

УДК 611. 777. 01

Алиева Л. И.
Гончарук К. В.
Шкира А. В.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ С ФЛАНЦЕМ

Использование комбинированных схем выдавливания открывает резервы для интенсификации процесса штамповки за счет сокращения количества технологических операций и расширения номенклатуры штампуемых деталей. Данным способом можно получать детали более сложной формы по сравнению с традиционными способами штамповки [1–3].

Одной из проблем при расчёте технологического процесса комбинированного выдавливания стержневых деталей с фланцем является недостаток рекомендаций по определению энергосиловых параметров процесса.

Энергетический анализ методом верхней оценки силового режима процессов комбинированного выдавливания с одновременным истечением металла по нескольким направлениям выполняют с учетом вида очага интенсивной деформации (ОД), формируемого в зависимости от типоразмеров деталей и сочетаемых способов выдавливания [2–4]. Первый вид ОД, сосредоточенного вблизи выходных отверстий матрицы, расположенных на некотором удалении друг от друга, называют присоединенным. Второй вид ОД называется совмещенным и соответствует случаю наиболее близкого расположения выходных отверстий, в которые выдавливается металл из полости матрицы. Третий вид ОД образуется при выдавливании относительно высоких заготовок с соотношением высоты заготовки к ее диаметру $H_s/2R_1 > 2,0$ и формировании автономных, достаточно удаленных друг от друга очага, между которыми размещается также жесткая недеформируемая область заготовки. Такой ОД называется разъединенным. Возможно также образование комбинированных очагов деформации, включающих рассмотренные виды между собой. Актуальным является расширение моделей для расчёта энергосиловых параметров выдавливания стержневых деталей с фланцем различных типоразмеров.

Целью данной работы является анализ влияния вида ОД на энергосиловые параметры процесса комбинированного выдавливания.

Для энергетического анализа силового режима деформирования при комбинированном радиально-обратном выдавливании используем метод верхней оценки или баланса мощностей [2, 5–7]. Особенностью метода является то, что он позволяет использовать и опытные данные для уточнения граничных условий, кинематических полей течения, размеров и формы очага интенсивной деформации.

Объем металла ОД, условно разбиваем на ряд кинематических (элементарных) зон (модулей). Принимается, что деформируемый материал однородный и неупрочняемый ($\sigma_i = \sigma_s$).

Силы трения задаются законом Зибеля $\tau_k = \mu_s \cdot \frac{2\sigma_s}{\sqrt{3}}$, где коэффициент трения меняется в пределах $\mu_s = 0..0,5$. Давление деформирования находится из уравнения баланса мощностей внешних и внутренних сил на кинематически возможных скоростях перемещения (табл. 1).

Анализ процесса комбинированного выдавливания выполнен с учетом двух видов ОД: разъединенного (рис. 1, а) и совмещенного (рис. 1, б). Разъединенный очаг деформации характерен для высоких заготовок, а совмещенный – для относительно средних заготовок с соотношением высоты заготовки к ее диаметру $1,0 < H_s/2R_1 < 1,5$.

При расчёте схемы деформирования с разьединенным ОД вводится коэффициент λ , который определяется из условия равенства мощностей на границе разделения очагов жесткой зоной.

