



ISSN 2076-2151

О

М

Д

ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ



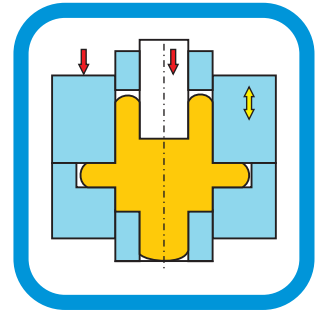
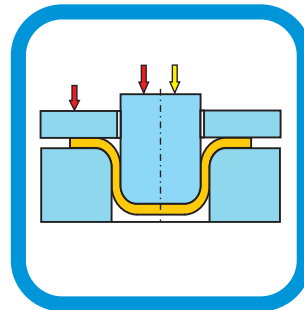
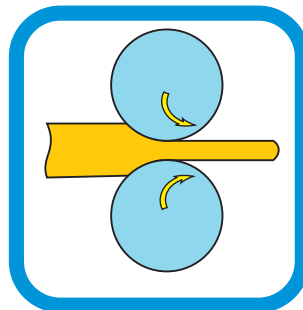
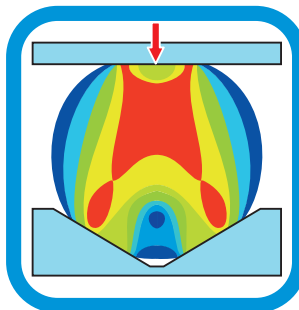
ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ



MATERIALS WORKING BY PRESSURE



UMFORMTECHNIK



№ 2(47)



2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ (ДГМА)

ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Выходит 4 раза в год

Основан в мае 2008 г.

№ 2 (47) 2018

Краматорск
ДГМА
2018

УДК 621.7

**ОБРАБОТКА
МАТЕРИАЛОВ
ДАВЛЕНИЕМ**

**Сборник научных трудов
№ 2 (47) 2018**

Основатель и издатель
Донбасская государственная
машиностроительная академия

Свидетельство
про государственную регистрацию
серия КВ № 13770-2744Р
от 17.03.2008

**ОБРОБКА
МАТЕРІАЛІВ
ТИСКОМ**

**Збірник наукових праць
№ 2 (47) 2018**

Засновник і видавець
Донбаська державна
машинобудівна академія

Свідоцтво
про державну реєстрацію
серія КВ № 13770-2744Р
від 17.03.2008

**MATERIALS
WORKING BY
PRESSURE**

**Collection of science papers
№ 2 (47) 2018**

Founder and publisher
Donbass State
Engineering Academy

Registration certificate
№ 13770-2744Р
dated 17.03.2008

Сборник «ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ» включен в Перечень научных специализированных изданий Украины по техническим наукам для опубликования результатов диссертационных работ (приказ МОНУ № 1714 от 28.12.17 г.), категория В.

Рекомендован к печати ученым советом Донбасской государственной машиностроительной академии (протокол № 5 от 29.11.2018 г.).

Редакционная коллегия: Алиев И. С., д-р техн. наук, проф. (председатель редакционной коллегии); Жбанков Я. Г., д-р техн. наук, доц. (зам. председателя редакционной коллегии); Бейгельзимер Я. Е., д-р техн. наук, проф.; Грибков Э. П., д-р техн. наук, доц.; Дашич П., д-р техн. наук, проф. (Сербия); Драгобецкий В. В., д-р техн. наук, проф.; Дья Х., д-р техн. наук, проф. (Польша); Крюгер К., д-р техн. наук, проф. (Германия); Кухарь В. В., д-р техн. наук, проф.; Марков О. Е., д-р техн. наук, проф.; Миленин А. А., д-р техн. наук, проф. (Польша); Найзабеков А. Б., д-р техн. наук, проф. (Казахстан); Огородников В. А., д-р техн. наук, проф.; Орлов Д. В., д-р техн. наук, проф. (Швеция); Мамутов В. С., д-р техн. наук, проф. (Россия); Тарасов А. Ф., д-р техн. наук, проф.; Титов В. А., д-р техн. наук, проф.; Фролов Я. В., д-р техн. наук, проф.

Ответственный редактор выпуска д-р техн. наук, проф. Алиев И. С.

Научный редактор выпуска д-р техн. наук, проф. Марков О. Е.

Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2018. – № 2 (47). – 220 с.

ISSN 2076-2151

В сборнике размещены статьи различных направлений процессов и машин обработки материалов давлением, подготовленные профессорско-преподавательским составом, научными сотрудниками, аспирантами, соискателями, специалистами. Сборник предназначен для научных и инженерных работников, аспирантов и студентов.

У збірнику розміщено статті різних напрямків процесів і машин обробки матеріалів тиском, підготовлені професорсько-викладацьким складом, науковими співробітниками, аспірантами, здобувачами, фахівцями. Збірник призначений для наукових й інженерних працівників, аспірантів і студентів.

Different articles of various directions of processes and machines of materials forming, prepared by the faculty, scientific employees, post-graduate students, competitors, experts are placed in this collection. The collection is intended for scientific and engineering workers, post-graduate students and students.

Статьи прорецензированы членами редакционной коллегии.

Материалы номера печатаются на языке оригинала.

