

## ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ

УДК 621.73:519.233.4:519.254

© Балалаева Е.Ю.<sup>1</sup>, Кухарь В.В.<sup>2</sup>, Василевский О.В.<sup>3</sup>, Тузенко О.А.<sup>4</sup>

### ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАНЫХ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЗАГОТОВОК С ОБКАТКОЙ В КОМБИНИРОВАННЫХ БОЙКАХ

*В статье проведена статистическая обработка результатов исследования формоизменения заготовок при протяжке с обкаткой в комбинированных бойках. Получены зависимости геометрических размеров заготовок от угла поворота и относительного обжатия.*

**Ключевые слова:** кузнечная протяжка, комбинированные бойки, режимы деформации, силовые параметры, геометрические размеры, экспериментальное исследование, статистическая обработка, дисперсионный анализ.

*Балалаева О.Ю., Кухар В.В., Василевський О.В., Тузенко О.О. Застосування статистичних методів при обробці даних формозміни заготовок із обкаткою в комбінованих бойках. У статті проведена статистична обробка результатів дослідження формозміни заготовок при протягуванні з обкаткою в комбінованих бойках. Отримано залежності розмірів заготовок від кута повороту і відносного обтиснення.*

**Ключові слова:** ковальське протягування, комбіновані бойки, режими деформування, силові параметри, геометричні розміри, експериментальне дослідження, статистична обробка, дисперсійний аналіз.

*O.Yu. Balalayeva, V.V. Kukhar, O.V. Vasilevskiy, O.O. Tuzenko. Application of statistical methods in data processing forming blanks with rolling in combination anvils. In the article statistical analysis of the results of experimental investigation blank forming during broach with rolling in combined anvils includes checking the reproducibility of experiments by Cochran, ANOVA (analysis of variance) based on Fisher's exact test and the determination of measurement error smartly is performed. Experimental materials were six lead samples, consisting of two halves with the applied coordinate grid. The graphic dependences of geometric characteristics from the rotation angle of the blank and percent reduction are obtained and analyzed, intervals varying of the researched parameters are defined. Variation intervals of investigated parameters within which the quality of the deformed samples will meet the requirements are determined and shown on the graphics. Unvaried analysis of variance based on Fisher criterion showed that investigated variable parameters of broach modes (the tilting angle, the value of of compression and the amount of reduction) have a significant influence on the forming of the prototypes. The optimal regimes of deformation of blanks during broaching with rolling in combined strikers with different values of reduction and rotation angle of the blanks*

<sup>1</sup> канд. техн. наук, ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [balalaevaeu@gmail.com](mailto:balalaevaeu@gmail.com)

<sup>2</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [kvv.mariupol@mail.ru](mailto:kvv.mariupol@mail.ru)

<sup>3</sup> ст. мастер, ООО «Метинвест – Мариупольский ремонтно-механический завод», г. Мариуполь, [kovka-vas.oleg@yandex.ua](mailto:kovka-vas.oleg@yandex.ua)

<sup>4</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [tuzenkoaa@gmail.com](mailto:tuzenkoaa@gmail.com)

*around the longitudinal axis from the point of view of achieving the best geometric characteristics of the cross-section of the forging are determined.*

**Keywords:** *forging broach, combination strikers, deformation modes, force parameters, geometrical sizes, experimental investigation, statistical processing, dispersion analysis.*

**Постановка проблеми.** В настоящее время на отечественных предприятиях ведется проектирование и освоение инновационных способов ковки, большинство из которых направлено на интенсификацию проработки внутренних слоев заготовки при незначительных коэффициентах общего укова за счет реализации макросдвигов материала [1, 2].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Перспективным направлением реализации схем интенсивных деформаций и достижения высокой степени проработки металла является внедрение новых рациональных режимов ковки заготовок в распространенных на производстве комбинированных бойках [3, 4].

Разработка научно обоснованных способов ковки требует экспериментального исследования влияния величин обжатия и углов кантовки на геометрические размеры поковки. При этом основным требованием с точки зрения минимизации отходов материала при дальнейшей доводке поковки до размера детали является высокая геометрическая точность заготовки.

Для оценки варьирования геометрических размеров поковки целесообразно использовать различные инструменты статистического анализа. Однако статистическая обработка экспериментальных данных позволяет оценить только общую изменчивость исследуемых параметров, при этом не учитывается их влияние на средние значения других факторов.

Для количественного исследования влияния различных факторов на результативный признак применяют методы однофакторного и многофакторного дисперсионного анализа [5-7], в основе которого лежит гипотеза об однородности групповых дисперсий. Суть дисперсионного анализа заключается в проверке статистической значимости различия между средними значениями для групп или переменных. Если различие между ними значимо, то фактор оказывает существенное влияние на исследуемый параметр, в противном случае влияние фактора незначимо, а все экспериментальные данные принадлежат одной генеральной совокупности.