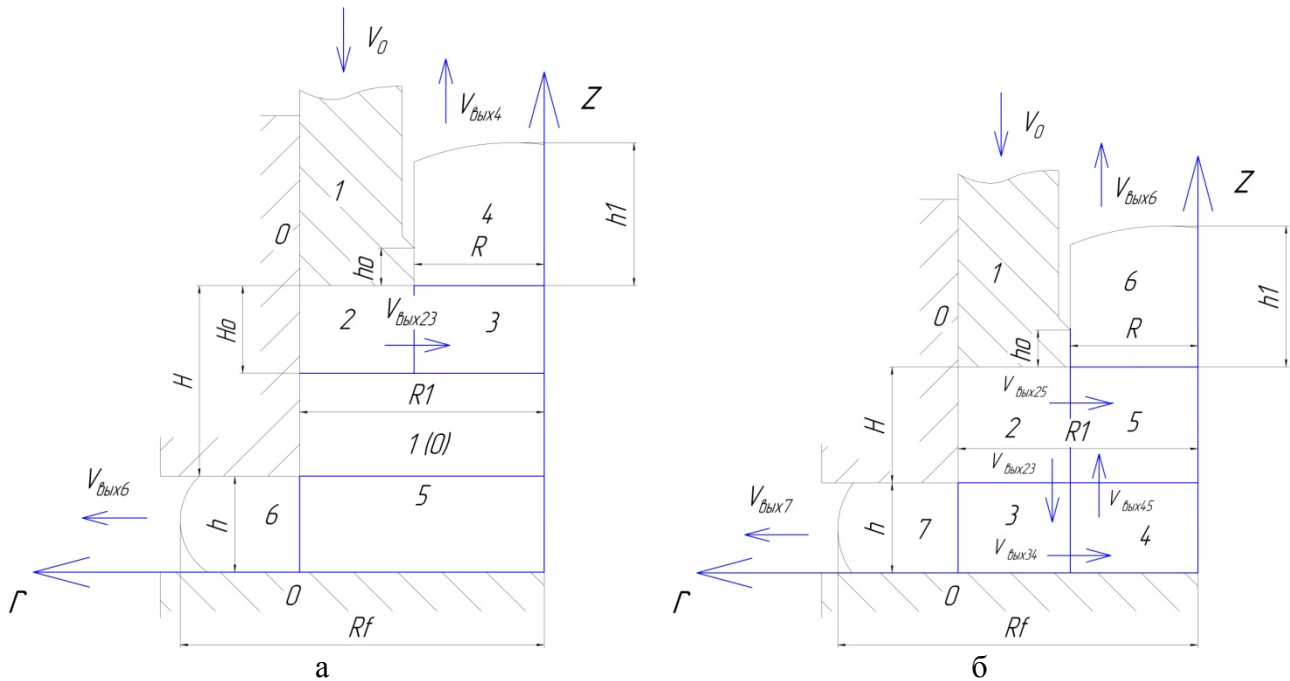


Рис. 1. Расчетные схемы процесса комбинированного выдавливания

Таблица 1

КВПС по схеме деформирования с разьединенным очагом деформации

Зона	Скорость V_z	Скорость V_r
2	$V_{z2} = -\frac{V_0}{H_0} \cdot z + \frac{V_0}{H_0} \cdot (H + h - H_0)$	$V_{r2} = \frac{V_0}{2 \cdot H_0 \cdot r} \cdot (r^2 - R_1^2)$
3	$V_{z3} = -\frac{V_0 \cdot (R_1^2 - R^2)}{R^2 \cdot H_0} \cdot z + \frac{V_0 \cdot (R_1^2 - R^2)}{R^2 \cdot H_0} \cdot (h + H - H_0)$	$V_{r3} = \frac{V_0 \cdot (R_1^2 - R^2) \cdot r}{2 \cdot R^2 \cdot H_0}$
4	$V_{z4} = -\frac{V_0 \cdot (R_1^2 - R^2)}{R^2}$	$V_{r4} = 0$
5	$V_{z5} = -\frac{V_0}{h} \cdot z$	$V_{r5} = \frac{V_0}{2 \cdot h} \cdot r$
6	$V_{z6} = 0$	$V_{r6} = -\frac{V_0 \cdot (R_1^2 - R^2)}{2 \cdot h \cdot r}$
7	$V_{z1} = -V_0$	$V_{r1} = 0$

Для схемы выдавливания с разьединенным ОД уравнение энергетического равновесия жесткой зоны 7 имеет вид:

$$\bar{p} = (1 - \lambda) \cdot \bar{p}_1 + \lambda \cdot (\bar{p}_2 + G), \tag{1}$$

где $\lambda = \frac{\bar{p}_1}{\bar{p}_1 + k \cdot \bar{p}_2 + G}$, $k = \frac{R_1^3}{2 \cdot h \cdot (R_1^2 - R^2)}$ – коэффициент, который определяется

из геометрических параметров процесса; $G = \frac{4}{\sqrt{3}} \cdot \mu_s \cdot \sigma_s \cdot \pi \cdot \left(\frac{R_1 \cdot H_0 + R \cdot (h_1 + \text{ход})}{R_1^2 - R^2} \right)$ – величина, позволяющая учесть усилие, которое возникает, когда пуансон тянет за собой отрезок;

\bar{p}_1, \bar{p}_2 – приведенное давление процесса обратного и радиального выдавливания соответственно.

