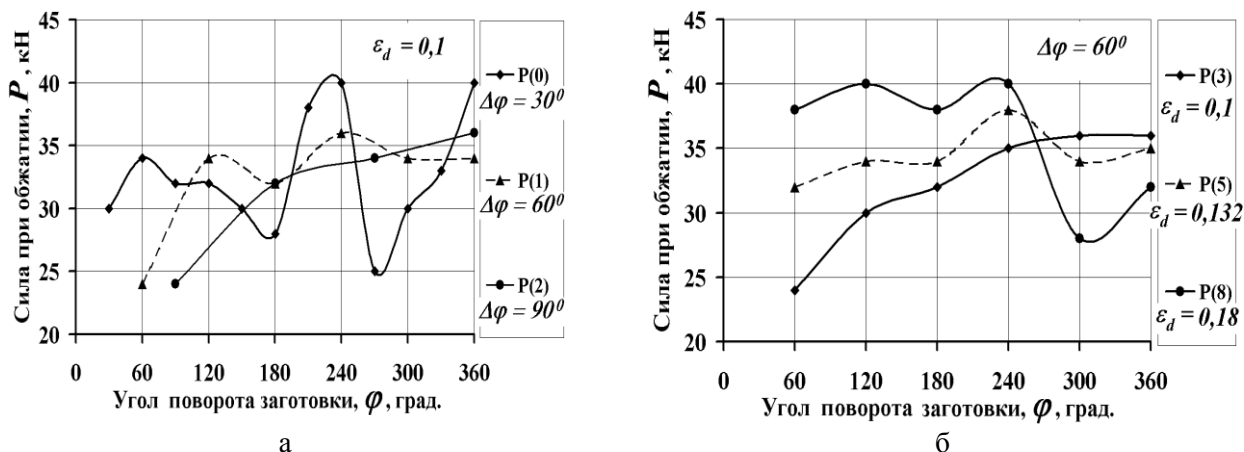


Рис. 6 – Экспериментальные данные по распределению силы обжатия при различных режимах протяжки с обкаткой заготовок в комбинированных бойках:
 а – для образцов «0», «1», «2»; б – для образцов «3», «5», «8»

Режимы деформации, выполненные при одинаковых обжатиях, но с разными углами кантовки, характеризуются минимальными силовыми затратами на начальных этапах и общим возрастанием силовых затрат на завершающих этапах обкатки по диаметру при протяжке (см. рис. 6,а). Наибольшие перепады силы при обжатиях на различных стадиях обкатки (при различном суммарном угле поворота φ) наблюдаются для образцов, деформируемых при наименьших углах кантовки $\Delta\varphi$. Режимы деформации, выполненные при одинаковых углах кантовки, но с различными обжатиями, характеризуются общим возрастанием силы деформирования при обкатке по диаметру до суммарного угла поворота $\varphi = 240^\circ$. Дальнейшие силовые затраты являются меньшими.

На рис. 7 представлены графические зависимости относительной вытяжки образцов от различных режимов протяжки обкаткой по диаметру на всех этапах обжатий. Очевидно, что с увеличением суммарного угла поворота заготовки относительная вытяжка возрастает. При режимах деформации с постоянным обжатием и максимальным углом кантовки ($\Delta\varphi = 90^\circ$, $\varepsilon_d = 0,1$, т.е. для образца «2») наблюдается минимальная интенсивность вытяжки (рис. 7, а). Максимальная интенсивность вытяжки зафиксирована для образца «8», т.е. при режимах деформации с $\Delta\varphi = 60^\circ$ и максимальным обжатием $\varepsilon_d = 0,18$ (рис. 7, б).