**Цель статьи** – статистическая обработка и дисперсионный анализ результатов экспериментального изучения формоизменения при различных режимах протяжки цилиндрических заготовок в комбинированных бойках.

**Изложение основного материала.** Проводили экспериментальное исследование влияния режимов протяжки заготовок на контролируемые параметры в соответствии с методикой [8].

В качестве экспериментальных образцов использовали шесть одинаковых заготовок с начальным диаметром  $D_0 = 50$  мм и длиной  $L_0 = 100$  мм, изготовленных из свинца сурьмянистого (ССу), при этом длину  $L_0$  уточняли с помощью штангенциркуля. Каждая заготовка представляла собой две спаянных половины полукругового сечения, причем на тыльную сторону одной из половинок, в соответствии с методикой проведения эксперимента [8], была нанесена координатная сетка.

Для проведения эксперимента были изготовлены стальные (Сталь 45) модели вырезных бойков шириной  $B_m = 30$  мм с радиусом выреза в нижнем бойке  $R_m = 30$  мм. Бойки закрепляли в штамповом блоке (рис. 1, а) универсальной испытательной машины Р-20 и осуществляли деформирование свинцовых образцов.

В качестве варьируемых параметров для различных режимов протяжки рассматривали угол кантовки  $\Delta\varphi$ , величину обжатия  $\Delta d$  и количество обжатий  $n$  до полного поворота заготовки на  $360^\circ$ , в зависимости от которых экспериментальные образцы были промаркированы и условно разделили на две группы

В первой группе образцов («0», «1», «2») осуществляли варьирование углом кантовки  $\Delta\varphi$  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») осуществляли варьирование величиной обжатия  $\Delta d$  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,  $n = 6$ .

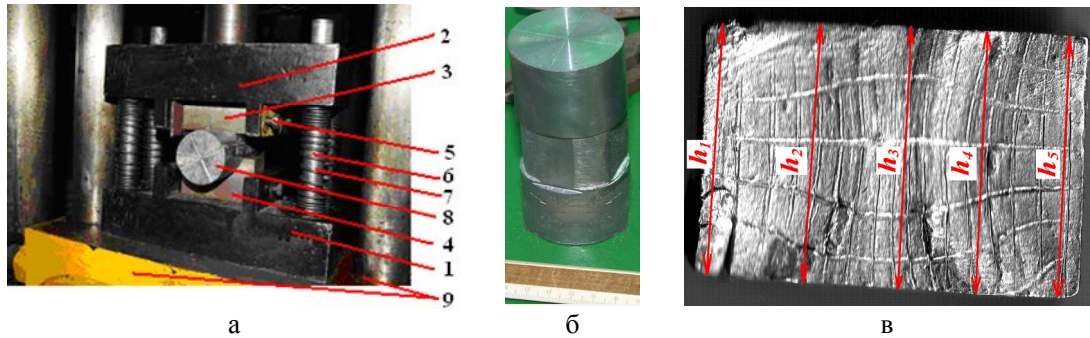


Рис. 1 – Штамповый блок для исследования протяжки заготовок (а), деформированный образец (б), вырезанный темплет и замер высот (в): 1 и 2 – нижняя и верхняя плиты; 3 и 4 – верхний плоский и нижний вырезной бойки; 5 – крепёж; 6 и 7 – направляющие и пружины; 8 – образец; 9 – испытательная машина

Исследования проводили при относительных обжатиях:  $\varepsilon_d = \Delta d / D_0 = 0,1; 0,132$  и  $0,18$ .

После каждого обжатия измеряли конечную длину  $L_k$  деформированного образца (см. рис. 2) и вычисляли его относительную вытяжку по формулам:

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

После последнего обжатия при полной обкатке на  $360^\circ$  получали показатель относительной вытяжки  $\lambda_k$ , соответствующий режиму обжатия.

Уков заготовки при протяжке оценивается параметром [1]:

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

где  $F_0 = \pi D_0^2 / 4 = 1962,5$  мм<sup>2</sup> – площадь поперечного сечения исходного образца;  $F_k$  – площадь поперечного сечения образца в месте обжатия.