Для данной схемы зона 7 понимается как жесткая для верхнего ОД, которая образуется обратным течением материала, и как входная зона с начальной скоростью для нижнего ОД с радиальным истечением материала.

После определения значений мощностей сил деформирования, трения и среза и составления уравнения энергетического баланса с использованием программы MathCAD определено приведенное давление комбинированного выдавливания. Построены графики зависимости приведенного давления от разных геометрических параметров процесса (рис. 2).

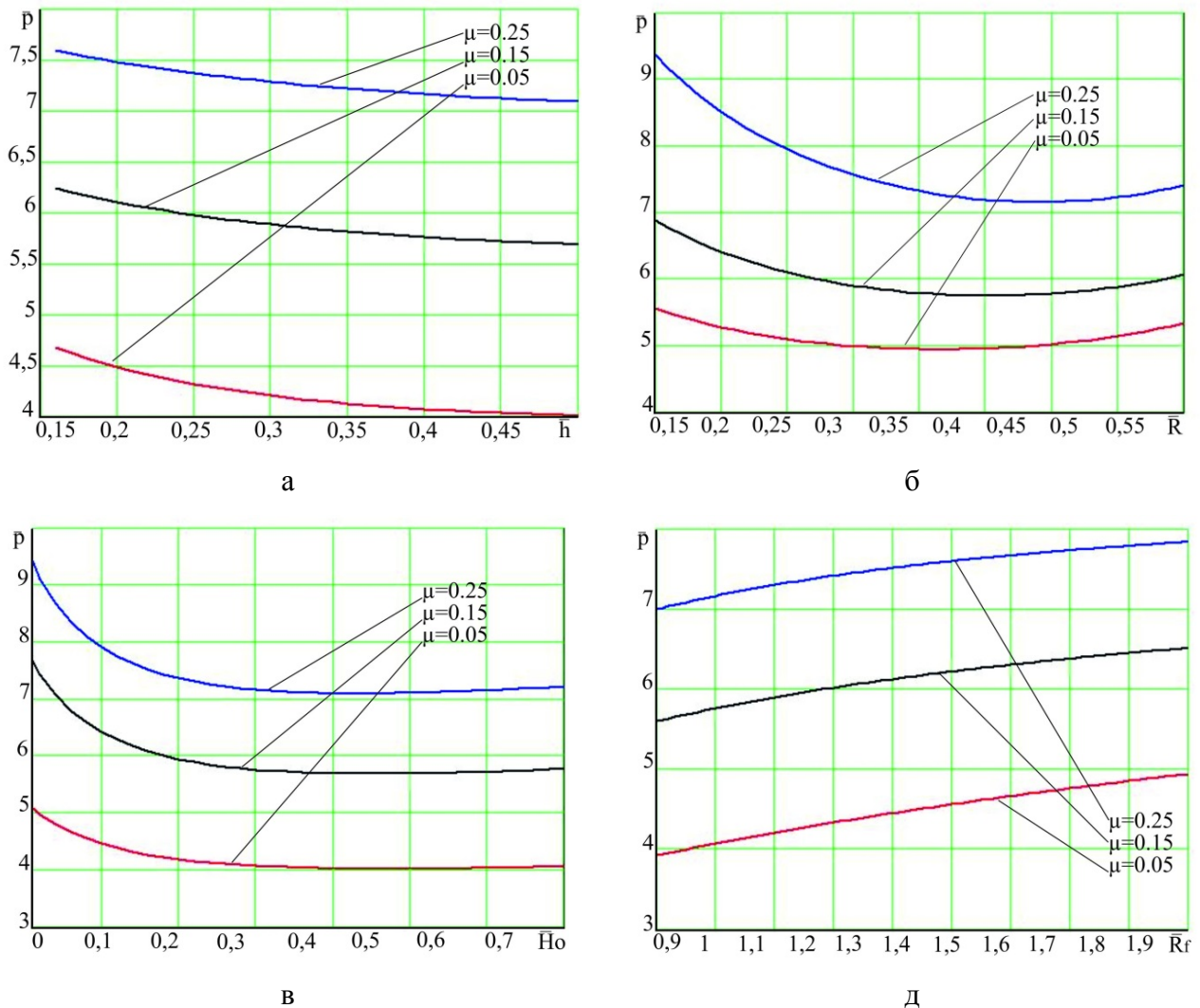


Рис. 2. Графики зависимости приведенного давления \bar{p} от относительной высоты фланца (а), от относительного радиуса отростка (б), от относительной высоты верхнего очага деформации (в) и от относительного радиуса фланца (д) при разных значениях трения для разъединенного ОД

График зависимости приведенного давления от относительной высоты фланца (рис. 2, а) показывает, что при увеличении относительной толщины фланца значения приведенного давления падают. Это связано с увеличением степени свободы течения в радиальном направлении. На рис. 2, б показан характер изменения приведенного давления при разных значениях относительного радиуса отростка. При $\bar{R} = 0,35 \dots 0,40$ наблюдается минимум значений приведенного давления. При изменении относительной высоты верхнего

очага деформации (рис. 2, в) значения приведенного давления снижается. Это объясняется уменьшением поверхности среза между модулями очага деформации. Изменение относительного радиуса фланца показывают рост приведенного давления при увеличении относительного радиуса фланца (рис. 2, д). Это связано с увеличением окружной степени деформации.