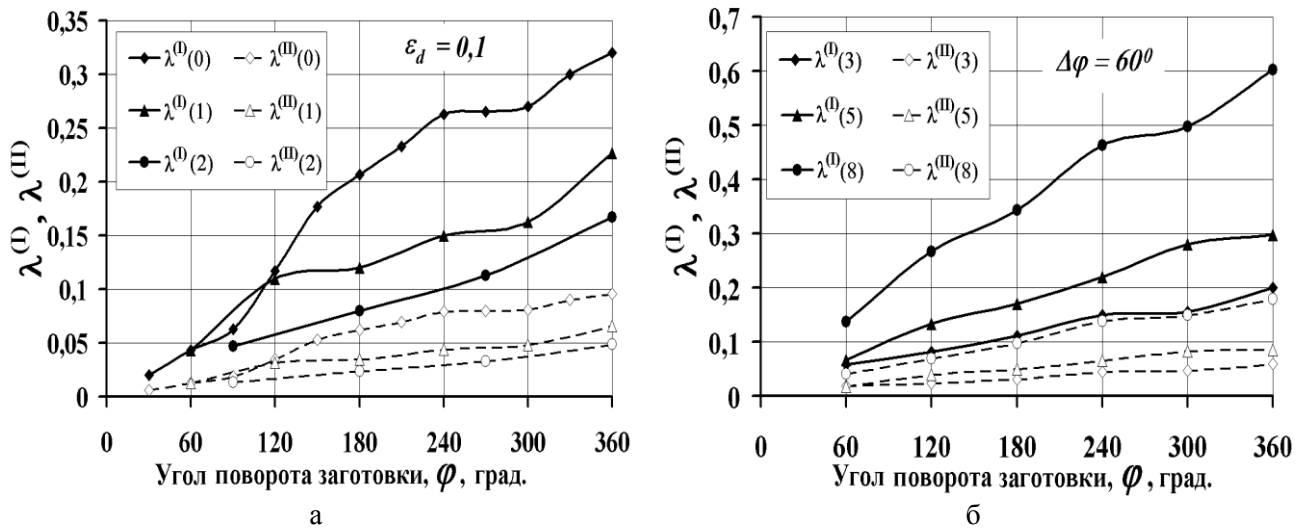


Рис. 7 – Результаты эксперимента по исследованию относительной вытяжки заготовки при различных режимах протяжки с обкаткой в комбинированных бойках:
а – для образцов «0», «1», «2»; б – для образцов «3», «5», «8»

На рис. 8 приведены результаты изучения укова образцов при различных режимах протяжки обкаткой в комбинированных бойках. Уковы определяли для конечной стадии обкатки с суммарным углом кантовки $\varphi = 360^\circ$. Возрастание величины обжатий приводит к росту суммарного укова, при этом увеличение угла кантовки негативно влияет на интенсивность укова заготовки.

Результаты исследования геометрических характеристик поперечных сечений образцов, вычисленных по выражениям (5) и (6) после протяжки по различным режимам, приведены на рис. 9 и в таблице. Очевидно, что достижения наилучших результатов с точки зрения приближения поперечного сечения заготовки к форме круга необходима реализация малых относительных обжатий ($\varepsilon_d \cong 0,1$) при углах кантовки $\Delta\varphi = 60 \dots 90^\circ$ с чередованием углов кантовок после полного поворота заготовки на $\varphi = 360^\circ$.

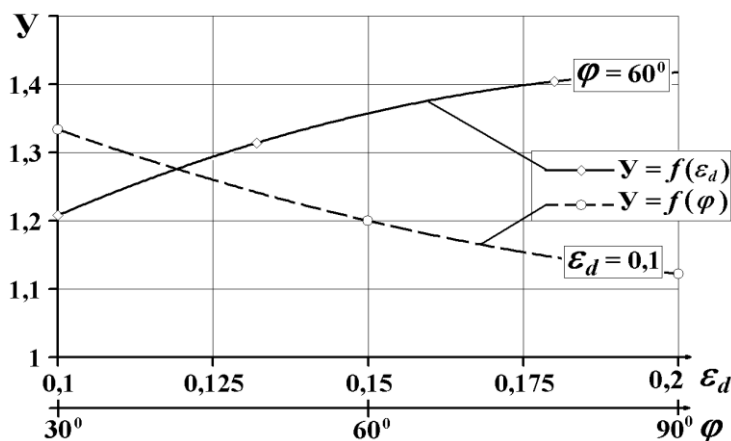


Рис. 8 – Уков образцов при различных режимах протяжки в комбинированных бойках

Минимальная погрешность выявлена для образца «1» ($\varepsilon_d = 0,1$, $\Delta\varphi = 60^\circ$, см. табл.), что подтверждает сделанное выше заключение.