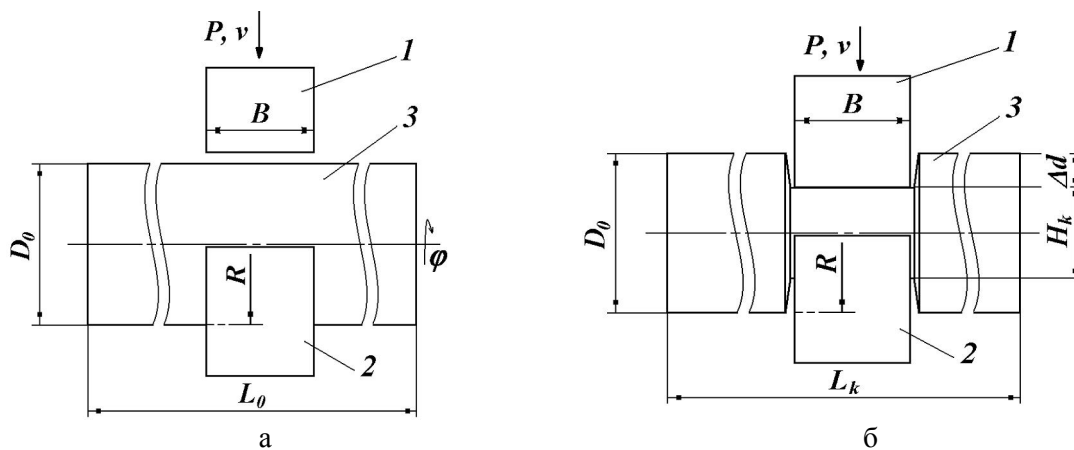


Рис. 2 – Схема протяжки заготовки до обжатия (а) и после обжатий с кантовкой заготовки (б): 1 и 2 – верхний плоский и нижний вырезной бойки, 3 – заготовка;  $P$  и  $v$  – сила при обжатии и скорость инструмента

Геометрические характеристики деформированной заготовки определяли несколькими методами [8]: расчетным, экспериментально-расчетным и экспериментальным с компьютерной обработкой изображения.

Суть экспериментально-расчетного метода заключалась в следующем: из деформированной серединной части образцов (см. рис. 1, б) вырезали темплеты (см. рис. 1, в), после чего оп-

ределяли их массу  $M_{Te}$  путем взвешивания и измеряли высоты  $h_1, h_2, \dots, h_5$  на различных участках.

Площадь деформированного образца в месте обжатия рассчитывали по формуле:

$$F_k^{(ep)} = V_{Te} / h_{cp}, \quad (3)$$

где  $V_{Te} = M_{Te} / \rho_c$  – объем вырезанного темплета (здесь  $\rho_c = 11760 \text{ кг/м}^3 = 11,76 \cdot 10^6 \text{ кг/мм}^3$  – плотность свинца сурьмянистого марки ССу);  $h_{cp} = (h_1 + h_2 + \dots + h_5) / 5$  – усредненная высота темплета.

Площади поперечного сечения  $F_k^{(e)}$  и периметры  $\Pi_k^{(e)}$  темплетов определяли также с помощью компьютерной обработки сканированных изображений.

Для оценки степени приближения формы сечения деформированного образца к кругу использовали коэффициенты:

$$k_{\Pi} = \Pi_k^{(e)} / \Pi_k^{(ep)} \quad \text{и} \quad k_F = F_k^{(e)} / F_k^{(ep)}, \quad (4)$$

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

С целью выполнения статистической обработки экспериментальных данных для каждого режима прокатки использовали 5 идентичных образцов, т.е. количество параллельных опытов (измерений) принимали равным 5.

Статистическая обработка включала в себя проверку воспроизводимости эксперимента по критерию Кохрена, однофакторный дисперсионный анализ на основе критерия Фишера, а также определение абсолютной и относительной погрешности измерений.

Проверка воспроизводимости эксперимента по критерию Кохрена. Воспроизводимость опытов определяли путем проверки равенства генеральных дисперсий. После проведения замеров геометрических размеров опытных образцов рассчитывали среднее значение, т.е. математическое ожидание серии измерений:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n, \quad (5)$$

где  $i=1, 2, \dots, n$  – номер параллельного опыта (измерения);  $x_i$  – значение  $i$ -го измерения.

Значение дисперсии для каждой серии измерений рассчитывали как

$$D_x = S_x^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1). \quad (6)$$

Среднеквадратическую погрешность результатов серии измерений рассчитываем по формуле:

$$S_x = \sqrt{D_x}. \quad (7)$$

Однородность ряда дисперсий  $S_1^2, S_2^2, \dots, S_i^2$  проверяли по критерию Кохрена. Проверка воспроизводимости эксперимента по критерию Кохрена основана на законе распределения отношений максимальной оценки дисперсии  $(S_i^2)_{\max}$  к сумме все сравнительных оценок дисперсий:

$$G_p = (S_i^2)_{\max} / \sum_{i=1}^n (S_i^2). \quad (8)$$

Затем проверяли однородность ряда дисперсий  $S_1^2, S_2^2, \dots, S_i^2$ , определяющую достоверность учета всех сильнодействующих факторов каждого опыта на одном уровне.

Если вычисленное по данным эксперимента (эмпирическое) значение  $G_p$  меньше критического значения  $G_{kp}$ , определяемого, например, по источнику [9], т.е. если  $G_p < G_{kp}$ , то гипотезу об однородности выборочных дисперсий  $S_i^2$  можно считать справедливой, в том числе для оценки генеральной дисперсии воспроизводимости эксперимента.