Анализируя совмещенный ОД, были так же получены значения КВПС (табл. 2). Параметром оптимизации была скорость перехода металла из блока 2 в блок 3. Минимальные значения были достигнуты при скорости $V_{вых23} = 0,25 \cdot V_0$.

Таблица 2

КВПС по схеме деформирования с совмещенным очагом деформации

Зона	Скорость V_z	Скорость V_r
3	$\left[\frac{V_0}{h} - V_{вых24} \cdot \frac{2 \cdot R \cdot H}{h \cdot (R_1^2 - R^2)} \right] \cdot z$	$-\frac{1}{2} \cdot \left[\frac{V_0}{h} - V_{вых24} \cdot \frac{2 \cdot R \cdot H}{h \cdot (R_1^2 - R^2)} \right] \cdot r$
2	$(V_{вых24} \cdot \frac{2 \cdot R \cdot H}{h \cdot (R_1^2 - R^2)} - 2 \cdot \frac{V_0}{h}) \cdot z -$ $-V_0 - (V_{вых24} \cdot \frac{2 \cdot R \cdot H}{h \cdot (R_1^2 - R^2)} - 2 \cdot \frac{V_0}{h}) \cdot (h + H)$	$-\frac{1}{2} \cdot (V_{вых24} \cdot \frac{2 \cdot R \cdot H}{h \cdot (R_1^2 - R^2)} - 2 \cdot \frac{V_0}{h}) \cdot r +$ $V_0 \cdot \frac{(R_1^2 - R^2)}{2 \cdot H} - V_{вых23} \cdot \frac{(R_1^2 - R^2)}{2 \cdot H} +$ $\frac{V_{вых24} \cdot \frac{R^3 \cdot H}{h \cdot (R_1^2 - R^2)} - V_0 \cdot \frac{R^2}{h}}{r}$
4	$-V_{вых34} \cdot \frac{2 \cdot z}{R}$	$\frac{1}{2} \cdot V_{вых34} \cdot \frac{2 \cdot r}{R}$
5	$-V_0 \cdot \frac{(R_1^2 - R^2)}{R^2}$	0
6	0	$-V_0 \cdot \frac{(R_1^2 - R^2)}{2 \cdot r}$
$V_{вых 24} = V_0 \cdot \frac{(R_1^2 - R^2)}{2 \cdot R \cdot H} - V_0 \cdot 0,25 \cdot \frac{(R_1^2 - R^2)}{2 \cdot R \cdot H};$		$V_{вых 34} = V_0 \cdot 0,25 \cdot \frac{(R_1^2 - R^2)}{2 \cdot R \cdot h} - V_0 \cdot \frac{(R_1^2 - R^2)}{2 \cdot R}.$

Для случая совмещенного очага деформации были построены графики зависимости приведенного давления от геометрических параметров комбинированного выдавливания с использованием программы MathCAD (рис. 3).

