

УДК 621.73

Кухарь В. В.
Тузенко О. А.
Балалаева Е. Ю.
Василевский О. В.
Никольченко С. А.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТНОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТКИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОЦЕССА ПРОТЯЖКИ ЗАГОТОВОК В КОМБИНИРОВАННЫХ БОЙКАХ

Процессы протяжки слитков занимают значительное машинное время при производстве поковок валов ковкой на прессах, при этом термические и деформационные режимы оказывают существенное влияние на показатели качества ковальной продукции. Выбор режимов деформации, обеспечивающих улучшение проработки литой структуры металла, зависит от типа применяемых бойков. Для сохранения универсальности рабочего инструмента разрабатывают научно обоснованные инновационные технологииковки, интенсифицирующие проработку внутренних слоев заготовки при незначительных коэффициентах общего укова [1, 2]. В связи с широким применением на практике комбинированных бойков (верхний – плоский, нижний – вырезной радиусный или ромбический) актуальной является разработка способовковки таким инструментом с реализацией схем интенсивных деформаций, при этом необходимо развитие методов оценки проработки металла по сечению заготовки на переходахковки.

Для обеспечения повышения точности по геометрии откованного вала или улучшения проработки металла при протяжке в комбинированных бойках разработаны способыковки [3, 4], сопровождающиеся определенными режимами поворота заготовки вокруг продольной оси между обжатиями при протяжке. В работах [5, 6] проведены теоретические и экспериментальные исследования новых режимов протяжки заготовок с обкаткой в комбинированных бойках (верхний – плоский, нижний – вырезной радиусный). Снижения расходов дорогостоящих материалов и времени на проведение исследований процессов протяжки, а также повышения достоверности результатов исследований по распределению деформаций и напряжений в сечении заготовок, достигают путем разработки аналитических методов оценки напряженно-деформированного состояния материала в очаге деформации. Для исследования процессов протяжки цилиндрических заготовок в вырезных бойках (верхний и нижний бойки имели ромбические вырезы) разработан и успешно применен метод расчетной (условной, фиктивной) координатной сетки [7, 8]. Метод позволяет теоретически определять параметры расчетной делительной сетки после обжатия, а, следовательно, вычислять компоненты главных деформаций на вертикальной и горизонтальной диаметральных плоскостях заготовки, т. е. распределение интенсивностей деформаций в сечении слитка без физического разделения заготовки, трудоёмкого нанесения и измерения размера геометрических меток. Развитие данного метода к исследованию процессов протяжки в комбинированных бойках требует решения отдельной математической задачи, что ранее выполнено не было.

Целью работы является развитие метода расчетной (фиктивной) делительной сетки, в частности, определение её геометрических параметров для исследования неравномерности деформированного состояния в очаге деформации заготовки круглого сечения применительно к процессу протяжки в комбинированных бойках.

Для достижения поставленной цели требуется выполнить теоретическое рассмотрение задачи изменения координат материальных точек в сечении цилиндрической заготовки до и после протяжки в комбинированных бойках, а также, в перспективе, предполагается разработка программного обеспечения для автоматизированного расчета параметров делительной сетки и показателей напряженно-деформированного состояния материала заготовки.

В данной работе рассматривали процесс единичного обжатия цилиндрической заготовки при протяжке в комбинированных бойках (верхний боёк – плоский, нижний – радиусный вырезной). Для рассмотрения искажения внутренних слоев заготовки вдоль её образующей цилиндрической поверхности наносятся до деформации близко расположенные параллельные риски на расстоянии a_0 друг от друга (рис. 1).

