

УДК 621.983

РАЗДЕЛ II ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Калюжный В. Л.
Олександренко Я. С.
Сабоп С. Ф.
Куликов И. П.

УВЕЛИЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАЗДАЧИ ПРИ ХОЛОДНОМ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ТРУБЧАТЫХ ЗАГОТОВОК

В машиностроении, атомной энергетике, нефтедобывающей промышленности и строительной индустрии используются штампованные детали трубопроводной арматуры. Среди таких деталей широко распространены переходники. Переходники могут быть конические, криволинейные, вогнутые и выпуклые. Для изготовления переходников используется холодная раздача трубчатых заготовок. Раздачу трубчатых заготовок также используют как предварительную операцию для изготовления соединительных элементов с фланцами различной конфигурации. Фланцы могут быть расположены перпендикулярно к оси трубчатой заготовки и под разным углом. Основным показателем при холодном формоизменении раздачей является коэффициент раздачи $k_p = D / D_o$ [1–4]. Тут D – наибольший диаметр сдеформированной части трубчатой заготовки, D_o – внешний диаметр исходной заготовки. Величина коэффициента k_p ограничена с одной стороны потерей устойчивости стенки цилиндрической части заготовки при раздаче, а с другой – разрушением торца сдеформированной части заготовки в связи с утонением стенки. В указанных источниках приведены рекомендации по проектированию процессов открытой и закрытой раздачи, а также штамповой оснастки.

В последнее время усовершенствование процессов раздачи направлено на учет анизотропии исходных заготовок, на процесс формоизменения [5, 6]. Другим направлением интенсификации процессов раздачи, которое направлено на увеличения коэффициента k_p , является использование пуансона специального профиля [7, 8]. Применение указанного пуансона позволяет уменьшить влияние сил трения на контактной поверхности и снизить усилие деформирования.

При изготовлении переходников из трубчатых заготовок холодной раздачей, актуальной задачей остается поиск резервов увеличения коэффициента раздачи. Один из способов формообразования переходников с большим коэффициентом раздачи приведен на рис. 1. Сначала выполняется раздача трубчатой заготовки по схеме с воздействием давления жидкости на внутреннюю поверхность заготовки (рис. 1, а). На схеме показан контейнер 1, который закреплен на нижней плите 2. В нижней части контейнера 1 установлен плунжер 3 с выталкивателем 4. В плунжере 3 выполнены отверстия 5 для протекания рабочей жидкости при раздаче трубчатой заготовки. Также в контейнере 1 размещены с возможностью перемещения две конические полуматрицы 6 и 7, скрепленные винтами 8. В полуматрицы 6 и 7 устанавливают трубчатую заготовку 9 до упора в плунжер 3. В резервуар 10, что закреплен в верхней части контейнера 1, заливают рабочую жидкость, которая через отверстия 11 свободно проходит в контейнер 1, заготовку 9 и через отверстия 5 заполняет полость 12. Усилие деформирования P_A прикладывают через пуансон 13. Для предотвращения утечек рабочей жидкости предусмотрены уплотнения 14. При опускании пуансона вниз лишней объем жидкости вытес-

няется через отверстия 9 в резервуар 10 и образуется полость 15. Пуансон 13 сжимает жидкость до давления q , которое действует на внутреннюю поверхность заготовки 9 перед началом раздачи (положение показано слева от оси симметрии). При дальнейшем перемещении пуансона происходит процесс раздачи заготовки. При этом жидкость, прижимая полуматрицу 6 до контейнера 1, вытесняется с полости 14 через отверстия 15 в пуансоне 13 и перемещает плунжер 3 с выталкивателем 4 навстречу пуансону 13. Раздача заготовки происходит путем приложения усилия P_d от пуансона и усилия P_{oc} от плунжера и заканчивается, когда пуансон 13 и плунжер 3 достигают полуматриц 6 и 7 соответственно (показано справа от оси симметрии). Величина P_{oc} определяется по выражению $P_{oc} = q\pi(D_3^2 - D_4^2 - D_0^2)/4$. Для обеспечения перемещения пуансона 13 и плунжера 3 с одинаковой скоростью площади сечений полостей 4 и 15 должны быть одинаковыми. После раздачи пуансон 13 поднимают вверх. Выталкиватель 4 перемещает полуматрицы с сформированной заготовкой до выхода полуматрицы 6 из контейнера. При этом жидкость вытекает в полость 12. Полуматрицы 6 и 7 разъединяют и извлекают полученный полуфабрикат 17, который приведен на рис. 1, б. После разрезки полуфабриката получают два переходника (рис. 1, в и 1, г).