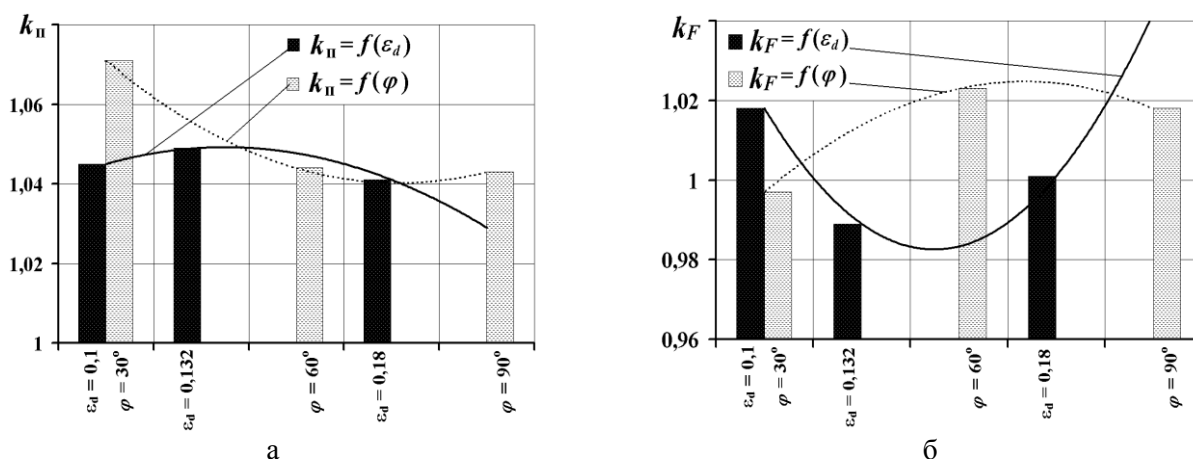


Рис. 9 – Результаты исследования геометрических характеристик поперечного сечения образцов при различных режимах обжатий в комбинированных бойках: с использованием коэффициентов:

а – k_n ; б – k_F

Таблица. Отношение площади к периметру поперечного сечения деформированных образцов при протяжке в комбинированных бойках

| Маркировка образца | Режим $\epsilon_d \times \Delta\varphi$ | k_e | k_p | $\delta_k = \frac{k_e - k_p}{k_e} \cdot 100\%$ |
|--------------------|---|--------|-------|--|
| «0» | 0,1×30° | 10,8 | 10,83 | -7,44 % |
| «1» | 0,1×60° | 11,04 | 11,26 | -1,72 % |
| «2» | 0,1×90° | 11,4 | 11,68 | -2,45 % |
| «3» | 0,1×60° | 10,97 | 11,25 | -2,55 % |
| «5» | 0,132×60° | 9,51 | 10,33 | -7,93 % |
| «8» | 0,18×60° | 10,127 | 10,53 | -3,95 % |

Выводы. На основании результатов анализа требований к поковкам валов разработана и реализована методика экспериментальных исследований формоизменения и силовых режимов протяжки заготовки с обкаткой в комбинированных бойках. Получил дальнейшее развитие метод определения укова на основе экспериментально-расчетного установления величины конечной площади поперечного сечения поковки по относительной вытяжке, по высоте вырезанного темплета и по компьютерной обработке сканированных изображений вырезок из деформированной части заготовки применительно к процессам протяжки заготовок в комбинированных бойках. Установлены закономерности изменения силовых параметров и геометрических характеристик заготовок при протяжке обкаткой в комбинированных бойках с различными величинами обжатий и углов кантовок заготовок вокруг продольной оси. Сделано заключение, требующее, в перспективе, проверки по критерию проработки внутренних слоев заготовки, об оптимальных режимах протяжки с обкаткой в комбинированных бойках с точки зрения достижения наилучших геометрических характеристик поперечного сечения поковки.

Список литературы: 1. Технологія кування / Л. М. Соколов, І. С. Алієв, О. Є. Марков, Л. І. Алієва. – Краматорськ : ДДМА, 2011. – 268 с. 2. Тюрин В. А. Инновационные технологииковки с применением макросдвигов / В. А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2007. – № 11. – С. 15–20. 3. Markov O. New technological process of shafts forging / O. Markov // New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering. – Czestochowa: Quick-druk, 2012. – P. 414–418. 4. Черный Б. П. Новая технология и оборудование для радиальной