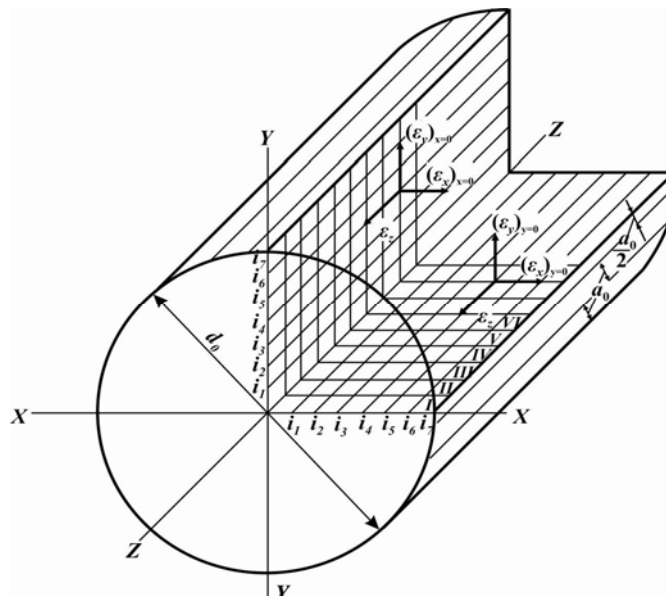


Рис. 1. Главные компоненты деформации на меридиональных сечениях заготовки

Первоначально круглое сечение заготовки радиусом R_3 (рис. 2 а, в) имеет площадь $F_0 = \pi \cdot R_3^2$. Будем считать площадь заготовки после деформации в комбинированных бойках симметричной относительно оси YY (см. рис. 2, г). Тогда площадь фигуры, получившейся в сечении заготовки (рис. 2 б, г), можно представить как сумму следующих площадей:

$$F_k = 2(F_1 + F_2 + F_3), \tag{1}$$

где $F_1 = S_{AOC} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot R_6^2$ – четверть площади круга с радиусом R_6 , мм² (здесь R_6 – радиус выреза нижнего бойка, мм);

$F_2 = S_{CED} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{a_1}{2}$ – половина площади эллипса с полуосями $a_1/2$ и $b/2$ (см. рис. 2, г), мм²;

$F_3 = S_{OGEC} = R_6 \cdot b$ – площадь прямоугольника со сторонами $GF = R_6$ и $OG = b$ (см. рис. 2, г), мм².

Тогда площадь сечения заготовки после деформации будет равна:

$$F_k = 2 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot R_6^2 + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{b \cdot a_1}{4} + R_6 \cdot b \right) = \frac{\pi R_6^2}{2} + \frac{\pi \cdot b \cdot a_1}{4} + 2 \cdot R_6 \cdot b. \tag{2}$$

Компоненты деформаций в направлении оси заготовки ZZ в пределах допустимой погрешности принимали постоянными по всему сечению:

$$\varepsilon_z = \ln \frac{F_0}{F_k}. \tag{3}$$

Рассматривали компоненты деформаций в направлении горизонтальной оси XX (см. рис. 1). Для этого определяли деформации по x на участках AB, BC, CD и DE.

На участке AB (см. рис. 2, г) деформацию по x рассчитывали как

$$(\varepsilon_x)_{y=-\Delta} = \ln \frac{a'_1}{a'_0}, \quad (4)$$

где a'_0 и a'_1 – расстояние между рисками на участке AB до и после деформации, мм;

Δ – смещение первоначального центра сечения заготовки после обжатия в направлении движения инструмента.