Однофакторный дисперсионный анализ на основе критерия Фишера. Осуществляли проверку однородности всех выборок, т.е. определяли принадлежность всех экспериментальных значений одной генеральной совокупности. Для этого использовали процедуру однофакторного дисперсионного анализа [10], суть которого заключается в оценке влияния уровня фактора на полученные экспериментальные значения.

Однофакторный дисперсионный анализ основан на проверке значимости оценок дисперсии с помощью критерия Фишера ( $F$ ), расчетное значение которого определяется соотношением между факторной дисперсией  $s_{факт}^2$  и остаточной дисперсией  $s_{ост}^2$ :

$$F = s_{факт}^2 / s_{ост}^2 . \quad (9)$$

Факторную дисперсию  $s_{факт}^2$ , характеризующую рассеивание по факторам, т.е. изменение среднего значения величины при изменении уровня фактора, при числе степеней свободы  $f = k - 1$  (здесь  $k$  – количество опытов) рассчитывали по формуле:

$$s_{факт}^2 = n \sum_{j=1}^k (\bar{x}_j - \bar{x}_c)^2 / f , \quad (10)$$

где  $\bar{x}_c$  – оценка общего среднего, определяемая как

$$\bar{x}_c = \sum_{j=1}^k \bar{x}_j / k . \quad (11)$$

Остаточную дисперсию  $s_{ост}^2$ , характеризующую рассеивание внутри партии, при числе степеней свободы  $f_1 = k(n - 1)$  вычисляли как

$$s_{ост}^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 / f_1 . \quad (12)$$

Полную (общую) дисперсию  $s^2$ , отражающую общее рассеяние как внутри партии, так и за счет уровня фактора, при числе степеней свободы  $f_0 = kn - 1$  определяли следующим образом:

$$s^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (x_{ij} - \bar{x}_c)^2 / f_0 . \quad (13)$$

Полученные значения  $F$  сравнивали с табличными  $F_{кр}$ , приведенными в источнике [9].

Если  $F < F_{кр}$  при заданном уровне значимости  $\lambda$ , то нет оснований считать, что независимый фактор оказывает влияние на разброс средних значений, т.е. все полученные результаты эксперимента принадлежат к одной генеральной совокупности, распределенной нормально.

Если  $F > F_{кр}$ , то независимый фактор оказывает существенное влияние на разброс средних значений.

Определение абсолютной и относительной погрешности измерений. Задавшись коэффициентом надёжности  $\alpha = 1 - \lambda$ , находили коэффициент Стьюдента  $t_{\alpha;f}$  при количестве степеней свободы  $f = n - 1$  согласно источнику [9].

Абсолютную погрешность измерений определяли как

$$\Delta x = t_{\alpha;f} \cdot S_x . \quad (14)$$

Истинное значение измеряемой величины находили в границах доверительного интервала:

$$\bar{x} - \Delta x \leq x \leq \bar{x} + \Delta x . \quad (15)$$

Окончательный результат записывали как

$$x = \bar{x} \pm \Delta x . \quad (16)$$

Точность измерения исследуемых параметров зависит от ряда факторов, которые вносят в результаты измерения определённую погрешность.

Относительная погрешность серии измерений:

$$\delta_x = \pm \Delta x / \bar{x} \cdot 100\% . \quad (17)$$

*Результаты исследований.* Выполняли статистическую обработку исходных данных, таких как начальные  $L_{0y}$  и конечные  $L_k$  длины образцов, их высоты  $h_i$  и массы  $M_{Te}$ , а также площади  $F_k^{(e)}$  и периметры  $П_k^{(e)}$ , полученные экспериментальным методом с компьютерной обработкой.

Пример расчета статистических показателей для начальной длины  $L_{0y}$  (мм) образцов «0», «1», «2», «3», «5», «8».  $L_0$  приведен в таблице.

Таблица

Статистическая обработка измерений начальной длины  $L_0$  (мм) образцов «0», «1», «2», «3», «5», «8»

№	Номера проведенных опытов					$\bar{L}_{0y}$	$S_{L_{0y}}^2$	$S_{L_{0y}}$	$A_{0y}$	$L_{0y} = \bar{L}_{0y} \pm A_{0y}$	$\delta_{L_{0y}}$
	1	2	3	4	5						
«0»	101,8	100,9	99,7	100,1	99,5	100,4	0,900	0,95	2,64	$100,40 \pm 2,64$	2,63%
«1»	101,3	101,9	102,8	102,1	103,4	102,3	0,665	0,82	2,27	$102,30 \pm 2,27$	2,22%
«2»	102,9	101,1	101,5	102,7	101,8	102,0	0,600	0,77	2,15	$102,00 \pm 2,15$	2,11%
«3»	101,6	100,7	101,5	100,7	100,5	101,0	0,260	0,51	1,42	$101,00 \pm 1,42$	1,40%
«5»	102,4	102,0	101,1	101,9	100,6	101,6	0,535	0,73	2,03	$101,60 \pm 2,03$	2,00%
«8»	100,1	101,1	99,8	102,1	101,4	100,9	0,895	0,95	2,63	$100,90 \pm 2,63$	2,61%
$G_p = 0,23; G_{kp} = 0,48; G_p < G_{kp}$						$\bar{L}_{0y_c} = 101,37$			$s_{факт L_{0y}}^2 = 2,61$		
$s_{ост L_{0y}}^2 = 0,64$			$s_{L_{0y}}^2 = 0,98$			$F = 4,07; F_{kp} = 2,62; F > F_{kp}$					