ISSN 2076-2151

© Донбасская государственная
машиностроительная академия, 2018

© Донбаська державна машинобудівна
академія, 2018

© Donbass State Engineering Academy, 2018

РАЗДЕЛ 1
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Тарасов О. Ф., Коваленко А. К., Алтухов О. В., Лебідь В. Т.	3
Скінченно-елементне моделювання багатоступового формування ребер на основі розробки структурно-параметричної моделі узагальненого інструменту	12
Алієв І. С., Левченко В. М., Кузенко О. А.	
Моделювання процесу радіального видавлювання деталей з фланцем	
Ахлестин А. В., Левченко В. М., Ахлестин В. Л.	19
Моделирование процессов контактного взаимодействия инструмента и заготовки при валковой формовке профилей и труб	
Dobrov I. V., Semichev A. V., Morozenko E. P., Koptilyu A. V.	26
Optical method of physical simulation of local deformation during strip drawing using monolithic tool	
Naranich Y. Y., Frolov Y. V.	31
Simulation of inner longitudinal channel transformation at rolling using QForm software	
Кошоводов Д. В., Андреев В. В., Мартинюк М. О.	39
Моделювання процесу повздовжньої прокатки штаб із сплаву алюмінію системи Al-Mg-Sc	
Огинский И. К., Ремез О. А.	46
Моделирование процесса непрерывной прокатки в калибрах системы «ромб-квадрат»	
Карнаух С. Г., Мироненко Е. В.	54
Моделирование процесса разделения труб с использованием программного продукта DEFORM-3D	

Кох А. К., Єрьомкін Є. А. 59

Розрахунок енергосилових параметрів процесу розгинання гофрованого листа в прямий

РАЗДЕЛ II ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Герасименко О. В., Марков О. Є., Хващинський А. С., Маркова М. О., Різак П. І. 63

Розробка ресурсозберігаючого процесу кування пустотілих поковок відповідального призначення

Жбанков Я. Г., Алиев И. С. 69

Разработка классификации процессов ковки валов и дисков и выбор направлений их исследований

Злигорєв В. М., Рагуліна Н. В., Шевцов С. О., Інчаков Є. В., Касілов М. С. 78

Дослідження осадження заготовок з увігнутими під кутом 120° гранями

Алиева Л. И., Алиев И. С., Картамышев Д. А., Донченко Е. И., Чучин О. В. 83

Изготовление сложнопрофилированных деталей в процессе радиально-прямого выдавливания

Алиев И. С., Корденко М. Ю., Самогладов А. Д. 90

Комбинированное выдавливание полых конических деталей

Алиева Л. И., Сивак Р. И., Коцюбивская Е. И., Сухоруков С. И. 96

Деформируемость заготовок при радиальном выдавливании с противодавлением

Калюжний В. Л., Потятиник А. М., Малій Х. В. 105

Визначення параметрів холодного комбінованого видавлювання вісесиметричних порожнистих напівфабрикатів із виступом у донній частині зі сторони порожнини

УДК 621.777.01

Алиева Л. И.
Сивак Р. И.
Коцюбивская Е. И.
Сухоруков С. И.

ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ ЗАГОТОВОК ПРИ РАДИАЛЬНОМ ВЫДАВЛИВАНИИ С ПРОТИВОДАВЛЕНИЕМ

Холодная штамповка металлов выдавливанием широко используется во всех отраслях машиностроения. К преимуществам холодного выдавливания можно отнести высокую точность и качество поверхности получаемых заготовок, что позволяет получать штамповкой заготовки сложных конфигураций, которые не требуют последующей доработки методами обработки резанием [1–3]. Кроме того, при холодной пластической деформации происходит упрочнение деформируемого металла. Для изготовления сплошных и пустотелых деталей с фланцами разных толщин и диаметров в большинстве случаев используют способы холодного радиального выдавливания [1].

К факторам, которые ограничивают распространение холодного радиального выдавливания можно отнести наличие высоких удельных усилий, а также неблагоприятную схему напряженного состояния в области экватора фланца, что ограничивает возможности получения фланцев относительно больших размеров. При свободном выдавливании имеют место искажения формы фланцев в виде грибовидности или утяжин [1, 2]. Для управления формообразованием деталей с фланцами и утолщениями, получаемых поперечным выдавливанием, используются различные приемы силового и кинематического воздействия на деформируемую заготовку [1, 3]. Для повышения предельной степени формоизменения и устранения искажений формы фланца перспективными являются схемы радиального выдавливания с противодействием, которое может быть создано путем выдавливания в клиновидную или ступенчатую полость твердой рабочей среды [4–9].

Одними из первых работ, посвященных возможностям увеличения предельной степени формоизменения за счет создания противодействия, являются исследования Когана Р. [4] и Александера И. [5]. Ими обращено внимание на трудность обеспечения равномерного вытекания металла в радиальную полость и приложения противодействия из-за грибовидного искажения формы выдавливаемых фланцев. Выравнивание торца фланца для облегчения приложения противодействия может быть обеспечено путем последовательного двустороннего выдавливания металла заготовки в полость на начальной стадии процесса [1]. Теоретическому обоснованию целесообразности приложения противодействия при выдавливании фланцев и энергетическим расчетам процесса посвящены работы [6–9]. Актуальным представляется оценка изменения деформируемости заготовок, обусловленного созданием противодействия в приемной полости при радиальном выдавливании.

Целью работы является оценка технологической деформируемости заготовки при радиальном выдавливании с приложением противодействия с использованием критериев, учитывающих схему напряженного состояния.

Для исследования процесса радиального выдавливания с противодействием, которое создается техническим свинцом, использовали трубчатые заготовки из алюминиевого сплава АД1. На рис. 1 показана схема процесса, заготовка с $d_{\text{вн}} = 20$ мм и $d_{\text{нар}} = 30$ мм высотой $h = 55$ мм и свинцовое кольцо с внешним диаметром, равным диаметру полости (ширина щели $\delta = 2$ мм), в которую выдавливается фланец ($d_{\text{пол}} = 120$ мм) и внутренним диаметром равным внешнему диаметру заготовки. Полученная после выдавливания заготовка показана на рис. 2. Диаметр фланца полученной заготовки составляет $D_{\text{ф}} = 59,6$ мм. Применение для создания противодействия пластической среды позволяет устранить трудности уплотнения, возникающие при использовании жидкости.