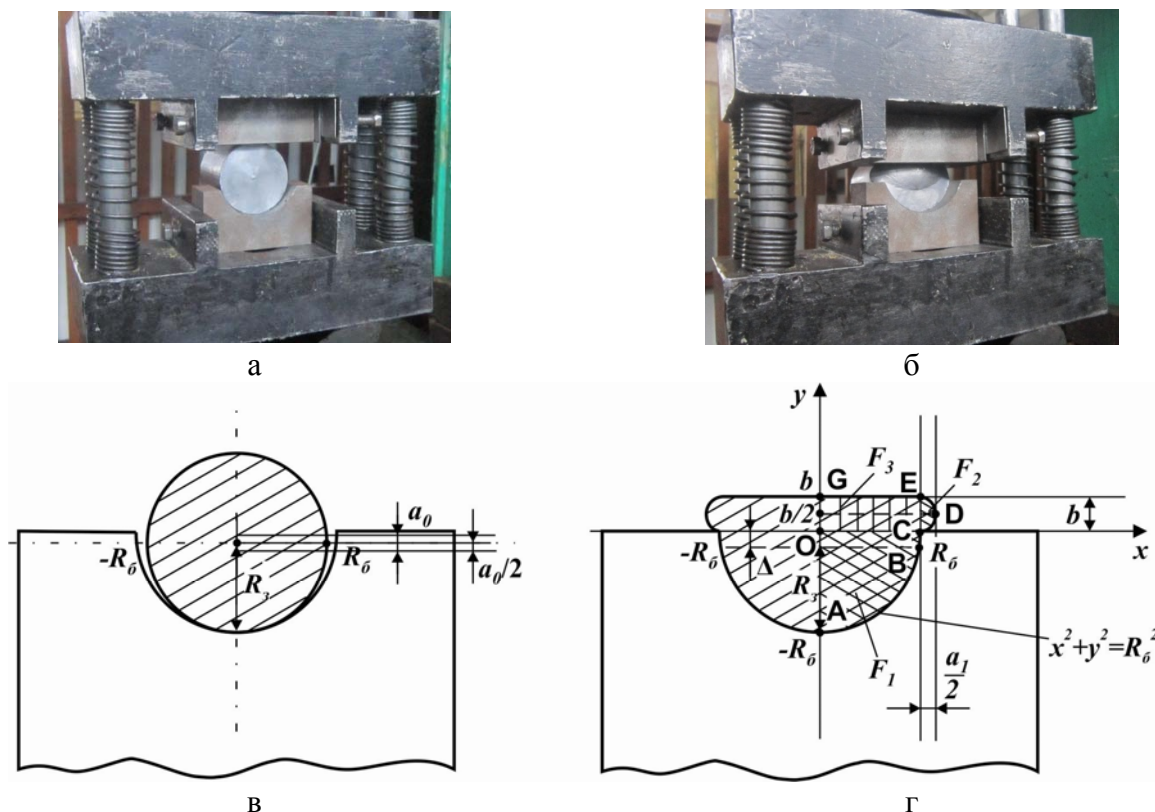


Рис. 2. Фотографии и схематические изображения заготовок в комбинированных бойках до деформации (а, в) и поле деформации (б, г)

Значение компоненты ε_x при $y = -\Delta$ равно:

$$(\varepsilon_x)_{y=-\Delta} = \left(\ln \frac{\partial x}{\partial X} \right)_{y=-\Delta} = -\ln \frac{F_0}{F_k} - \ln \frac{a'_1}{a'_0} = \ln \frac{F_k \cdot a'_0}{F_0 \cdot a'_1}, \quad (5)$$

где x – текущая координата (в механике сплошных сред – переменная Эйлера);

X – исходная координата (переменная Лагранжа);

$\frac{\partial x}{\partial X}$ – четная функция от X .

В данной задаче принимали:

$$\left(\frac{\partial x}{\partial X} \right)_{y=-\Delta} = -C_1 \frac{\sqrt{R_0^2 - X^2}}{R_3} = -C_1 \sqrt{\left(\frac{R_0}{R_3} \right)^2 - \left(\frac{X}{R_3} \right)^2}. \quad (6)$$

Тогда при $y = -\Delta$, $x = 0$ имеем:

$$\left(\frac{\partial x}{\partial X} \right)_{y=-\Delta, x=0} = -C_1 \cdot \frac{R_0}{R_3}. \quad (7)$$

Из (5) и (7) следует:

$$C_1 = -\frac{R_3}{R_6} \cdot \frac{F_k \cdot a_0'}{F_0 \cdot a_1'} \quad (8)$$

Интегрировали выражение (6) по переменной X :

$$x^{(1)} = -C_1 \int \sqrt{\left(\frac{R_6}{R_3}\right)^2 - \left(\frac{X}{R_3}\right)^2} dX = -C_1 \cdot \frac{R_6^2}{R_3} \left(\arcsin \frac{X}{R_6} + \frac{1}{2} \sin(2 \arcsin \frac{X}{R_6}) \right) \quad (9)$$

Таким образом, получили зависимость (9) текущей координаты x от исходной координаты X на участке AB .

На участке BC (см. рис. 2, г) деформацию по x рассчитывали как

$$(\varepsilon_x)_{y=0} = \ln \frac{a_1''}{a_0''} \quad (10)$$

где a_0'' и a_1'' – расстояние между рисками на участке BC до и после деформации, мм.

