

УДК 621. 983

Калужный А. В.
Пиманов В. В.
Олександренко Я. С.
Куликов И. П.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗДАЧИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ТРУБЧАТЫХ ЗАГОТОВОК

В трубопроводных системах для стыковки труб одинаковых или разных диаметров под различными углами используют переходники, переходники с фланцами, а также трубы с увеличенными диаметрами на торцах. Для получения переходников и труб с увеличенными диаметрами на торцах используют операцию раздачи. Переходники с фланцами изготавливают с использованием раздачи как предварительной операции с последующей осадкой сформированной части трубчатой заготовки. Раздача может быть открытая, когда трубчатая заготовка свободно деформируется при помощи пуансона, и закрытая. При закрытой раздаче на боковую поверхность заготовки воздействуют жестким упором для уменьшения возможности потери устойчивости стенок заготовки и увеличения коэффициента раздачи (отношение максимального диаметра сформированной части до диаметра заготовки). Формоизменение трубчатой заготовки с одной стороны приводит к утонению стенки сформированной части заготовки, что может быть причиной возникновения меридиональных трещин, а с другой стороны приводит к потере устойчивости стенки цилиндрической части заготовки. Причем, потеря устойчивости стенки может быть, как в непосредственной близости сформированной области, так и по высоте цилиндрической части. При проектировании технологии раздачи трубчатых заготовок расчеты в основном сводятся до определения коэффициента раздачи, энергосиловых параметров и максимального утонения стенки [1–5]. В последнее время с использованием приближенных дифференциальных уравнений равновесия и условия пластичности для случая плоского напряженного состояния получены аналитические зависимости для определения напряжений, деформаций в заготовке при раздаче и усилия штамповки [6–8]. В решениях учтено трение, упрочнение, анизотропия. На потерю устойчивости стенок трубчатых заготовок при открытой раздаче, кроме относительной толщины материала, существенное влияние оказывают силы трения на контактной поверхности между металлом и пуансоном. Уменьшение сил трения приводит к уменьшению усилия формоизменения и увеличению коэффициента раздачи.

Целью работы является интенсификация процесса открытой раздачи трубчатых заготовок за счет снижения действия сил контактного трения между пуансоном и деформирующимся металлом. Для этого традиционный конический пуансон предложено заменить профилированным пуансоном, который обеспечивает снижение площади контактной поверхности. На рис. 1 приведены схемы открытой раздачи трубчатых заготовок 1, установленных на плитах 2. Деформирование происходит при помощи пуансонов 3. Исходные заготовки 1 имеют диаметр D_3 , высоту H_3 и толщину стенки S . Традиционный конусный пуансон имеет угол конуса α , а деформирующая поверхность профилированного пуансона выполнена в виде пересечения последовательно расположенных под углом α с шагом t торцов диаметром d_1 , причем размер $l = d_1/2$. В проведенных расчетно-экспериментальных исследованиях раздача осуществлялась путем перемещения пуансонов до момента потери устойчивости стенок заготовок.

Для установления эффективности использования профилированного пуансона, выявления его формы и размеров были выполнены расчетно-экспериментальные исследования раздачи трубчатых заготовок из стали 10 и 12X18H10T. Расчеты выполнены моделированием методом конечных элементов (МКЭ) в программном комплексе DEFORM, который был предоставлен на правах временной лицензии компанией «ТЕСИС».