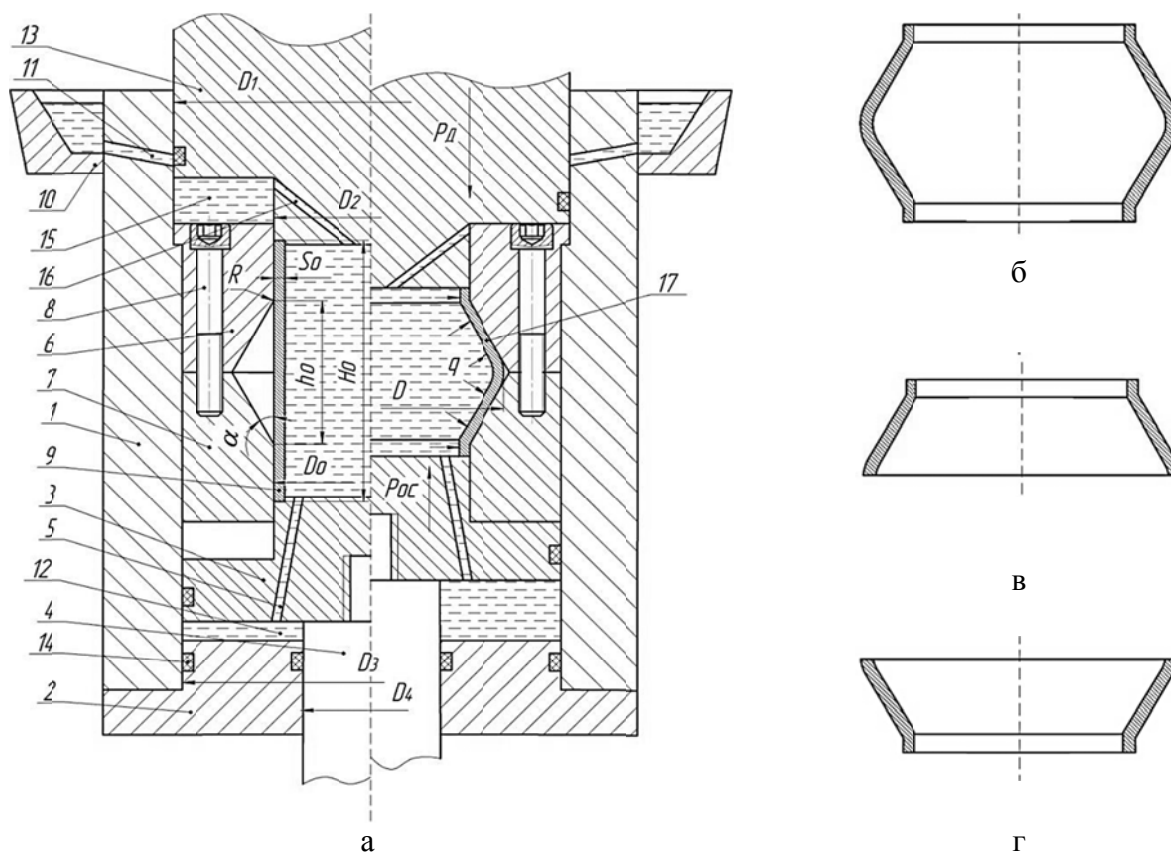


Рис. 1. Формообразование переходников с большим коэффициентом раздачи:

а – схема формообразования; б – полуфабрикат после формообразования; в и г – переходники после разрезки полуфабриката

Целью работы является определение параметров раздачи трубчатой заготовки с действием давления жидкости на внутреннюю стенку заготовки и сравнение результатов с открытой раздачей трубчатой заготовки.