Значение компоненты ε_x при $y = 0$ равно:

$$(\varepsilon_x)_{y=0} = \left(\ln \frac{\partial x}{\partial X} \right)_{y=0} = -\ln \frac{F_0}{F_k} - \ln \frac{a_1''}{a_0''} = \ln \frac{F_k \cdot a_0''}{F_0 \cdot a_1''} \quad (11)$$

Принимали:

$$\left(\frac{\partial x}{\partial X} \right)_{y=0} = -C_2 \sqrt{\left(\frac{R_6}{R_3}\right)^2 - \left(\frac{X}{R_3}\right)^2} \quad (12)$$

Тогда при $y = 0$, $x = 0$ имеем:

$$\left(\frac{\partial x}{\partial X} \right)_{y=0, x=0} = -C_2 \cdot \frac{R_6}{R_3} \quad (13)$$

Из (11) и (13) следует:

$$C_2 = -\frac{R_3}{R_6} \cdot \frac{F_k \cdot a_0''}{F_0 \cdot a_1''} \quad (14)$$

Интегрировали выражение (12) по переменной X :

$$x^{(2)} = -C_2 \int \sqrt{\left(\frac{R_6}{R_3}\right)^2 - \left(\frac{X}{R_3}\right)^2} dX = -C_2 \cdot \frac{R_6^2}{2R_3} \left(\arcsin \frac{X}{R_6} + \frac{1}{2} \sin(2 \arcsin(\frac{X}{R_6})) \right) \quad (15)$$

Таким образом, получили зависимость (15) текущей координаты x от исходной координаты X на участке BC .

На участке CD (см. рис. 2, г) деформацию по x рассчитывали как

$$(\varepsilon_x)_{y=\frac{b}{2}} = \ln \frac{a_1'''}{a_0'''}, \quad (16)$$

где a_0''' и a_1''' – расстояние между рисками на участке CD до и после деформации, мм.

Значение компоненты ε_x при $y = \frac{b}{2}$ равно:

$$(\varepsilon_x)_{y=\frac{b}{2}} = \left(\ln \frac{\partial x}{\partial X} \right)_{y=\frac{b}{2}} = \ln \frac{F_k \cdot a_0'''}{F_0 \cdot a_1'''} \quad (17)$$

В данной задаче принимали:

$$\left(\frac{\partial x}{\partial X}\right)_{y=\frac{b}{2}} = C_3 \left(\frac{X - R_{\sigma}}{R_3}\right)^2. \quad (18)$$

Тогда при $y = \frac{b}{2}$, $x = R_{\sigma} + \frac{a_1}{2}$ имеем:

$$\left(\frac{\partial x}{\partial X}\right)_{y=\frac{b}{2}}^{x=R_{\sigma}+\frac{a_1}{2}} = C_3 \left(\frac{R_{\sigma} + \frac{a_1}{2} - R_{\sigma}}{R_3}\right)^2 = C_3 \left(\frac{a_1}{2R_3}\right)^2. \quad (19)$$

Из (17) и (19) следует:

$$C_3 = \left(\frac{2R_3}{a_1}\right)^2 \cdot \frac{F_k \cdot a_0'''}{F_0 \cdot a_1''}. \quad (20)$$

Интегрировали выражение (18) по переменной X :

$$x^{(3)} = \int C_3 \left(\frac{X - R_{\sigma}}{R_3}\right)^2 dX = C_3 \cdot \frac{R_3}{3} \left(\frac{X - R_{\sigma}}{R_3}\right)^3. \quad (21)$$

Таким образом, получили зависимость (21) текущей координаты x от исходной координаты X на участке CD .

На участке DE (см. рис. 2, г) деформацию по x рассчитывали как

$$(\varepsilon_x)_{y=\frac{b}{2}} = \ln \frac{a_1'''}{a_0''}, \quad (22)$$

где a_0''' и a_1''' – расстояние между рисками на участке DE до и после деформации, мм.