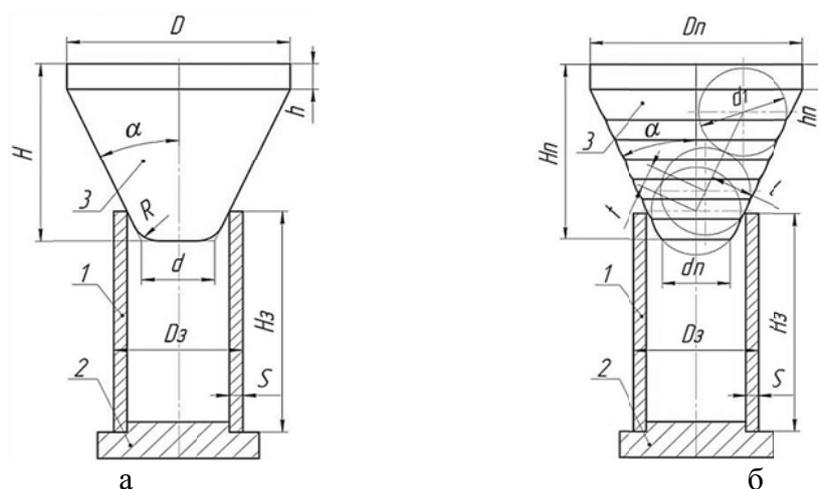


Рис. 1. Схемы процессов открытой раздачи трубчатых заготовок (1 – заготовка, 2 – плита, 3 – пуансон):

а – раздача традиционным пуансоном; б – раздача спрофилированным пуансоном

Рассматривалась осесимметричная упруго-пластическая задача формоизменения металла с упрочнением по экспериментальным диаграммам истинных напряжений [9] с учетом трения с коэффициентом $\mu = 0,1$ и определения степени использования ресурса пластичности деформированного металла. Моделирование прекращалось в момент потери устойчивости стенок заготовок.

В расчетах использовали следующие исходные данные: размеры заготовок из стали 12X18H10T – высота $Hз = 80$ миллиметров (мм), диаметр $Dз = 38$ мм и толщина стенки $S = 1,5$ мм (относительная толщина $S/Dз = 0,039$), а из стали 10 соответственно $Hз = 80$ мм, $Dз = 44$ мм и $S = 2,5$ мм ($S/Dз = 0,057$). Традиционный пуансон имел угол конуса $\alpha = 25^\circ$. Для спрофилированного пуансона моделированием были установлены размеры, которые обеспечивают ровную поверхность заготовки после деформирования (без образования волн): $\alpha = 25^\circ$, $d_1 = 35$ мм, $t = 8,7$ мм и $l = 17,5$ мм.

Расчетные зависимости усилия раздачи от перемещения пуансона для штамповки трубчатых заготовок из разных сталей различными пуансонами приведены на рис. 2. Для рассмотренных форм пуансонов усилие все время увеличивается и достигает максимального значения в конце раздачи. На начальных стадиях раздачи усилия деформирования практически одинаковы для традиционного и спрофилированного пуансонов. Использование спрофилированного пуансона приводит к понижению энергосиловых затрат при деформировании при величинах перемещений, которые достигнуты в момент потери устойчивости стенок при формоизменении традиционным пуансоном. Так, для раздачи заготовок из стали 12X18H10T при перемещении пуансона 18,2 мм величина усилия раздачи традиционным пуансоном составляет 731 кН, а для спрофилированного – 530 кН. Для раздачи заготовок

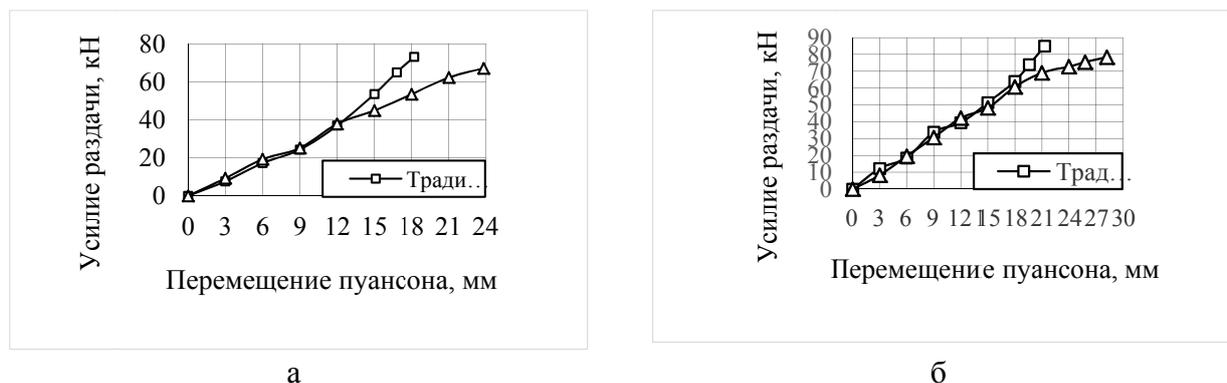


Рис. 2. Расчетные зависимости усилия раздачи от перемещения пуансона:

а – сталь 12X18H10T; б – сталь 10

из стали 10 при перемещении пуансонов 21,3 мм соответственно получены значения 851 кН и 695 кН. Снижение усилия раздачи спрофилированным пуансоном для стали 12X18H10T составило 27,4 %, а для стали 10 – 18,3 %.

Результирующие значения расчетных параметров раздачи традиционными и спрофилированными пуансонами приведены в табл. 1. Для раздачи трубчатых заготовок из стали 12X18H10T использование спрофилированного пуансона обеспечило увеличение значения коэффициента раздачи на 7,6 %, а из стали 10 – на 12 %. Чем больше относительная толщина заготовки, тем интенсивнее увеличивается коэффициент раздачи.

Таблица 1

Результирующие значения расчетных параметров раздачи традиционным и спрофилированным пуансоном

Параметры раздачи	Традиционный пуансон		Спрофилированный пуансон	
	Сталь 12X18H10T	Сталь 10	Сталь 12X18H10T	Сталь 10
Максимальное перемещение пуансона, мм	18,2	21,3	23,8	28,2
Максимальное усилие раздачи, кН	73,1	85,1	67,1	78,4
Максимальное значение диаметра после раздачи, мм	50,9	54,9	55,1	62,5
Толщина торца стенки, мм	1,25	2,05	1,18	1,96
Коэффициент раздачи	1,34	1,25	1,45	1,42

Расчетным путем определено напряженно-деформированное состояние, и ресурс пластичности в сдеформированной области при максимальном усилии деформирования в момент потери устойчивости стенки цилиндрической части заготовок. На рис. 3 показаны распределение интенсивности деформаций ϵ_i , интенсивности напряжений σ_i и ресурса пластичности ψ в заготовках из сталей 12X18H10T и стали 10 после раздачи традиционным и спрофилированным пуансоном. Величины достигнутых значений интенсивности деформаций ϵ_i , для рассмотренных марок сталей и размеров исходных и сдеформированных заготовок практически одинаковы (рис. 3, а). Максимальные величины имеют место в области торца стенок: при раздаче традиционным пуансоном $\epsilon_i = 0,35-0,4$, при раздаче спрофилированным пуансоном $\epsilon_i = 0,42-0,44$. Проработка структуры металла холодной пластической деформацией уменьшается по длине сдеформированной области до зоны перехода ее в цилиндрическую часть заготовки. Аналогичный характер имеет распределение интенсивности напряжений σ_i по объему сдеформированных заготовок (рис. 3, б). По распределению можно оценить упрочнение металла после формоизменения. Наибольшие величины σ_i имеют место также в области торца стенок. Для сдеформированных заготовок из стали 12X18H10T разными пуансонами $\sigma_i = 1040-1080$ МПа, что означает увеличение предела текучести σ_s в 2,5 раза по сравнению с исходным состоянием металла. Для заготовок из стали 10 получены величины $\sigma_i = 623-640$ МПа, что приводит к увеличению σ_s в 2,34 раза. Распределение степени использования ресурса пластичности ψ сдеформированного металла приведено на рис. 3, в.

Для рассмотренных марок сталей и размеров заготовок раздача традиционным пуансоном приводит достижению максимальных величин $\psi = 29-0,3$ (при $\psi = 1$ происходит разрушение). При раздаче спрофилированным пуансоном ресурс пластичности составляет $\psi = 42-0,44$. Таким образом, при потере устойчивости стенок имеет место достаточный ресурс пластичности в сдеформированном металле для увеличения коэффициента раздачи, что можно обеспечить подпором цилиндрической части трубчатых заготовок.