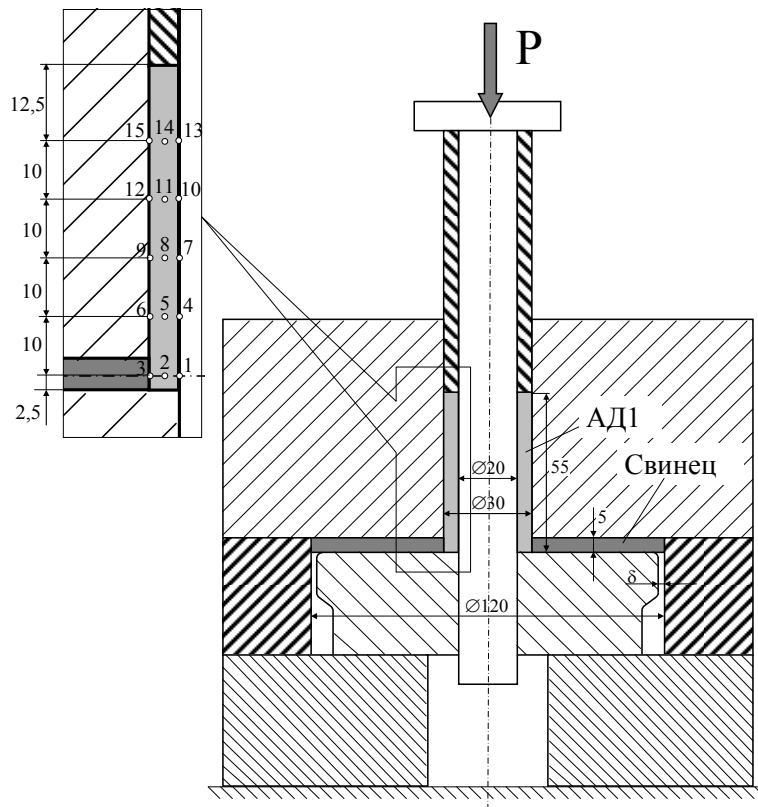


Рис. 1. Схема радиального выдавливания осесимметричных деталей с относительно тонким фланцем



Рис. 2. Заготовка до и после выдавливания

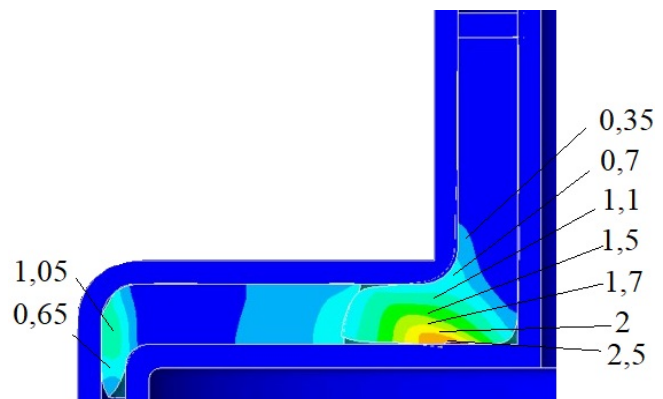


Рис. 3. Деформированное состояние заготовки

В работе [6] получено приближенное решение такой задачи инженерным и численным методами. При этом твёрдая рабочая среда выдавливалась в горизонтально расположенную клиновидную полость, образованную плоскостями разъёма верхней и нижней матриц и расположенную в средней (по высоте) части выдавливаемого фланца. При такой схеме выдавливания значительно упрощается решение задачи пластического течения металла, однако существенно усложняется конструкция необходимого приспособления. В данной работе щель расположена вертикально, как показано на рис. 1, что упрощает конструкцию приспособления для выдавливания и позволяет получить такое приспособление меньших размеров. Для расчетов напряжённо-деформированного состояния (рис. 3) использована программа ANSYS.

Условия трения на поверхностях контакта заготовки и инструмента задавали по Кулону. Коэффициент трения принимали равным 0,3. Кривые течения алюминия и свинца аппроксимировали зависимостями:

для сплава алюминия АД1:

$$\sigma_u = 136e_u^{0,22}; \quad (1)$$

для технического свинца:

$$\sigma_u = 13,4e_u^{0,06}. \quad (2)$$

Напряжённно-деформированное состояние и закон его изменения в течение всего процесса формоизменения рассчитывали в характерных точках заготовки, показанных на рис. 1. В данной работе полученные результаты использовали для построения траекторий нагружения этих точек в координатах η, μ_σ, e_u или η, χ, e_u . Так как в качестве параметра выбрана одна из координат – степень деформации e_u , то уравнения траектории нагружения имеют вид:

$$\eta = \eta(e_u), \mu_\sigma = \mu_\sigma(e_u) \text{ или } \eta = \eta(e_u), \chi = \chi(e_u).$$

Полученные траектории в координатах η, μ_σ, e_u приведены на рис. 3, а в координатах η, χ, e_u на рис. 4. Значения показателя жёсткости напряжённного состояния η , параметра Лодде-Надаи μ_σ и показателя В. А. Огородникова χ , учитывающего влияние третьего инварианта тензора напряжений [10, 11], рассчитывали по формулам:

$$\eta = \frac{3\sigma}{\sigma_u}, \mu_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}, \chi = \frac{\sqrt[3]{\sigma_1\sigma_2\sigma_3}}{\sigma_u}. \quad (3)$$