Значение компоненты ε_x при $y = \frac{b}{2}$ равно:

$$(\varepsilon_x)_{y=\frac{b}{2}} = \left(\ln \frac{\partial x}{\partial X}\right)_{y=\frac{b}{2}} = \ln \frac{F_k \cdot a_0'''}{F_0 \cdot a_1''}. \quad (23)$$

В данной задаче принимали:

$$\left(\frac{\partial x}{\partial X}\right)_{y=\frac{b}{2}} = C_4 - C_5 \left(\frac{X - R_{\sigma}}{R_3}\right)^2. \quad (24)$$

Тогда при $y = \frac{b}{2}$, $x = R_{\sigma} + \frac{a_1}{2}$ имеем:

$$\left(\frac{\partial x}{\partial X}\right)_{y=\frac{b}{2}}^{x=R_{\sigma}+\frac{a_1}{2}} = C_4 - C_5 \left(\frac{R_{\sigma} + \frac{a_1}{2} - R_{\sigma}}{R_3}\right)^2 = C_4 - C_5 \left(\frac{a_1}{2R_3}\right)^2. \quad (25)$$

Из (23) и (25) следует:

$$C_4 - C_5 \cdot \left(\frac{a_1}{2R_3}\right)^2 = \frac{F_k \cdot a_0'''}{F_0 \cdot a_1''}. \quad (26)$$

Интегрировали выражение (24) по переменной X :

$$x^{(4)} = \int \left(C_4 - C_5 \left(\frac{X - R_6}{R_3} \right) \right)^2 dX = C_4 \cdot X - C_5 \cdot \frac{R_3}{3} \left(\frac{X - R_6}{R_3} \right)^3. \quad (27)$$

Используя выражение (27), получили:

$$\int_{R_6}^{R_6 + \frac{a_1}{2}} \left(\frac{\partial x}{\partial X} \right)_{Y = \frac{b}{2}} dX = \left(C_4 \cdot X - C_5 \cdot \frac{R_3}{3} \cdot \left(\frac{x - R_6}{R_3} \right)^3 \right) \Big|_{R_6}^{R_6 + \frac{a_1}{2}} = C_4 \cdot \frac{a_1}{2} - C_5 \cdot \frac{R_3}{3} \left(\frac{a_1}{2R_3} \right)^3. \quad (28)$$

Приравнявая (28) к $\frac{a_1}{2}$ и проводя преобразования, имеем:

$$C_4 - C_5 \cdot \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{a_1}{2R_3} \right)^2 = 1. \quad (29)$$

Решали систему уравнений (26) и (29):

$$\begin{cases} C_4 = \frac{F_k \cdot a_0'''}{F_0 \cdot a_1'''} + C_5 \cdot \left(\frac{a_1}{2R_3} \right)^2, \\ \frac{F_k \cdot a_0'''}{F_0 \cdot a_1'''} + C_5 \left(\frac{a_1}{2R_3} \right)^2 - C_5 \cdot \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{a_1}{2R_3} \right)^2 = 1. \end{cases} \quad (30)$$

Решение системы (30) имеет вид:

$$\begin{cases} C_4 = \frac{3}{2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{F_k \cdot a_0'''}{F_0 \cdot a_1'''}, \\ C_5 = \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{2R_3}{a_1} \right)^2 \cdot \left(1 - \frac{F_k \cdot a_0'''}{F_0 \cdot a_1'''} \right). \end{cases} \quad (31)$$

Таким образом, получили зависимость (27) текущей координаты x от исходной координаты X на участке DE .

Рассматривали компоненты деформаций в направлении вертикальной оси YU (см. рис. 1). Для этого определяли деформации по Y на участках AB и CE .

На участке AB (см. рис. 2, г) при $y = 0$, $x = 0$ имеем:

$$\left(\frac{\partial y}{\partial Y} \right)_{x=0} = K_1 \cdot \frac{\sqrt{R_6^2 - Y^2}}{R_3} = K_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{R_6}{R_3} \right)^2 - \left(\frac{Y}{R_3} \right)^2}. \quad (32)$$

Интегрировали выражение (32) по переменной Y :

$$y^{(1)} = K_1 \int \sqrt{\left(\frac{R_6}{R_3} \right)^2 - \left(\frac{Y}{R_3} \right)^2} dY = K_1 \cdot \frac{R_6^2}{2R_3} \left(\arcsin \frac{Y}{R_6} + \frac{1}{2} \cdot \sin \left(2 \arcsin \frac{Y}{R_6} \right) \right). \quad (33)$$