На рис. 3, а видно, что при увеличении относительной высоты фланца значения приведенного давления снижается. Характер снижения приведенного давления сохраняется и при увеличении относительной высоты верхнего очага деформации (рис. 3, б). Это объясняется созданием более благоприятных условий течения металла в отросток. На рис. 3, д показан рост приведенного давления с увеличением относительного радиуса фланца.

Анализ характера распределения кривых показал, что распределение значений по координатной плоскости совпадает, что говорит о похожей картине напряженного состояния в разных ОД.

После сравнения полученных результатов приведенного давления комбинированного выдавливания с разными очагами деформации, установлено, что при разьединённом ОД наблюдается снижение энергосиловых параметров. Разница между полученными результатами при сравнении разных ОД колеблется в пределах 20–40% для разных геометрических параметров.

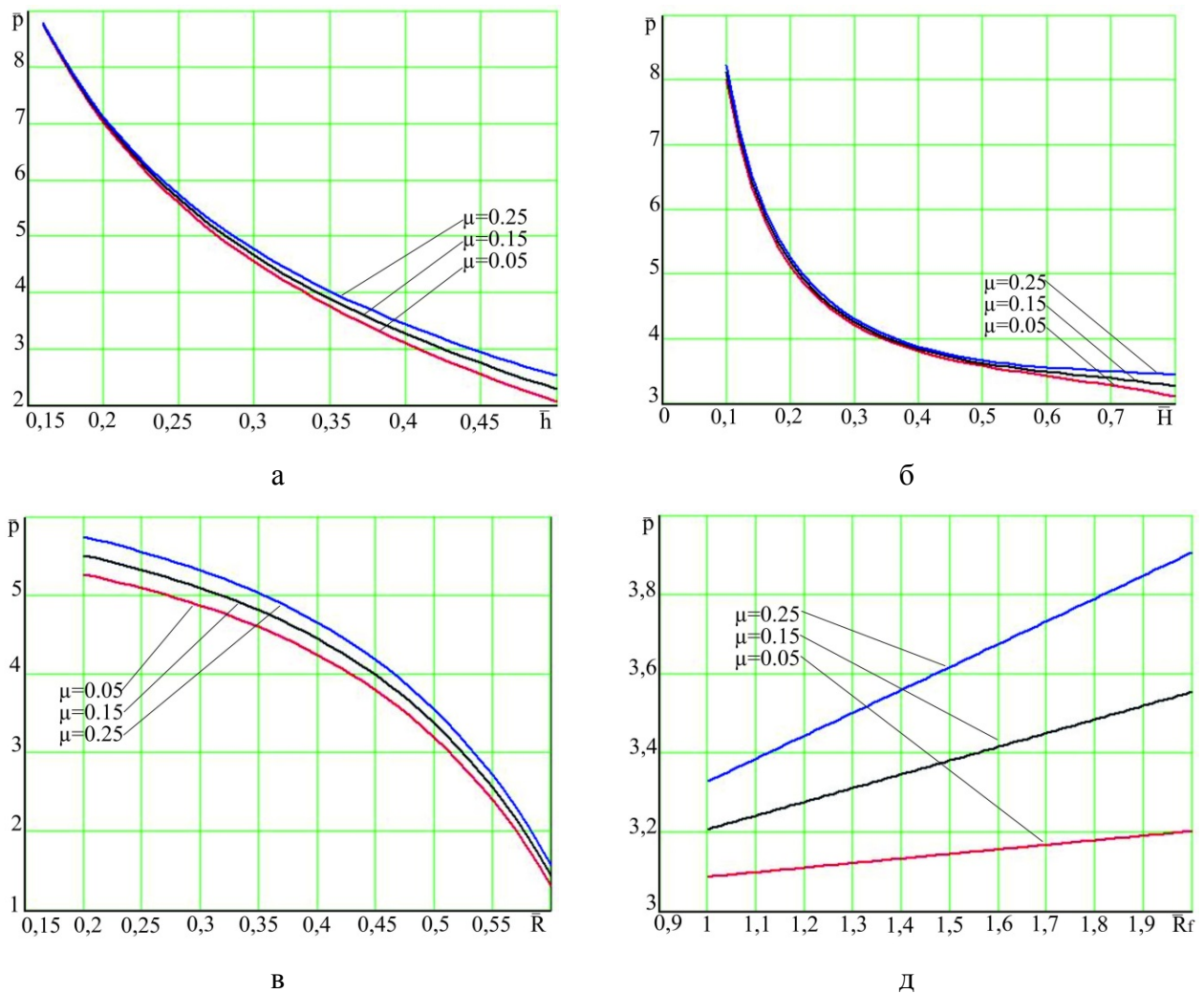


Рис. 3. Графики зависимости приведенного давления \bar{p} от относительной высоты фланца (а), относительной высоты верхнего очага деформации (б), от относительного радиуса отростка (в) и от относительного радиуса фланца (д) при разных значениях трения для совмещенного ОД

ВЫВОДЫ

Использование комбинированных схем выдавливания открывает резервы для получения штампуемой детали с расширенной номенклатурой типоразмеров.

Методом баланса мощностей разработана математическая модель комбинированного радиально-обратного выдавливания. Установлены зависимости приведенного давления от геометрических параметров процесса для схем с разными очагами деформации. Проанализировано влияние вида очага деформации на энергосиловые параметры.

Установлено, что при разъединённом ОД наблюдается снижение энергосиловых параметров. Это связано с уменьшением площади трения заготовки с инструментом. Разница между полученными результатами при сравнении разных ОД колеблется в пределах 20 – 40% для разных геометрических параметров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиева Л. И. Комбинированное выдавливание полых деталей с фланцем / Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков, С. В. Мартынов, Б. С. Мороз // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2007. – С. 231–236.