Проверка по критерию Кохрена подтвердила воспроизводимость всех экспериментов ( $G_p < G_{kp}$ ), при этом максимальная величина  $G_p = 0,45$  зарегистрирована для величины  $h$  (высота образца) при  $G_{kp}(6;4) = 0,48$  ( $\alpha = 0,95$ ).

Проверка по критерию Фишера показала, что для всех исследуемых параметров независимый фактор (номер образца) оказывает существенное влияние на разброс средних значений ( $F > F_{kp}$ ), при этом максимальная величина  $F = 813,94$  зарегистрирована для величины  $M_{Te}$  (масса образца) при  $F_{kp}(5;24) = 2,62$ .

Величина относительной погрешности измерений всех величин не превышала 12,73 %.

Также осуществляли статистическую обработку расчетных параметров, таких как относительная вытяжка  $\lambda^{(I)}$  и  $\lambda^{(II)}$  (см. формулу (1)), уков  $U$  (см. формулу (2)), коэффициенты  $k_{II}$  и  $k_F$  (см. формулу (4)).

Результаты статистической обработки расчетных величин  $\lambda^{(I)}$ ,  $\lambda^{(II)}$ ,  $U$ ,  $k_{II}$  и  $k_F$  подтвердили воспроизводимость всех экспериментов подтверждена проверками по критерию Кохрена. Дисперсионный анализ показал существенность изменения исследуемых параметров в зависимости от номеров образцов, а, значит, и от режимов прокатки.

По результатам экспериментальных данных и статистической обработки были построены графические зависимости относительной вытяжки  $\lambda^{(I)}$  и  $\lambda^{(II)}$ , укова  $U$  и коэффициентов  $k_{II}$  и  $k_F$  от угла поворота заготовки  $\varphi$  и относительного обжатия  $\varepsilon_d$  (рис. 3, 4).

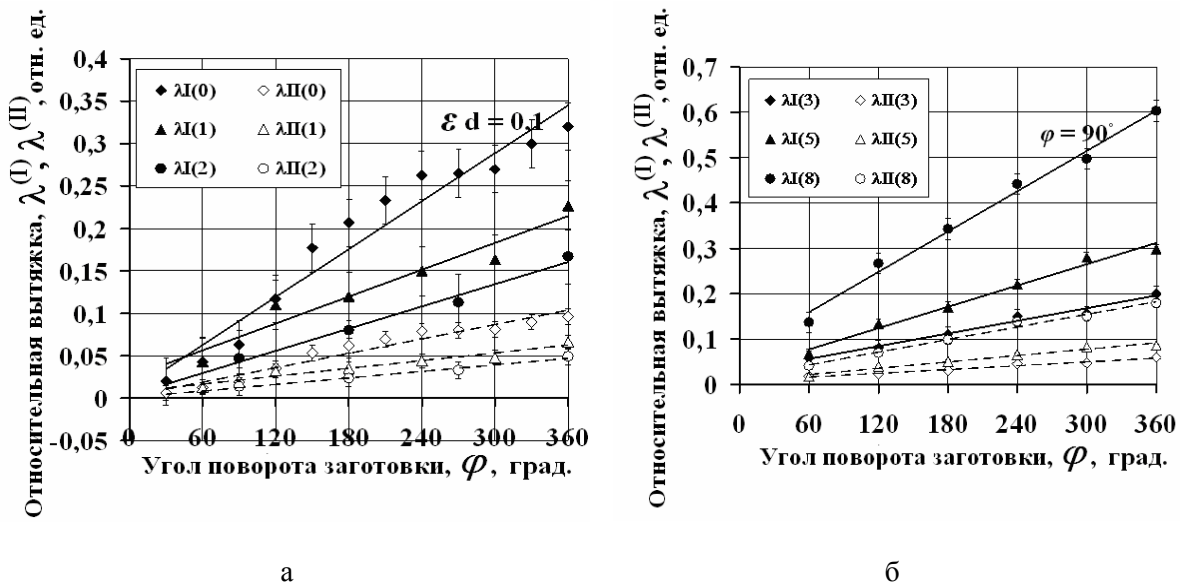


Рис. 3 – Результаты эксперимента по исследованию относительной вытяжки заготовки при различных режимах протяжки с обкаткой в комбинированных бойках: а – для образцов «0», «1», «2»; б – для образцов «3», «5», «8»