Для установления параметров раздачи заготовки с действием давления жидкости и широко распространенной традиционной открытой раздачи проведен расчетный анализ методом конечных элементов (МКЭ) в программном комплексе DEFORM™. Холодной раздаче с действием давления жидкости подвергались трубчатые заготовки из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, высотой $H_0 = 160$ миллиметров (мм), диаметром $D_0 = 40$ мм и толщиной стенки

$S_0 = 2$ мм. Размеры полуматриц: $\alpha = 25^\circ$, $R = 20$ мм, $h_0 = 95$ мм. Традиционной открытой раздачей конусным пуансоном с односторонним углом $\alpha = 25^\circ$ деформировали трубчатые заготовки с указанной стали высотой $H_0 = 80$ мм, диаметром $D_0 = 40$ мм и толщиной стенки $S_0 = 2$ мм. Величина коэффициента трения на контактирующих поверхностях заготовки с деформирующим инструментом была принята $\mu = 0,1$. Задачи формоизменения решали в упругопластической постановке с упрочнением.

Моделированием было установлено, что для полного заполнения сдеформированным металлом профиля полуматриц на внутреннюю поверхность заготовки необходимо приложить давление $q = 60$ МПа. Зависимость усилия раздачи трубчатой заготовки с действием давления жидкости от перемещения пуансона, распределение нормальных напряжений на конусной поверхности полуматрицы при наибольшем усилии раздачи и общий вид полуфабриката в разрезе приведены на рис. 2. Усилие раздачи сначала возрастает до значения 52 кН, далее остается практически постоянным и существенное увеличение происходит на конечной стадии раздачи (рис. 1, а). Усилие достигает максимального значения 347 кН при перемещении пуансона 14,4 мм.

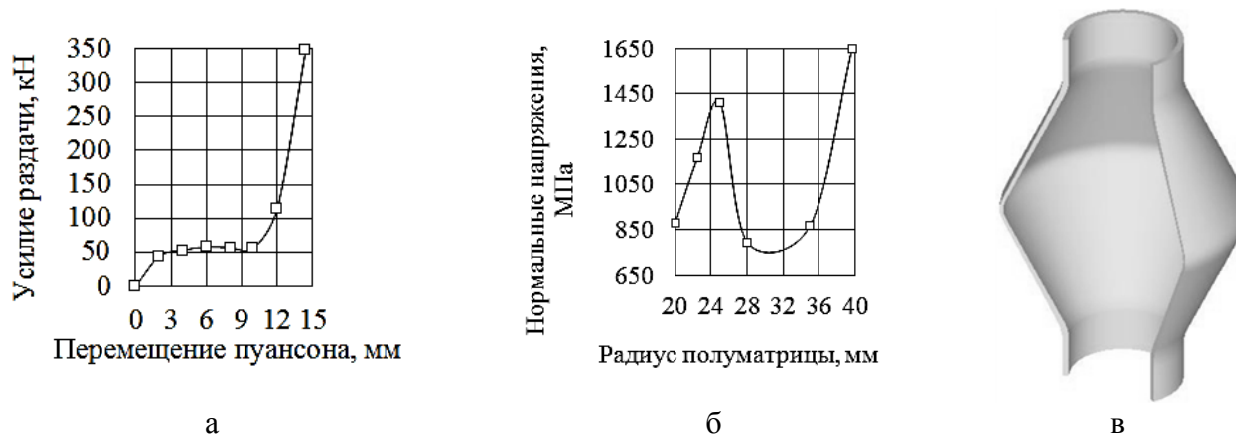


Рис. 2. Зависимость усилия раздачи с действием давления жидкости от перемещения пуансона (а), распределение нормальных напряжений на конусной поверхности полуматрицы (б) и общий вид полуфабриката в разрезе (в)

Наибольшие значения нормальных напряжений возникают в месте контакта сдеформированной заготовки с полуматрице по наибольшему диаметру (38 мм) и достигают значения 1 650 МПа (рис. 2, б). Общий вид полуфабриката в разрезе показан на рис. 2, в.