Используя выражение (33), после преобразований получили:

$$\int_{-R_6}^0 \left(\frac{\partial y}{\partial Y} \right)_{x=0} dY = K_1 \cdot \frac{R_6^2}{2R_3} \cdot \left(\arcsin \frac{Y}{R_6} + \frac{1}{2} \sin \left(2 \arcsin \frac{Y}{R_6} \right) \right) \Big|_{-R_6}^0 = K_1 \cdot \frac{R_6^2 \cdot \pi}{4R_3}. \quad (34)$$

Приравнявая (34) к R_6 , имеем:

$$K_1 = \frac{4R_3}{R_6 \cdot \pi}. \quad (35)$$

Таким образом, получили зависимость (33) текущей координаты y от исходной координаты Y на участке AB .

На участке CE (см. рис. 2, г) при $y = \frac{b}{2}$, $x = R_6$ имеем:

$$\left(\frac{\partial y}{\partial Y}\right)_{x=R_6} = K_2 - K_3 \left(\frac{Y - \frac{b}{2}}{R_3}\right)^2. \quad (36)$$

Интегрировали выражение (36) по переменной Y :

$$y^{(2)} = \int \left(K_2 - K_3 \cdot \left(\frac{Y - \frac{b}{2}}{R_3}\right)^2 \right) dY = K_2 \cdot Y - K_3 \cdot R_3 \cdot \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{Y - \frac{b}{2}}{R_3}\right)^3. \quad (37)$$

Принимая во внимание условие несжимаемости, имеем:

$$(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)_{x=R_6, y=\frac{b}{2}} = \ln C_4 + \ln K_2 + \ln \frac{F_0}{F_k} = 0. \quad (38)$$

Тогда несложно получить:

$$K_2 = \frac{F_k}{C_4 \cdot F_0} = \frac{F_k}{\left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{F_k \cdot a_0'''}{F_0 \cdot a_1'''}\right) \cdot F_0} = \frac{2F_k \cdot a_1'''}{3F_0 \cdot a_1''' - F_k \cdot a_0'''} \quad (39)$$

Используя выражение (37), получили:

$$\int_0^b \left(\frac{\partial y}{\partial Y}\right)_{x=R_6} dY = 2 \int_{\frac{b}{2}}^b \left(\frac{\partial y}{\partial Y}\right)_{x=R_6} = 2 \left(K_2 \cdot Y - K_3 \cdot R_3 \cdot \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{Y - \frac{b}{2}}{R_3}\right)^3 \right) \Bigg|_{\frac{b}{2}}^b = K_2 \cdot b - K_3 \cdot \frac{b}{3} \left(\frac{b}{2R_3}\right)^2. \quad (40)$$

Приравнявая (40) к b , имеем:

$$K_3 = 3 \left(\frac{2R_3}{b}\right)^2 \cdot \left(\frac{2F_k \cdot a_1'''}{3F_0 \cdot a_1''' - F_k \cdot a_0'''} - 1 \right). \quad (41)$$

Таким образом, получили зависимость (37) текущей координаты y от исходной координаты Y на участке CE .

Расстояния между рисками до деформации ($a_0 \approx a_0' \approx a_0'' \approx a_0'''$) и после деформации ($a_1' \approx a_1'' \approx a_1'''$), а также размеры b , a_1 , R_6 и R_3 требуется найти из эксперимента.

ВЫВОДЫ

Получили развитие метод расчетной (фиктивной) делительной сетки применительно к процессу протяжки цилиндрической заготовки в комбинированных бойках. Теоретически получены выражения для вычисления компонент главных деформаций в сечении заготовки и исследования неравномерности её деформированного состояния после проведения обжатия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.*