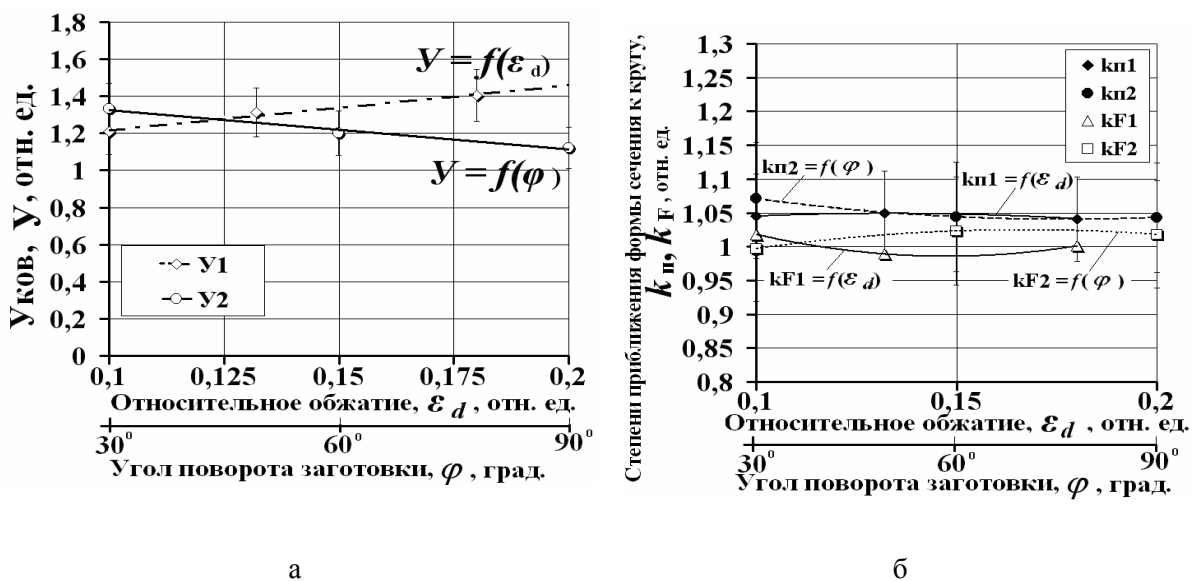


Рис. 4 – Уков образцов при различных режимах протяжки в комбинированных бойках (а) и результаты исследования геометрических характеристик поперечного сечения образцов при различных режимах обжатий в комбинированных бойках (б)

На рис. 3 приведены графические зависимости относительной вытяжки  $\lambda^{(I)}$  и  $\lambda^{(II)}$  образцов «0», «1», «2» (а) и «3», «5», «8» (б) от различных режимов протяжки обкаткой по диаметру на всех этапах обжатий.

Экспериментальные данные были аппроксимированы линейной зависимостью, при этом ординаты аппроксимирующих прямых лежат в диапазоне варьирования значений  $\lambda^{(I)} = \lambda^{(I)} \pm \Delta\lambda^{(I)}$  и  $\lambda^{(II)} = \lambda^{(II)} \pm \Delta\lambda^{(II)}$ . При этом допустимые отклонения  $\Delta\lambda^{(I)}$  и  $\Delta\lambda^{(II)}$  не превышают 0,033, т.е. величины относительной погрешности  $\delta_{\lambda^{(I)}}$  и  $\delta_{\lambda^{(II)}} \leq 12,66\%$ . Из графика следует, что с увеличением суммарного угла поворота заготовки относительная вытяжка возрастает. При режимах деформации с постоянным обжатием и максимальным углом кантов-

ки ( $\Delta\varphi = 90^0$ ,  $\varepsilon_d = 0,1$ , т.е. для образца «2») наблюдается минимальная интенсивность вытяжки (рис. 3,а). Максимальная интенсивность вытяжки зафиксирована для образца «8», т.е. при режимах деформации с  $\Delta\varphi = 60^0$  и максимальным обжатием  $\varepsilon_d = 0,18$  (рис. 3,б).

На рис. 4,а представлены графические зависимости укова  $U$  образцов при различных режимах протяжки обкаткой в комбинированных бойках. Уковы определяли для конечной стадии обкатки с суммарным углом кантовки  $\varphi = 360^0$ . В пределах допустимых интервалов варьирования  $U = \bar{U} \pm \Delta U$  величины суммарного укова возрастают прямопропорционально увеличению величин относительных обжатий и убывают прямопропорционально интенсивности укова заготовки. Допустимое отклонение  $\Delta U$  не превышает 0,147, т.е. величина относительной погрешности  $\delta_U \leq 11,20\%$ .