Зависимость усилия традиционной открытой раздачи от перемещения пуансона, распределение нормальных напряжений на конусной поверхности пуансона при наибольшем усилии раздачи и общий вид сдеформированной заготовки в разрезе приведены на рис. 3. Усилие раздачи постоянно возрастает и достигает максимальной величины 102 кН при перемещении пуансона 28,1 мм (рис. 3, а). Дальнейшее деформирование невозможно по причине потери устойчивости стенки цилиндрической части заготовки. Наибольшие значения нормальных напряжений 1 300 МПа возникают в месте контакта заготовки с пуансоном на радиусе пуансона 19,5 мм (рис. 3, б). На середине контакта сдеформированной заготовки с пуансоном нормальные напряжения минимальные и далее увеличиваются до места окончания контакта заготовки с пуансоном. Общий вид сдеформированной заготовки в разрезе приведен на рис. 3, в.

Расчетным анализом для рассмотренных вариантов раздачи выявлены конечные форма и размеры сдеформированных заготовок, которые приведены на рис. 4. При раздаче с действием давления жидкости наибольший диаметр полуфабриката достигает значения $D = 82$ мм (рис. 4, а). При этом коэффициент раздачи составил $k_p = 2,05$. При традиционной открытой раздаче получено соответственно $D = 60$ мм и $k_p = 1,5$ (рис. 4, б). Таким образом, использование схемы раздачи трубы с действием давления жидкости на внутреннюю стенку заготовки

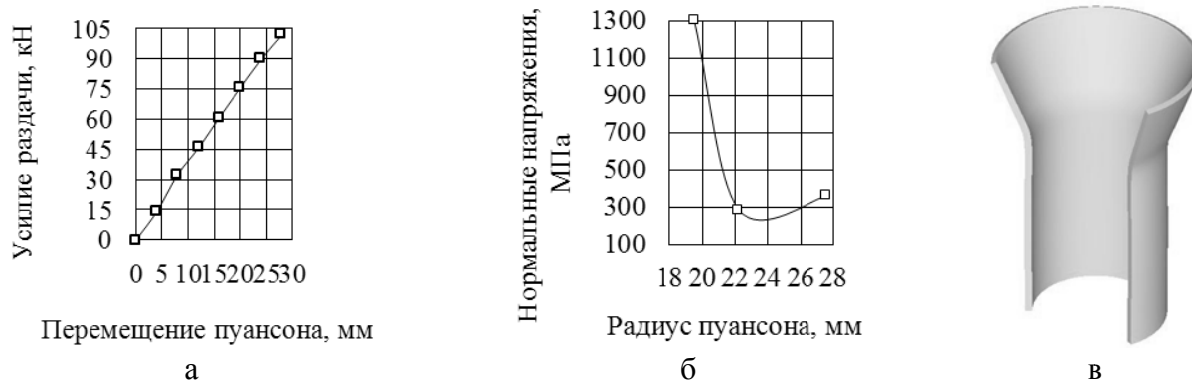


Рис. 3. Зависимость усилия традиционной открытой раздачи от перемещения пуансона (а), распределение нормальных напряжений на конусной поверхности пуансона (б) и общий вид сформированной заготовки в разрезе (в)

приводит к увеличению коэффициента раздачи в 1,3 раза. При раздаче с действием давления жидкости, как и при традиционной раздаче, имеет место незначительное утолщение стенки в месте перехода цилиндрической части заготовки в сформированную часть, а также утонение стенки по длине сформированной части заготовки. Толщина стенки при раздаче с действием давления жидкости уменьшается с исходного значения 2 мм до 1,21 мм в месте наибольшего диаметра полуфабриката. Очевидно, что при таком способе раздачи комбинированием величиной давления жидкости и скоростью перемещения пуансона и плунжера можно уменьшить утонение стенки сформированной части заготовки. При традиционной раздаче толщина стенки уменьшается до значения 1,52 мм на торце сформированной части заготовки.