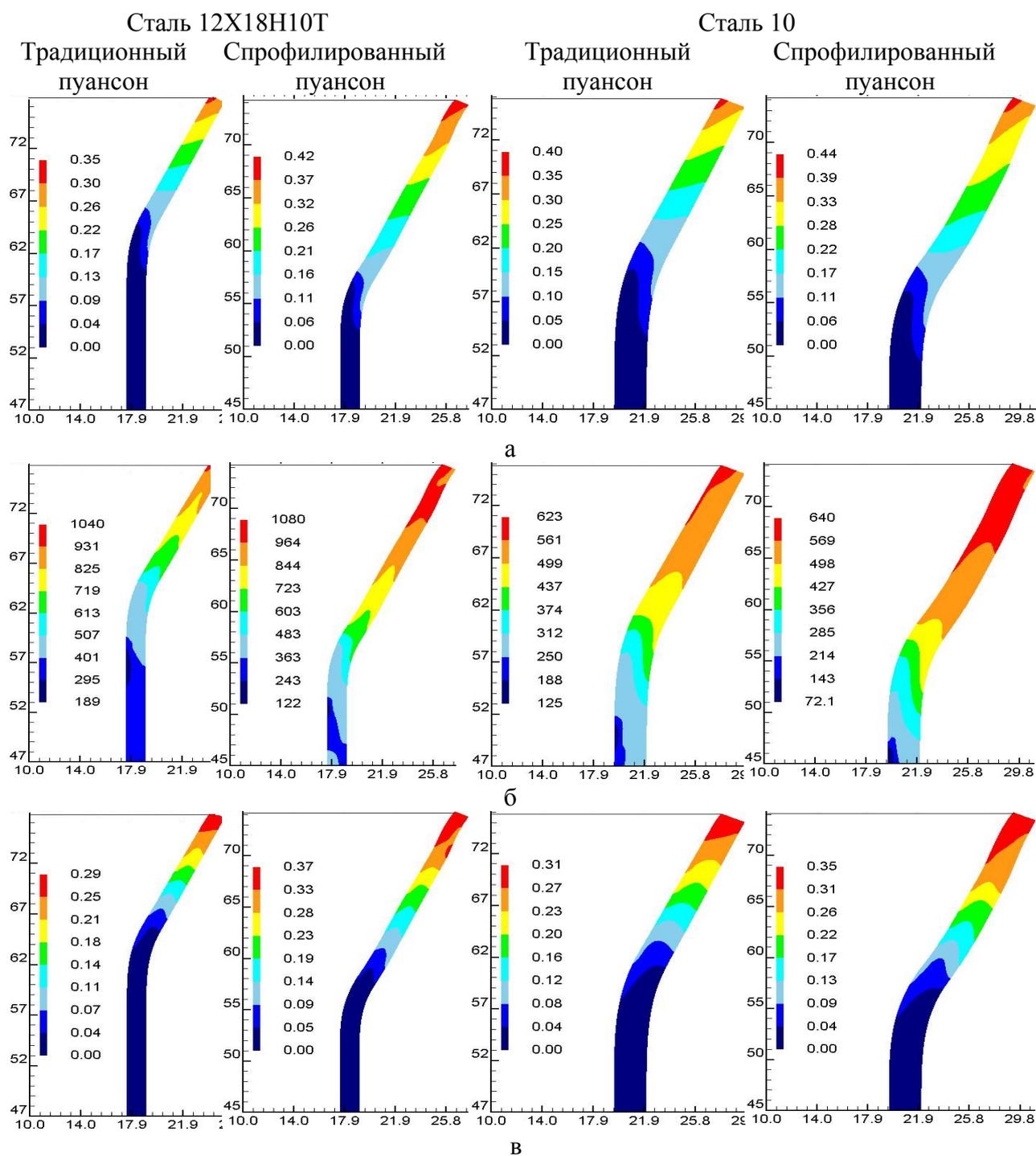


Рис. 3. Распределение интенсивности деформаций ε_i , интенсивности напряжений σ_i и ресурса пластичности в сформированной части заготовок:

а – интенсивность деформаций ε_i ; б – интенсивность напряжений σ_i в МПа; в – ресурс пластичности ψ

Для проверки результатов моделирования с использованием МКЭ были изготовлены традиционный конический и спрофилированный пуансоны. Экспериментальные исследования открытой раздачи проводились на испытательной машине TIRA test 2300, которая позволяет достаточно точно фиксировать зависимость усилия раздачи от перемещения пуансона. Исходные трубчатые заготовки из стали 12Х18Н10Т и стали 10 показаны на рис. 4, а традиционный и спрофилированный пуансоны приведены на рис. 5. Исходное состояние для открытой раздачи трубчатой заготовки спрофилированным пуансоном на испытательной машине показано на рис. 6.



а

Рис. 4. Исходные трубчатые заготовки:
а – из стали 12X18Н10Т; б – из стали 10



б



а

Рис. 5. Пуансоны: а – традиционный; б – спрофилированный



б



Рис. 6. Раздача на машине TIRA test 2300



а

Рис. 7. Заготовки после раздачи: а – традиционным пуансоном; б – спрофилированным пуансоном



б

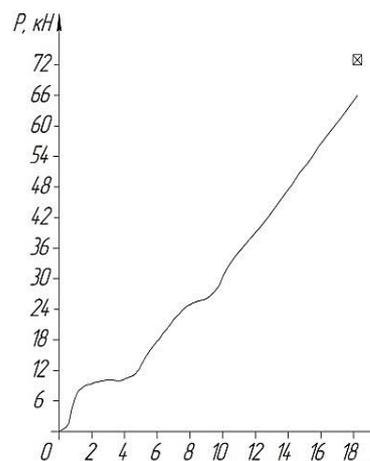


Рис. 8. Типовая зависимость усилия от перемещения пуансона

На рис. 7 приведены трубчатые заготовки после раздачи традиционным и спрофилированным пуансонами. Размеры максимальных диаметров сформированных заготовок практически совпали с расчетными данными. Получены экспериментальные зависимости усилия от перемещения пуансона. Для примера, на рис. 8 показана зависимость усилия раздачи от перемещения пуансона для формоизменения трубчатой заготовки из стали 12X18Н10Т традиционным пуансоном. Сравнение максимальных значений усилий по расчетам и экспериментам показало, что моделирование МКЭ дает завышенные данные по усилию на 8 %. Это очевидно связано с величиной коэффициента трения, которая была принята в расчетах. Экспериментальными исследованиями подтверждены данные расчетов по увеличению коэффициента раздачи при увеличении относительной толщины заготовок.

ВЫВОДЫ

Проведенные расчетно-экспериментальные исследования открытой раздачи трубчатых заготовок из стали 12X18Н10Т и стали 10 традиционным коническим и спрофилированным пуансонами показали возможность интенсификации процесса формоизменения путем использования спрофилированного пуансона. Расчетами МКЭ установлены форма и размеры спрофилированного пуансона, которые обеспечивают ровную толщину стенки сформированной части заготовки. Моделированием выявлены зависимости усилия раздачи от перемещения пуансонов, конечные форма и размеры сформированных заготовок, распределение напряжений, деформаций и ресурса пластичности в них. При одинаковых коэффициентах раздачи усилие штамповки таким пуансоном может быть снижено на 18–27 %. Снижение усилия деформирования приводит до увеличения коэффициента раздачи до 7–12 % для рассмотренных