2. Тюрин В.А. Инновационные технологииковки с применением макросдвигов / В. А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2007. – № 11. – С. 15–20.
3. Пат. 74747 (UA, Україна), МПК (2012.01) В 21 J 5/00. Спосіб кування заготовки / Кухар В. В., Василевський О. В., Лісовий М. О., Бланко-Філімонов Р., Грушко О. В. (UA, Україна). – № u201204821; заявл. 17.04.12; опубл. 12.11.12, Бюл. № 21. – 2 с.
4. Пат. 75646 (UA, Україна), МПК (2012.01) В 21 J 5/00. Спосіб кування валів / Кухар В. В., Василевський О. В., Лісовий М. О., Божко М. Є., Бурко В. А. (UA, Україна). – № u201206061; заявл. 21.05.12; опубл. 10.12.12, Бюл. № 23. – 2 с.
5. 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 : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 3 (28). – С. 78–82.
6. Кухарь В. В. Экспериментальные исследования режимов кузнечной протяжки заготовок с обкаткой в комбинированных бойках / В. В. Кухарь, О. В. Василевский // Вестник Харьковского национального технического университета «ХПИ» : сб. научн. тр. – НТУ «ХПИ». – Харьков, 2013. – Темат. вып. : Новые решения в современных технологиях. – № 43 (1016). – С. 139–148.
7. Смирнов-Аляев А. Г. Механические основы пластической обработки металлов / А. Г. Смирнов-Аляев. – Л. : Машиностроение, 1968. – 272 с.
8. Булгаков Б. С. О влиянии формы рабочей поверхности вырезных бойков на неравномерность деформации поковок / Б. С. Булгаков // Кузнечно-штамповочное производство. – 1969. – № 4. – С. 6–11.

REFERENCES

1. 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.
2. Tjurin V.A. Innovacionnye tehnologii kovki s primeneniem makrosdvigov / V. A. Tjurin // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem. – 2007. – № 11. – S. 15–20.
3. Pat. 74747 (UA, Ukraïna), MPK (2012.01) B 21 J 5/00. Sposib kuvannja zagotovki / Kuhar V. V., Vasilevs'kij O. V., Lisovij M. O., Blanko-Filimonov R., Grushko O. V. (UA, Ukraïna). – № u201204821; zajavl. 17.04.12; opubl. 12.11.12, Bjul. № 21. – 2 s.
4. Pat. 75646 (UA, Ukraïna), MPK (2012.01) B 21 J 5/00. Sposib kuvannja valiv / Kuhar V. V., Vasilevs'kij O. V., Lisovij M. O., Bozhko M. Є., Burko V. A. (UA, Ukraïna). – № u201206061; zajavl. 21.05.12; opubl. 10.12.12, Bjul. № 23. – 2 s.
5. Vasilevskij O. V. Issledovanie deformirovannogo sostojanija pokovok tipa valov pri kovke v kombinirovannyh bojkah / O. V. Vasilevskij, A. V. Grushko, V. V. Kuhar' // Obrabotka materialov davleniem : sbornik nauchnyh trudov. – Kramatorsk : DGMA, 2011. – № 3 (28). – С. 78–82.
6. Kuhar' V. V. Jeksperimental'nye issledovanija rezhimov kuznechnoj protjazhki zagotovok s obkatkoj v kombinirovannyh bojkah / V. V. Kuhar', O. V. Vasilevskij // Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo tehničeskogo universiteta «HPI» : sb. nauchn. tr. – NTU «HPI». – Har'kov, 2013. – Temat. vyp. : Novye reshenija v sovremennyh tehnologijah. – № 43 (1016). – S. 139–148.
7. Smirnov-Aljaev A. G. Mehanicheskie osnovy plasticheskoj obrabotki metallov / A. G. Smirnov-Aljaev. – L. : Mashinostroenie, 1968. – 272 s.
8. Bulgakov B. S. O vlijanii formy rabochej poverhnosti vyreznnyh bojkov na neravnomernost' deformacii pokovok / B. S. Bulgakov // Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 1969. – № 4. – S. 6–11.

Кухарь В. В.	– д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»
Тузенко О. А.	– канд. техн. наук, доц. ГВУЗ «ПГТУ»
Балалаева Е. Ю.	– канд. техн. наук, ст. преп. ГВУЗ «ПГТУ»
Василевский О. В.	– гл. технолог ООО «Метинвест – МРМЗ»
Никольченко С. А.	– студент ГВУЗ «ПГТУ»

ГВУЗ «ПГТУ» – Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь;

ООО «Метинвест МРМЗ» – ООО «Метинвест – Мариупольский ремонтно-механический завод», г. Мариуполь.

E-Mail: kvv_mariupol@mail.ru