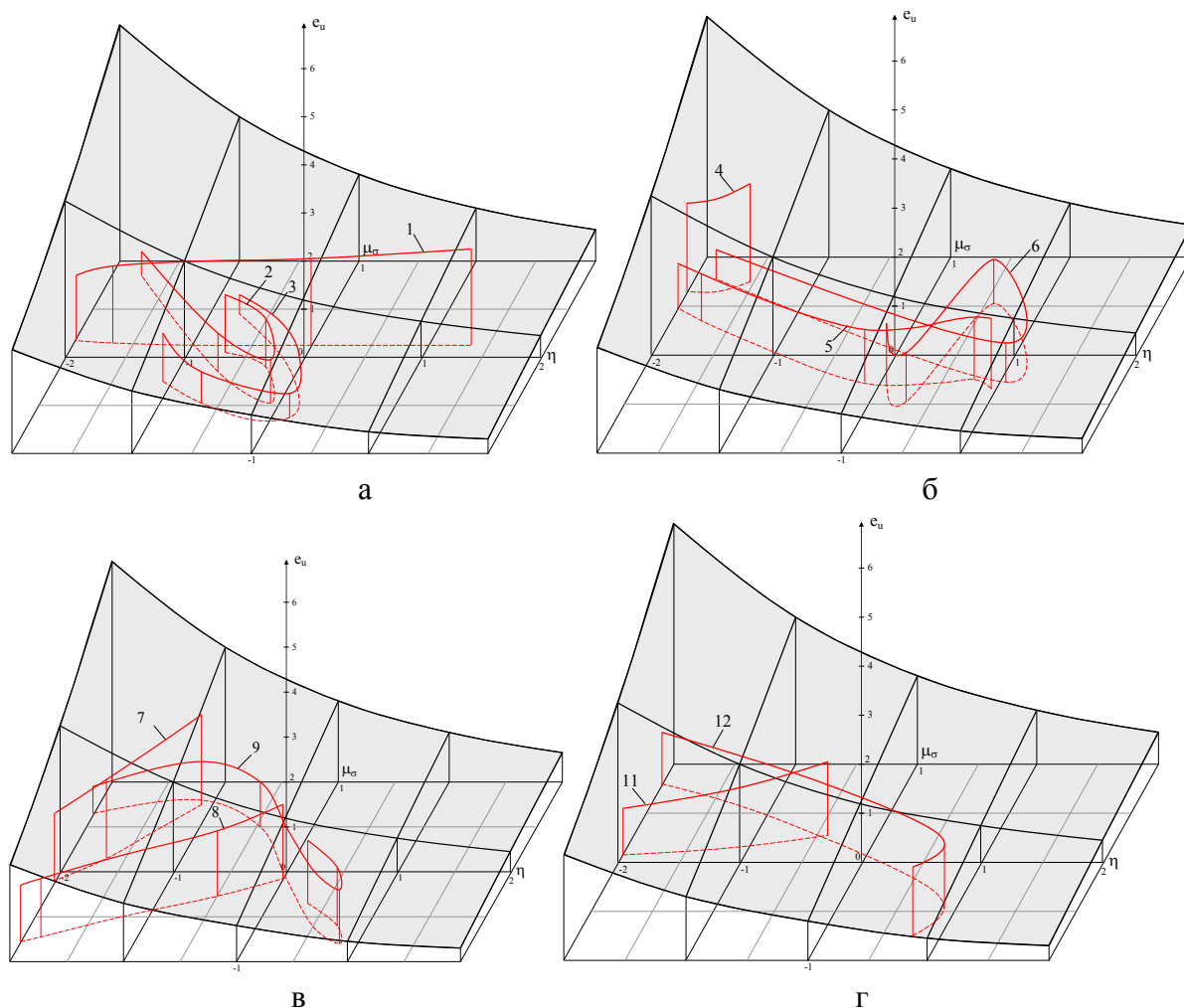


Рис. 4. Поверхность предельных деформаций АД1 и траектории нагружения в координатах η, μ_σ, e_u