ковки заготовок из благородных металлов с высокими обжатиями и дополнительными макросдвигами / Б. П. Черный // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2005. – № 1/1(13). – С. 39–43. **5.** Пат. 2242322 Российская Федерация, МКИ В 21 J 13/02 К 7/16. Четырехбойковое ковочное устройство / Володин А. М., Конев Л. Г., Лазоркин В. А. – № 2003110915/02; заявл. 16.04.03; опубл. 20.12.04, Бюл. № 65. **6.** Каргин С. Б. Теоретический анализ напряженно-деформированного состояния слитка при ковке на трехлепестковую заготовку / С. Б. Каргин, О. Е. Марков, В. В. Кухарь // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. / ДГМА. – Краматорск, 2011. – № 1 (26). – С. 17–21. **7.** Пат. 63818 Украина, МПК (2011.01) В 21 J 5/00. Пристрій для протяжки злитків / Каргін С. Б., Каргін Б. С., Кухар В. В., Марков О. Є., Ковалькова Я. О., Левандовський В. Ф. – № u201102621; заявл. 09.03.11; опубл. 25.10.11, Бюл. № 20. **8.** Pat. JP3120591 Japan, МПК В 21 J 5/00; В 21 J 5/02; В 21 J 5/06; В 21 К 1/06. Method for forging round bar / Toshihiko Obata; Ishikawajima Harima Heavy Ind. Co. Ltd. – № JP1992000253849; заяв. 28.08.1992; опубл. 20.10.2000. **9.** Banaszek G. A comprehensive numerical analysis of the effect of relative feed during the operation of stretch forging of large ingot in profiled anvils / G. Banaszek, P. Szota // J. Mater. Process. Technol. – 2005. – № 169. – P. 437–444. **10.** Pat. JP02108429 Japan, МПК В 21 J 1/04; В 21 J 1/00. Cross forging method for ingot / Kiyomi Nanba; Nippon Stainless Steel Co. Ltd. – № JP1988000263282; заяв. 19.10.1988; опубл. 20.04.1990. **11.** Pat. JP2002102987 Japan, МПК В 21 J 5/00; В 21 J 1/04; В 21 J 13/02; В 21 J 13/06; В 21 J 1/00; В 21 J 13/00. Heat forging method for billet / Junpei Tajima; Sumitomo Metal Ind. Ltd. – № JP2000000297348; заяв. 28.09.2000; опубл. 09.04.2002. **12.** Василевский О. В. Исследование деформированного состояния поковок типа валов при ковке в комбинированных бойках / О. В. Василевский, А. В. Грушко, В. В. Кухарь // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2011. – № 3(28). – С. 78–82. **13.** Василевский О. В. Исследование влияния величины обжатия на кинематические и энергосиловые характеристики при ковке цилиндрических заготовок в комбинированных бойках / О. В. Василевский, А. В. Грушко, В. В. Кухарь // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. / ДГМА. – Краматорск, 2012. – № 3 (32). – С. 44–48.

Надійшла до редколегії 21. 10. 2013

УДК 621.73

Экспериментальные исследования режимов кузнечной протяжки заготовок с обкаткой в комбинированных бойках / Кухарь В. В., Василевский О. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 43 (1016). – С. 139–148. Бібліогр.: 13 назв.

Розроблено та реалізовано методику експериментальних досліджень формозміни і силових параметрів при протягуванні заготовок з обкатуванням по діаметру в комбінованих бойках. Установлено закономірності зміни силових параметрів, геометричних характеристик та оптимальні режими деформування заготовок при протягуванні обкатуванням у комбінованих бойках з різними величинами обтискань і кутів кантувань заготовок навколо поздовжньої осі.

Ключові слова: ковальське протягування, комбіновані бойки, режими деформації, силові параметри, геометричні характеристики, експериментальні дослідження.

The methodic of experimental research of form-changing and force parameters during stretch forging of billets with rolling to diameter by combined anvils is worked and realized out. The depends of changing of force parameters, geometric characteristics and optimal modes of deformation of billets during stretch forging by rolling in combined anvils with different values of press upsetting and angles of rotation of billets around far axe are determinates.

Keywords: stretch forging, combined anvils, modes of deformation, force parameters, geometric characteristics, experimental research.

УДК 612.431.75

А. Д. ЛАВРИНЕНКОВ, ассистент, НТУУ «КПИ», Киев

ВЫГЛАЖИВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩЕЙ СМАЗКИ

В статье приведены результаты использования металлосодержащих смазок при выглаживании с наложением ультразвука деталей из титановых сплавов ВТ22 и ВТ23. Установлено, что их