2. Евстратов В. А. Теория обработки металлов давлением / В. А. Евстратов. – Харьков : Вища школа, 1981. – 248 с.
3. Гафуров Р. М. Прогрессивные технологии холодной объемной штамповки в ОАО «ГАЗ» / Р. М. Гафуров, Ф. П. Михаленко // Кузнечно-штамповочное производство. – 2000. – №4. – С. 14–18.

4. Анализ процессов комбинированного выдавливания стержневых деталей / И. С. Алиев, Е. М. Солодун, К. Крюгер, Ф. Йеше // *Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: зб. наук. пр.* – Луганськ : Вид-цтво СУДУ, 2000. – С. 8–13.
5. Солодун Е. М. Комбинированное выдавливание деталей типа стакан с донным от ростком / Е. М. Солодун, О. В. Чучин, Л. В. Белоус // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії: тематичний збірник наукових праць.* – Краматорськ : ДДМА. – 2003. – С. 345–349.
6. Алиева Л. И. Комбинированное выдавливание втулок с фланцем / Л. И. Алиева // *Прогрессивные методы и технологическое оснащение процессов ОМД: сб. тезисов междунауч. науч.-техн. конф.* – СПб. : Изд-во ПИМаши, 2005. – С. 23–26.
7. Теоретическое исследование комбинированного процесса радиального и обратного выдавливания в конической матрице / Ю. К. Филипов, В. Н. Игнатенко, З. С. Головина, А. В. Рагулин, А. С. Анохин, Д. А. Гневашев / *КШП.* – 2011. – № 7. – С. 3–7.
8. Алиев И. С. Теоретический анализ процесса комбинированного радиально-обратного выдавливания / И. С. Алиев, Н. С. Грудкина // *Обработка материалов давлением: сб. науч. трудов.* – Краматорск : ДГМА, 2008. – С. 55–60.
9. Алиев И. С. Методика анализа процессов точной объемной штамповки с помощью модульных полей скоростей / И. С. Алиев // *Разработка и исследование высокоэффективных технологических процессов, оснастки и оборудования. Обработка металлов давлением. Тематический сборник научных трудов.* – Киев : УМК ВО, 1990. – С. 7–17.
10. Алиев И. С. Моделирование процесса радиально-обратного выдавливания полых деталей с фланцем энергетическим методом / И. С. Алиев, Н. С. Грудкина, С. В. Мартынов // *Вестник национального технического университета «ХПИ»: сб. науч. тр.* – Харьков : НТУ «ХПИ», 2009. – № 31. – С. 83–88.