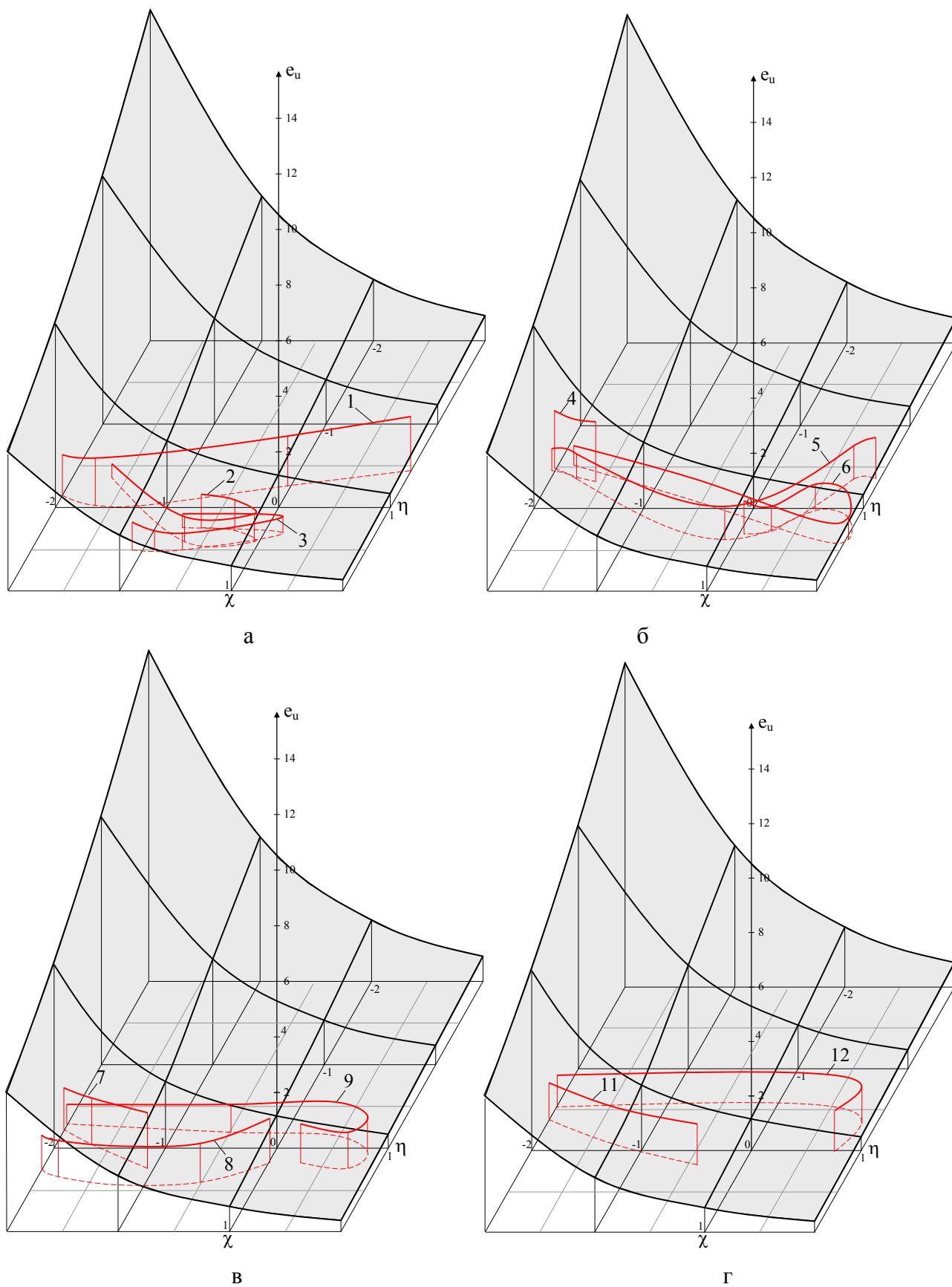


Рис. 5. Поверхность предельных деформаций АД1 и траектории нагружения в координатах η, χ, e_u

Степень деформации e_u рассчитывали по формуле:

$$e_u = \int_0^t \dot{\varepsilon}_u d\tau, \quad (4)$$

в которой использовали значения интенсивности скоростей деформаций $\dot{\varepsilon}_u$, полученные методом конечных элементов.

Так как траектории нагружения $\eta(e_u)$, $\mu_\sigma(e_u)$ и траектории $\eta(e_u)$, $\chi(e_u)$ имеют значительную кривизну (см. рис. 4, 5), то величину использованного ресурса пластичности рассчитывали по критерию Г. Д. Деля [12], который позволяет рассчитывать величину использованного ресурса пластичности ψ как при немонотонном, так и при сложном монотонном нагружении. Для оценки влияния истории нагружения на пластичность при объёмном напряжённом состоянии использовано пространство с координатами η , μ_σ , e_u , в котором этот критерий принимает вид [13, 14]:

$$\psi = \sqrt{\psi_{ij}\psi_{ij}}, \quad (5)$$

где

$$\psi_{ij} = \int_0^{e_u} \left(1 - a + 2a \frac{e_u^*}{e_p(\eta, \mu_\sigma)} \right) \beta_{ij} \frac{de_u^*}{e_p(\eta, \mu_\sigma)}, \quad (6)$$

или пространство с координатами η , χ , e_u :

где

$$\psi_{ij} = \int_0^{e_u} \left(1 - a + 2a \frac{e_u^*}{e_p(\eta, \chi)} \right) \beta_{ij} \frac{de_u^*}{e_p(\eta, \chi)}, \quad (7)$$

$$\beta_{ij} = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{d\varepsilon_{ij}}{de_u},$$

e_u^* – степень деформации при соответствующих значениях η и μ_σ

$e_p = \int_0^{t_p} \dot{\varepsilon}_u d\tau$ – предельная деформация,

t_p – время деформирования до разрушения, константу a принимали равной $a = 0,2$.

Поверхности предельных деформаций аппроксимировали зависимостями, полученными в работах [8, 14]:

– поверхность предельных деформаций алюминия АД1 в координатах η , μ_σ , e_u [8]:

$$e_p(\eta, \mu_\sigma) = 1,20 \exp(0,5246\mu_\sigma - 0,32540\eta);$$

– поверхность предельных деформаций алюминия АД1 в координатах η , χ , e_u [14]:

$$e_p(\eta, \chi) = 1,2 \exp(-0,85\eta - 0,3\chi).$$

Значение de_u берется в точке с координатами η , μ_σ , e_u в формуле (6) или в точке с координатами η , χ , e_u в формуле (7).