На рис. 4,б приведены результаты исследования геометрических характеристик поперечных сечений образцов, вычисленных по выражениям (4) после протяжки по различным режимам. Из графика следует, 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  $\Delta\varphi = 60...90^0$  с чередованием углов кантовок после полного поворота заготовки на  $\varphi = 360^0$ . При этом допустимые отклонения  $\Delta k_{II}$  и  $\Delta k_F$  не превышают 0,1, т.е. величины относительной погрешности  $\delta_{k_{II}}$  и  $\delta_{k_F} \leq 10\%$ .

Таким образом, режим протяжки (относительное обжатие  $\varepsilon_d$  и угол кантовки  $\varphi$ ) оказывает значительное влияние на качество готовых деталей, а именно на такие показатели, как относительная вытяжка  $\lambda^{(I)}$  и  $\lambda^{(II)}$ , уков  $U$ , коэффициенты  $k_{II}$  и  $k_F$ .

#### Выводы

1. По результатам статистической обработки опытных данных установлено, что полученные экспериментальные значения  $L_{0y}$ ,  $L_k$ ,  $h_i$ ,  $M_{Te}$ ,  $F_k^{(e)}$ ,  $\Pi_k^{(e)}$ ,  $\lambda^{(I)}$ ,  $\lambda^{(II)}$ ,  $U$ ,  $k_{II}$ ,  $k_F$  принадлежат нормальному закону распределения, причем границы погрешностей измерений при доверительной вероятности  $P = 0,95$  не превышают  $\delta \leq 13\%$ .
2. Воспроизводимость экспериментов подтверждена проверкой по критерию Кохрена ( $G_p < G_{kp}$ ), при этом максимальная величина  $G_p = 0,45$  зарегистрирована для величины  $h$  (высота образца) при  $G_{kp}(6;4) = 0,48$  ( $\alpha = 0,95$ ).
3. Однофакторный дисперсионный анализ на основе критерия Фишера показал, что номер образца (независимый фактор) оказывает существенное влияние на разброс средних значений всех измеряемых величин ( $F > F_{kp}$ ), а выборки данных нельзя свести к одной генеральной совокупности. Таким образом, варьируемые параметры режимов протяжки (угол кантовки  $\Delta\varphi$ , величину обжатий  $\Delta d$  и количество обжатий  $n$ ), в зависимости от которых были промаркированы экспериментальные образцы, оказывают значительное влияние на формирование опытных образцов.
4. Получены графические зависимости относительной вытяжки  $\lambda^{(I)}$ ,  $\lambda^{(II)}$ , укова  $U$  и коэффициентов  $k_{II}$ ,  $k_F$  от угла поворота заготовки  $\varphi$  и относительного обжатия  $\varepsilon_d$ . На основании результатов статистической обработки установлены и отражены на графиках интервалы варьирования исследуемых величин, в пределах которых качество получаемых деформированных образцов будет соответствовать установленным требованиям.

#### Список использованных источников:

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. 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.
  4. Василевский О.В. Исследование влияния величины обжатия на кинематические и энерго-силовые 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.
  5. Ершова Н.М. Дисперсионный анализ данных наблюдений с помощью пакета анализ приложения Excel / Н.М. Ершова // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. – Дніпропетровськ: ПДАБпА, 2009. – № 3. – С. 12-22.
  6. Ландо Е.А. Корреляционный и дисперсионный анализ данных исследований свободных колебаний массивно-плитных фундаментов под машины с вертикальной импульсивной нагрузкой / Е.А. Ландо // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. – 2009. – № 3. – С. 25-29.
  7. Петров А.А. Применение дисперсионного анализа для оценивания отношения сотрудников к природоохранным мероприятиям организации / А.А. Петров, В.А. Самарин // *Вестник Югорского государственного университета*. – Ханты-Мансийск: ЮГУ, 2008. – Выпуск 3 (10). – С. 64-66.
  8. Кухарь В.В. Экспериментальные исследования режимов кузнечной протяжки заготовок с обкаткой в комбинированных бойках / В.В. Кухарь, О.В. Василевский // *Вісник НТУ «ХПИ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2013. – С. 139-148.
  9. Гмурман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М. : Высшая школа, 2003. – 479 с.
  10. Бешенков С.Н. Экономико-математические методы в управлении / С.Н. Бешенков. – Смоленск : Маджента, 2005. – 54 с.