REFERENCES

1. Alieva L. I. Kombinirovannoe vydavlivanie polykh detaley s flancem / L. I. Alieva, Ja. G. Zhbankov, S. V. Martynov, B. S. Moroz // *Udoskonalennja procesiv ta obladnannja obrobki tiskom u metalurgii i mashinobuduvanni: zb. nauk. pr.* – Kramators'k : DDMA, 2007. – S. 231–236.
2. Evstratov V. A. Teorija obrabotki metallov davleniem / V. A. Evstratov. – Har'kov : Vishha shkola, 1981. – 248 s.
3. Gafurov R. M. Progressivnyie tehnologii holodnoy ob'emnoy shtampovki v OAO «GAZ» / R. M. Gafurov, F. P. Mihalenko // *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo.* – 2000. – № 4. – S. 14–18.
4. Analiz protsessov kombinirovannogo vyidavlivaniya sterzhnevyykh detaley / I. S. Aliev, E. M. Solodun, K. Kryuger, F. Yeshe // *Resursozberigayuchi tehnologiyi i virobnitstva ta obrobki tiskom materialiv u mashinobuduvanni: zb. nauk. pr.* – Lugansk : Vid-tstvo SUDU, 2000. – S. 8–13.
5. Solodun E. M. Kombinirovannoe vyidavlivanie detaley tipa stakan s donnyim ot rostkom / E. M. Solodun, O. V. Chuchin, L. V. Belous // *Udoskonalennya protsesiv i obladnannya obrobki tiskom v mashinobuduvanni i metalurgiyi: tematichnyi zbirnik naukovih prats.* – Kramatorsk : DDMA. – 2003. – S. 345–349.
6. Alieva L. I. Kombinirovannoe vydavlivanie vtulok s flancem / L. I. Alieva // *Progressivnye metody i tehnologicheskoe osnashhenie processov OMD: sb. tezisov mezhdun. nauchn.-tehn. konf.* – SPb. : Izd-vo PIMash, 2005. – S. 23–26.
7. Teoreticheskoe issledovanie kombinirovannogo protsessa radialnogo i obratnogo vyidavlivaniya v konicheskoy matritse / Yu. K. Filipov, V. N. Ignatenko, Z. S. Golovina, A. V. Ragulin, A. S. Anyuhin, D. A. Gnevashev / *KShP.* – 2011. – № 7. – S. 3–7.
8. Aliev I. S. Teoreticheskij analiz processa kombinirovannogo radial'no-obratnogo vydavlivaniya / I. S. Aliev, N. S. Grudkina // *Obrabotka materialov davleniem: sb. nauch. trudov.* – Kramatorsk : DGMA, 2008. – S. 55–60.
9. Aliev I. S. Metodika analiza protsessov tochnoy ob'emnoy shtampovki s pomoshchyu modulnykh poley skorostey / I. S. Aliev // *Razrabotka i issledovanie vyisokoeffektivnykh tehnologicheskikh protsessov, osnastki i oborudovaniya. Obrabotka metallov davleniem. Tematicheskiy sbornik nauchnykh trudov.* – Kiev : UMK VO, 1990. – S. 7–17.
10. Aliev I. S. Modelirovanie processa radial'no-obratnogo vydavlivaniya polykh detaley s flancem jenergeticheskim metodom / I. S. Aliev, N. S. Grudkina, S. V. Martynov // *Vestnik nacional'nogo tehniceskogo universiteta «HPI»: sb. nauch. tr.* – Har'kov : NTU «HPI», 2009. – № 31. – S. 83–88.

Алиева Л. И. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМД ДГМА;

Гончарук К. В. – аспирант каф. ОМД ДГМА;

Шкира А. В. – аспирант каф. ОМД ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: omd@dgmа.donetsk.ua, leyla-ukr@mail.ru, goncharuk_omd@mail.ua, salexv89@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20.09.2015 г.