На рис. 3 приведены траектории нагружения для интервалов значений $-2 \leq \eta \leq 1$, $-1 \leq \mu_\sigma \leq 1$, а на рис. 4 для интервалов $-2 \leq \eta \leq 1$ и $-2 \leq \chi \leq 1$. Такие интервалы выбраны потому, что для всех точек значения χ находятся в интервале $-2,5 \leq \chi \leq 0,5$, значения μ_σ

в интервале $-1 \leq \mu_\sigma \leq 1$, а значения η не превышают единицы, то есть во всех точках $\eta < 1$. Однако в отрицательной области η достигает величины $\eta = -10,4$ (точка 11). Минимальные значения η для выбранных точек заготовки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Минимальные значения η для точек заготовки 1 – 15.

Точки	η	Точки	η	Точки	η	Точки	η	Точки	η
1	-5,35	4	-3,9	7	-4,95	10	-7	13	-8,6
2	-1,66	5	-5,56	8	-8,34	11	-10,4	14	-9,76
3	-0,86	6	-1,85	9	-8,3	12	-8,7	15	-8,31

Выбранные на рис. 3, 4 интервалы значений η обусловлены тем, что при $\eta < -2$, $\mu_\sigma > 0$ и $\chi < 0$ интенсивность процессов накопления повреждений очень низка и с дальнейшим уменьшением η более интенсивны процессы «залечивания», которые при $\eta < -4$ сопровождаются изменением структуры деформированного металла. Поэтому такие условия пластической деформации часто используют для улучшения механических характеристик материалов [15].

На рис. 3, 4 полностью приведены траектории точек 2, 3 и 6. Для остальных точек показана только та часть траектории, значения η , χ и μ_σ которой соответствуют принятым на рис. 3, 4 интервалам этих величин. Часть траекторий для значений $\eta < -2$ не показана.

Траектории точек 13, 14, 15 на рис. 3, 4 не показаны, так как η в этих точках изменяется в пределах:

$$-8,60 \leq \eta_{13} \leq -4,35, -9,76 \leq \eta_{14} \leq 4,11, -8,31 \leq \eta_{15} \leq 3,65.$$

Анализ характера траекторий нагружения, приведённых на рис. 3, 4, показывает, что для точек 5, 6, 9, 12, 15 характерно немонотонное нагружение, в остальных точках имеет место сложное нагружение в условиях объёмного напряжённого состояния. Поэтому величину использованного ресурса пластичности ψ рассчитывали по критерию (5) для всего интервала значений η , χ , μ_σ и e_u . Результаты расчётов ψ_η по формуле (5) с использованием компонент тензора повреждений (6) и ψ_χ – по (5) с использованием компонент тензора повреждений (7) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчётов ψ_η по (5) с использованием (6) и ψ_χ – по (5) с использованием (7)

Точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Расчёт ψ по (5) с использованием (6)															
ψ_η	0,60	0,48	0,52	0,30	0,47	0,43	0,28	0,36	0,51	0,08	0,28	0,46	0,06	0,08	0,08
Расчёт ψ по (5) с использованием (7)															
ψ_χ	0,53	0,41	0,44	0,24	0,40	0,35	0,24	0,30	0,43	0,05	0,23	0,40	0,05	0,06	0,07

Как видно из табл. 2, при выбранной модели процесса накопления повреждений, описываемой критерием (5), результаты расчётов значений ψ с использованием координат η , μ_σ , e_u или η , χ , e_u отличаются незначительно.

Незначительное уменьшение расчётных значений ψ_χ по сравнению с ψ_η обусловлено тем, что предельная деформация e_p в области отрицательных значений η и χ увеличивается быстрее, чем в области, где $\eta < 0$, а $\mu_\sigma > 0$. Необходимо отметить, что в работах Огородникова В. А. [10, 15] показано, что использование при исследовании пластичности металлов в условиях объёмного напряжённого состояния показателя χ вместо μ_σ при оценке использованного ресурса пластичности ψ позволяет получить расчётные значения ψ более близкие к экспериментальным.

Кроме того, при пересечении плоскости $\chi = 0$ (плоское напряжённое состояние) с поверхностью предельных деформаций $e_p(\eta, \chi)$, получается предельная кривая $e_p(\eta, 0)$, которая полностью совпадает с диаграммой пластичности $e_p(\eta)$.

В работе [13] показано, что при использовании в качестве координат η, μ_σ, e_u для исследования пластичности металлов при объёмном напряжённом состоянии, плоское напряжённое состояние описывается тремя предельными кривыми.

При $\sigma_2 = 0$ зависимость пластичности от схемы напряжённого состояния описывается предельной кривой $e_{p2}(\eta)$, которая получается от пересечения поверхности $e_p(\eta, \mu_\sigma)$ с поверхностью:

$$f_2(\eta, \mu_\sigma) = \eta + \frac{2\mu_\sigma}{\sqrt{\mu_\sigma^2 + 3}} = 0 \quad (8)$$

и в интервале значений $-1 \leq \eta \leq 1$ полностью совпадает с известной диаграммой пластичности $e_p(\eta)$.

При $\sigma_1 = 0$ имеет место плоское сжатие и зависимость e_p от η описывается предельной кривой $e_{p1}(\eta)$, которая является результатом пересечения поверхности:

$$f_1(\eta, \mu_\sigma) = \eta - \frac{\mu_\sigma - 3}{\sqrt{\mu_\sigma^2 + 3}} \quad (9)$$

с поверхностью предельных деформаций $e_p(\eta, \mu_\sigma)$. Показатель напряжённого состояния η в этом случае изменяется в пределах $-2 \leq \eta \leq -1$.