Рис. 4. Форма и размеры в миллиметрах сформированных заготовок: а – после раздачи с действием давления жидкости; б – после традиционной открытой раздачи

Моделированием МКЭ установлено напряженно-деформированное состояние в сформированных заготовках, что позволило выявить степень использования ресурса пластичности ψ сформированного металла. Проработку структуры металла холодной пластической деформацией и упрочнение сформированного металла можно оценить по распределению интенсивности деформаций ε_i и интенсивности напряжений σ_i . Распределение величин ε_i , σ_i и ψ в сформированных заготовках для рассмотренных вариантов раздачи приведены на рис. 5. Наибольшие величины $\varepsilon_i = 0,68-0,78$ при раздаче с давлением жидкости сосредоточены в сформированной заготовки в зоне соединения конических частей (рис. 5, а). В указанном месте также получены максимальные величины σ_i (рис. 5, б) и ψ (рис. 5, в). При этом степень использования ресурса пластичности практически исчерпывается полностью. Поэтому резервом уменьшения величины ψ является уменьшение утонения стенки при формоизменении.

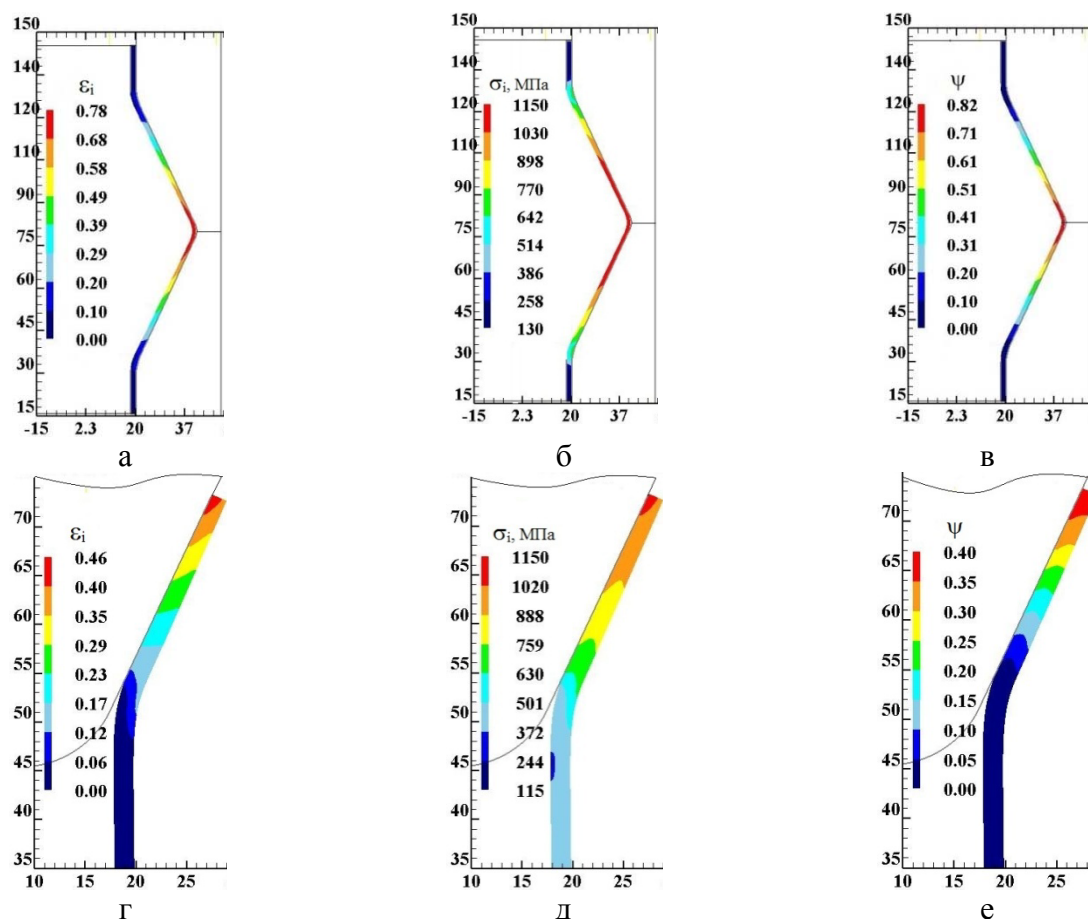


Рис. 5. Распределение интенсивности деформаций ε_i , интенсивности напряжений σ_i и степени использования ресурса пластичности ψ в сформированных заготовках:
а, б, в – после раздачи с действием давления жидкости; г, д, е – после традиционной раздачи. Размеры по осям в миллиметрах

При традиционной открытой раздаче наибольшие величины $\varepsilon_i = 0,4-0,46$ сосредоточены в зоне торца сформированной части заготовки с постепенным уменьшением до места перехода этой части в цилиндрическую часть (рис. 5, г). В этом месте интенсивность напряжений достигает значений $\sigma_i = 888-1\ 020$ МПа (рис. 5, д), а ресурс пластичности сформированного металла исчерпывается меньше чем наполовину (рис. 5, е).

ВЫВОДЫ

1. Методом конечных элементов разработана математическая модель и проведен расчетный анализ процесса раздачи с действием давления жидкости на внутреннюю стенку трубчатой заготовки из нержавеющей стали 12X18H10T, а также традиционной открытой раздачи трубчатой заготовки из указанной стали конусным пуансоном.