#### Bibliography:

1. Sokolov L.M. Forging technology / L.M. Sokolov, I.S. Aliev, O.E. Markov, L.I. Alieva. – Kramatorsk : DDMA, 2011. – 268 p. (Ukr.)
2. Tyurin V.A. Innovative forging technology using macroshear / V.A. Tyurin // *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo* : Obrabotka materialov davleniem. – 2007. – № 11. – P. 15-20. (Rus.)
3. Vasilevskiy O.V. Investigations of the deformed state of forging type shaft forged in combined anvils / O.V. Vasilevskiy, A.V. Grushko, V.V. Kuhar // *Obrabotka materialov davleniem: Collection of scientific papers* / DGMA. – Kramatorsk, 2011. – № 3(28). – P. 78-82. (Rus.)
4. Vasilevskiy O.V. Research of influence of reduction size on kinematic and energy power features during forging of cylindrical billets at combined anvils / O.V. Vasilevskiy, A.V. Grushko, V.V. Kuhar // *Obrabotka materialov davleniem* : Collection of scientific papers / DGMA. – Kramatorsk, 2012. – №3(32). – P. 44-48. (Rus.)
5. Ershova N.M. Dispersion analysis of observational data using packet analysis in Excel / N.M. Ershova // *Visnik Pridniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnitstva ta arhitekturi* / PDABpA. – Dnipropetrovsk, 2009. – № 3. – P. 12-22. (Rus.)
6. Lando E.A. Correlation analysis and analysis of variance research data of free oscillations massively slab foundation under the car with a vertical impulsive load / E.A. Lando // *Visnik Pridniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnitstva ta arhitekturi* / PDABpA. – Dnipropetrovsk, 2009, – № 3. – P. 25-29. (Rus.)
7. Petrov A.A. The application of analysis of variance to estimate the ratio of staff to the environmental activities of the organization / A.A. Petrov, V.A. Samarin // *Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta* / YuGU. – Hantyi-Mansiysk, 2008. – Vyipusk 3 (10). – P. 64-66. (Rus.)
8. Kuhar' V.V. Experimental research of forging broach modes of blanks with rolling in combination anvils / V.V. Kuhar', O.V. Vasilevskiy // *Visnik NTU «HPI»*. Seriya: Novi rishennya v suchasnihih tehnologiyah / Harkiv. – NTU «HP». – 2013. – P. 139-148. (Rus.)
9. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics / V.E. Gmurman. – M. : Vysshaya

shkola, 2003. – 479 p. (Rus.)

10. Beshenkov S.N. Economic-mathematical methods in management / S.N. Beshenkov. – Smolensk : Madzhenta, 2005. – 54 p. (Rus.)

Рецензент: В.П. Гранкин  
д-р физ.-мат. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 27.10.2014

УДК 621.83

© Кухарь В.В.<sup>1</sup>, Бурко В.А.<sup>2</sup>

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ МЕДНЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ (КРУГЛЫХ В ПЛАНЕ) ПОКОВОК НА ОСНОВЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ БОКОВОГО ПРОФИЛЯ ЗАГОТОВОК СВОБОДНОЙ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ОСАДКОЙ**

*Обоснована целесообразность комбинирования операций предварительного осаждения и прошивки заготовок вне гравюр штампов с операциями последующей завершающей штамповки в штампах при производстве осесимметричных поковок. Операции могут быть выполнены на различном оборудовании, при этом показана необходимость учета закономерностей бочкообразования заготовок при подготовительной осадке перед последующими штамповочными переходами. Предложена обобщенная методика проектирования технологий комбинированной штамповки осесимметричных поковок, учитывающая закономерности формоизменения на операциях осадки и прошивки. Выполнено промышленное внедрение более совершенных технологий горячей объемной штамповки поковок «Сопло» и «Головка кислородной фурмы», позволившее сэкономить до 7,7 % технической меди на каждом изделии.*

**Ключевые слова:** заготовка, технология, подготовительная осадка, горячая объемная штамповка, осесимметричная медная поковка.

**Кухарь В.В., Бурко В.А. Ресурсозберігаючі технології штампування мідних осесимметричних поковок на основі попереднього формування бічного профілю заготовок вільним підготовчим осаджуванням.** Обґрунтована доцільність комбінування операцій попереднього осадження і прошивки заготовок поза гравюрами штампів з операціями подальшого завершального штампування в штампах при виробництві осесимметричних поковок. Операції можуть бути виконані на різному устаткуванні, при цьому показана необхідність обліку закономірностей бочкообразования заготовок при підготовчому осіданні перед подальшими штампувальними переходами. Запропонована узагальнена методика проектування технологій комбінованого штампування осесимметричних поковок, що враховує закономірності формоизменения на операціях осаджування і прошивки. Виконано промислове впровадження досконаліших технологій гарячого об'ємного штампування поковок "Сопло" і "Голівка кисневої фурми", що дозволило заощадити до 7,7 % технічної міді на кожному виробі.

**Ключові слова:** заготовка, технологія, підготовче осіджування, гаряче об'ємне штампування, осесимметрична мідна поковка.

<sup>1</sup> д-р техн. наук, професор, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь, [kvv.mariupol@mail.ru](mailto:kvv.mariupol@mail.ru)

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь, [burko@mariupol.org.ua](mailto:burko@mariupol.org.ua)