Третий случай отвечает условиям плоского растяжения ($\sigma_3 = 0$). В этом случае зависимость пластичности от схемы напряжённого состояния описывается предельной кривой $e_{p3}(\eta)$, которая получается в результате пересечения поверхности:

$$f_3(\eta, \mu_\sigma) = \eta - \frac{\mu_\sigma - 3}{\sqrt{\mu_\sigma^2 + 3}} = 0 \quad (10)$$

с поверхностью предельных деформаций $e_p(\eta, \mu_\sigma)$. Показатель η в этом случае изменится в пределах $1 \leq \eta \leq 2$.

Наличие трёх предельных кривых значительно усложняет расчёт ψ при плоском напряжённом состоянии в случае использования координат η, μ_σ, e_u по сравнению с расчётом ψ при использовании координат η, χ, e_u , где плоское напряжённое состояние ($\chi = 0$) описывается известной диаграммой пластичности $e_p(\eta)$ во всём интервале значений η .

ВЫВОДЫ

Из анализа полученных результатов следует, что наиболее опасными, с точки зрения разрушения, является точка 1, которая находится на внутренней поверхности заготовки, и точки 3, 9 на внешней поверхности заготовки. В точках 10, 13, 14, 15 значения использованного ресурса пластичности минимальны.

Использование координат η, χ, e_u вместо η, μ_σ, e_u для оценки ψ упрощает расчёты ψ , так как плоское напряжённое состояние в этом случае описывается известной диаграммой пластичности $e_p(\eta)$, кроме того, расхождение между расчётными и экспериментальными значениями ψ уменьшается.

При выдавливании трубчатой заготовки без противодействия максимальный диаметр фланца, который можно было получить из алюминия, не превышал $D_{\phi} = 44,36$ мм, при этом он имеет коническую форму. При использовании противодействия, создаваемого пластической средой, даже при ширине щели выпускного канала $\delta = 2$ мм величина использованного ресурса пластичности в самой опасной точке 1 не превышала $\psi_6 \leq 0,6$ при диаметре фланца $D_{\phi} = 59,6$ мм.

Применение для создания противодействия пластической среды позволяет устранить трудности уплотнения, возникающие при использовании жидкости. В тоже время из результатов расчётов следует, что при использовании твёрдого тела с низким пределом текучести, создаваемое противодействие близко к гидростатическому.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев И. С. Технологические процессы холодного поперечного выдавливания / И. С. Алиев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1988. – № 6. – С. 1–4.
2. Prediction of the variation of the form in the processes of extrusion / I. Aliiev, L. Aliieva, N. Grudkina, I. Zbankov // Scientific and technical journal Metallurgical and mining industry. – Dnepropetrovsk, 2011. – Vol. 3. – № 7. – P. 17–22.
3. Aliieva Leila. Radial-direct extrusion with a movable mandrel / Leila Aliieva, Yaroslav Zbankov // Metallurgical and Mining Industry. «International scientific conference «RELIABILITY SAFETY TECHNOLOGIC EQUIPMENT» RSTE-2015». – Dnepropetrovsk, 2015. – № 11. – P. 175–183.
4. Коган Р. М. Штамповка с противодействием / Р. М. Коган // Конструирование и технология машиностроения. – 1965. – № 2. – С. 1–7.
5. Alexander I. On the Cold Extrusion of Flanges against High Hydrostatic Pressure / I. Alexander, B. Lengyel // I. Inst. Metals. – 1964–1965. – Vol. 93. – Part 5. – P. 137–145.
6. Оценка деформируемости заготовок при радиальном выдавливании с противодействием / Е. И. Коцюбовская, И. О. Сивак, Л. И. Алиева, С. В. Куценко // Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2008. – № 1 (19). – С. 29–33.
7. Алиева Л. И. Деформирование заготовок способом радиального выдавливания с противодействием / Л. И. Алиева // Вестник ХНТУ. Херсон. – 2016. – № 2 (57) – С. 29–36.
8. Алиева Л. И. Деформируемость заготовок при радиальном выдавливании с противодействием / Л. И. Алиева, Е. И. Коцюбовская // Прогресивна техніка, технологія і інженерна освіта : Матеріали XVII Міжнародної науково-технічної конференції 21–24 червня 2016, Одеса – Київ : Національний технічний університет України «КПІ», 2016. – С. 61–64.
9. Оценка технологической деформируемости при поперечном выдавливании / Л. И. Алиева, Р. И. Сивак, Е. И. Коцюбовская, С. И. Сухоруков // Прогресивна техніка, технологія і інженерна освіта. Матеріали XVIII Міжнародної науково-технічної конференції 29 червня – 1 липня 2017. – Київ : НТУУ «КПІ», 2017. – С. 108–110.
10. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / В. А. Огородников. – К. : УМК ВО, 1989. – 152 с.
11. Алиева Л. И. Влияние гидростатического давления и истории его изменения на пластичность в задачах обработки металлов давлением / Л. И. Алиева, В. А. Огородников // Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула : ТулГУ, 2014. – Вып. 10. – Ч. 1. – С. 118–128.
12. Дель Г. Д. Пластичность деформированного металла / Г. Д. Дель // Физика и техника высоких давлений. – 1982. – № 11. – С. 28–32.
13. Сивак И. О. Пластичность металлов при холодной пластической деформации / И. О. Сивак // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : темат. зб. наук. праць. – Краматорськ–Слов'янськ : ДДМА, 2000. – С. 168–171.
14. Сивак Р. І. Залежність пластичності металів від історії навантаження при об'ємному напруженому стані / Р. І. Сивак, О. В. Нахайчук, В. А. Огородніков // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Вінниця : ВДАУ, 2009. – С. 79–83.
15. Огородников В. А. Ресурс пластичности металлов при холодном объемном формоизменении : монография / В. А. Огородников, И. А. Деревенько, Л. И. Алиева. – Винница : ВНТУ, ООО «Меркьюри-Подолье» 2016. – 176 с. – ISBN 978-966-2696-69-1.