марок сталей и относительных толщин заготовок. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили результаты расчетного анализа. Установленные величины ресурса пластичности сформированного металла позволяют выбрать направление дальнейших исследований процессов раздачи трубчатых заготовок сprofilированным пуансоном. Создание жесткого подпора или с помощью жидкости под давлением на стенки заготовки дополнительно приведет к увеличению коэффициента раздачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке* / В. П. Романовский. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд., 1979. – 520 с.
2. *Ковка и штамповка: справочник, в 4 т. Т4. Листовая штамповка* / под ред. А. Д. Матвеева – М. : Машиностроение, 2010. – 544 с.
3. Аверкиев Ю. А. *Холодная штамповка. Формоизменяющие операции* / Ю. А. Аверкиев. – Изд-во Ростовского ун-та, 1984. – 288 с.
4. Аверкиев Ю. А. *Холодная штамповка*. / Ю. А. Аверкиев, А. Ю. Аверкиев. – М. : Машиностроение, 1989. – 304 с.
5. Попов Е. А. *Основы теории листовой штамповки. Учебное пособие для вузов* / Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 278 с.
6. Крылов Д. В. *Математическая модель операции раздачи трубных заготовок из анизотропных материалов* / Д. В. Крылов, С. С. Яковлев // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. Вып. № 1, 2011. – С. 79–88.
7. Яковлев С. С. *Технологические параметры операций обжима и раздачи трубных заготовок из анизотропных материалов* / С. С. Яковлев, К. С. Ремнев // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. Вып. № 2, 2011. – С. 513–526.
8. *Анализ процесса раздачи трубных заготовок при штамповке изделий с коническими поверхностями* / Е. Н. Сосенушкин, Е. А. Яновская [и др.] // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. Вып. № 3, 2013. – С. 618–631.
9. Кроха В. А. *Упрочнение металлов при холодной пластической деформации* / В. А. Кроха. – М. : Машиностроение, 1980. – 157 с.

REFERENCES

1. Romanovskij V. P. *Spravochnik po holodnoj shtampovke* / V. P. Romanovskij. – L. : Mashinostroenie. Leningr. otd., 1979. – 520 s.
2. *Kovka i shtampovka: spravochnik, v 4 t. T4. Listovaja shtampovka* / pod red. A. D. Matveeva – M. : Mashinostroenie, 2010. – 544
3. Averkijev Ju. A. *Holodnaja shtampovka. Formoizmenjajushhie operacii* / Ju. A. Averkijev. – Izd-vo Rostovskogo un-ta, 1984. – 288 s.
4. Averkijev Ju. A. *Holodnaja shtampovka*. / Ju. A. Averkijev, A. Ju. Averkijev. – M. : Mashinostroenie, 1989. – 304 s.
5. Popov E. A. *Osnovy teorii listovoj shtampovki. Uchebnoe posobie dlja vuzov* / E. A. Popov. – M. : Mashinostroenie, 1977. – 278 s.
6. Krylov D. V. *Matematicheskaja model' operacii razdachi trubnyh zagotovok iz anizotropnyh materialov* / D. V. Krylov, S. S. Jakovlev // *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nau-ki*. Vyp. № 1, 2011. – S. 79–88.
7. *Jakovlev S. S. Tehnologicheskie parametry operacij obzhima i razdachi trubnyh zagotovok iz anizotropnyh materialov* / S. S. Jakovlev, K. S. Remnev // *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki*. Vyp. № 2, 2011. – S. 513–526.
8. *Analiz processa razdachi trubnyh zagotovok pri shtampovke izdelij s konicheskimii poverhnostjami* / E. N. Sosenushkin, E. A. Janovskaja [i dr.] // *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki*. Vyp. № 3, 2013. – S. 618–631.
9. Kroha V. A. *Uprochnenie metallov pri holodnoj plasticheskoj deformacii* / V. A. Kroha. – M. : Mashinostroenie, 1980. – 157 s.

Калюжный А. В. – канд. техн. наук, доц. НТУУ «КПИ»
Пиманов В. В. – ассистент НТУУ «КПИ»
Олександренко Я. С. – студент НТУУ «КПИ»
Куликов И. П. – магистр НТУУ «КПИ»

НТУУ «КПИ» – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев.

E-mail: Av-k@ukr.net, pimanov@ukr.net, oleksandrenko@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24.02.2014 г.