REFERENCES

1. Aliiev I. S. Tehnologicheskie processy holodnogo poperechnogo vydavlivaniya / I. S. Aliiev // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. – 1988. – № 6. – S. 1–4.
2. Prediction of the variation of the form in the processes of extrusion / I. Aliiev, L. Aliieva, N. Grudkina, I. Zbankov // Scientific and technical journal Metallurgical and mining industry. – Dnepropetrovsk, 2011. – Vol. 3. – № 7. – P. 17–22.

3. Aliieva Leila. *Radial-direct extrusion with a movable mandrel* / Leila Aliieva, Yaroslav Zhbakov // *Metalurgical and Mining Industry. «International scientific conference «RELIABILITY SAFETY TECHNOLOGIC EQUIPMENT» RSTE-2015»*. – Dnipropetrovsk, 2015. – № 11. – R. 175–183.
4. Kogan R. M. *Shtampovka s protivodavleniem* / R.M. Kogan // *Konstruivovanie i tehnologija mashinostroeni-ja*. – 1965. – № 2. – S. 1–7.
5. Alexander I. *On the Cold Extrusion of Flanges against High Hydrostatic Pressure* / I. Alexander, B. Lengyel // *I. Inst. Metals*. – 1964–1965. – Vol. 93. – Part 5. – P. 137–145.
6. *Ocenka deformiruemosti zagotovok pri radial'nom vydavlivanii s protivodavleniem* / E. I. Kocjubivskaja, I. O. Sivak, L. I. Aliieva, S. V. Kucenko // *Obrabotka materialov davleniem : sb. nauch. trudov*. – Kramatorsk : DGMA, 2008. – № 1 (19). – С. 29–33.
7. Aliieva L. I. *Deformirovanie zagotovok sposobom radial'nogo vydavlivaniija s protivodavleniem* / L. I. Aliieva // *Vestnik HNTU. Herson*. – 2016. – № 2 (57) – S. 29–36.
8. Aliieva L. I. *Deformiruemost' zagotovok pri radial'nom vydavlivanii s protivodavleniem* / L. I. Aliieva, E. I. Kocjubivskaja // *Progresivna tehnika, tehnologija i inzhenerna osvita : materialy XVII Mizhnarodnoji naukovno-tehnichnoji konferenciji 21–24 chervnja 2016, Odesa – Kijiv : Nacional'nij tehnichnij universitet Ukraini «KPI»*, 2016. – S. 61–64.
9. *Ocenka tehnologicheskoj deformiruemosti pri poperechnom vydavlivanii* / L. I. Aliieva, R. I. Sivak, E. I. Kocjubivskaja, S. I. Suhorukov // *Progresivna tehnika, tehnologija i inzhenerna osvita. Materialy XVIII Mizhnarodnoji naukovno-tehnichnoji konferenciji 29 chervnja – 1 lipnja 2017*. – Kijiv : NTUU «KPI», 2017. – S. 108–110.
10. Ogorodnikov V. A. *Deformiruemost' i razrushenie metallov pri plasticheskom formoizmenenii* / V. A. Ogorodnikov. – K. : UMK VO, 1989. – 152 s.
11. Aliieva L. I. *Vlijanie gidrostaticeskogo davlenija i istorii ego izmenenija na plastichnost' v zadachah obrabotki metallov davleniem* / L. I. Aliieva, V. A. Ogorodnikov // *Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki*. – Tula : TulGU, 2014. – Vyp. 10. – Ch. 1. – S. 118–128.
12. Del' G. D. *Plastichnost' deformirovannogo metalla* / G. D. Del' // *Fizika i tehnika vysokih davlenij*. – 1982. – № 11. – S. 28–32.
13. Sivak I. O. *Plastichnost' metallov pri holodnoj plasticheskoj deformacii* / I. O. Sivak // *Udoskonalennja procesiv i obladnannja obrobki tiskom v metalurgiji i mashinobuduvanni : temat. zb. nauk. prac'*. – Kramatorsk-Slov'jans'k : DDMA, 2000. – S. 168–171.
14. Sivak R. I. *Zalezhnist' plastichnosti metaliv vid istorii navantazhennja pri ob'emnomu napruzhenomu stani* / R. I. Sivak, O. V. Nahajchuk, V. A. Ogorodnikov // *Zbirnik naukovih prac' Vinnic'kogo derzhavnogo agrarnogo universitetu. Serija : Tehnichni nauki*. – Vinnicja : VDAU, 2009. – S. 79–83.
15. Ogorodnikov V. A. *Resurs plastichnosti metallov pri holodnom ob'emnom formoizmenenii : monografija* / V. A. Ogorodnikov, I. A. Dereven'ko, L. I. Aliieva. – Vinnica : VNTU, ООО «Merk'juri-Podol'e» 2016. – 176 s. – ISBN 978-966-2696-69-1.

Алиева Л. И. – д-р техн. наук, доц. каф. ОМД ДГМА;

Сивак Р. И. – канд. техн. наук, доц., докторант ВНТУ;

Коцюбивская Е. И. – канд. техн. наук, доц. КНУКиИ;

Сухоруков С. И. – канд. техн. наук, доц. ВНТУ.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

ВНТУ – Винницкий национальный технический университет, г. Винница.

КНУКиИ – Киевский национальный университет культуры и искусств, г. Киев.

E-mail: omd@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 20.09.2018 г.