2. Моделированием было установлено величину давления жидкости $q = 60$ МПа на внутреннюю поверхность заготовки, которое обеспечивает получение полуфабриката для дальнейшего изготовления двух конусных переходников.

3. Расчетным путем определены усилия деформирования и распределение нормальных напряжений на деформирующем инструменте, конечные формы и размеры сформированных заготовок, а также напряженно-деформированное состояние и степень использования ресурса пластичности в них.

4. В проведенном сравнительном анализе двух вариантов раздачи показано, что использование давления жидкости приводит к увеличению коэффициента раздачи в 1,3 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке. - 6-е изд. переаб. и доп. / В. П. Романовский - Л. : Машиностроение. Ленингр. отд., 1979. - 520 с.*
2. Аверкиев Ю. А. *Холодная штамповка. Формоизменяющие операции / Ю. А. Аверкиев. - Изд-во Ростовского ун-та, 1984. - 288 с.*
3. *Ковка и штамповка: Справочник. В 4 т. Т4. Листовая штамповка / под ред. А. Д. Матвеева; ред. совет Е. И. Семенов [и др.] - М. : Машиностроение, 1985-1987. - 544 с.*
4. Аверкиев Ю. А. *Холодная штамповка. / Ю. А. Аверкиев, А. Ю. Аверкиев. - М. : Машиностроение, 1989. - 304 с.*
5. Яковлев С. С. *Математическая модель операции раздачи трубных заготовок из анизотропных материалов // С. С. Яковлев, Д. В. Крылов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки / Выпуск № 1. - 2011. - С. 79-88.*
6. 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 / Выпуск № 2, 2011г. - С. 513-526.*
7. *Интенсификация процесса раздачи осесимметричных заготовок / О. В. Калюжный, В. В. Пиманов, Я. С. Олександренко [и др.] // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. - Краматорск : ДГМА, 2014. - № 1 (38). - С. 103-109.*
8. Олександренко Я. С. *Влияние угла конуса спрофилированного пуансона на силовые режимы и качество изделий при раздаче трубчатых заготовок из стали 12Х18Н10Т / Я. С. Олександренко, И. П. Куликов // Сборник научных трудов (серия отраслевое машиностроение и строительство). - НТУ. - Полтава, 2014. - № 2 (41). - С. 259-265.*

REFERENCES

1. Romanovskij V. P. *Spravochnik po holodnoj shtampovke. - 6-e izd. pereab. i dop. / V. P. Romanovskij - L. : Mashinostroenie. Leningr. otd., 1979. - 520 s.*
2. Averkiev Ju. A. *Holodnaja shtampovka. Formoizmenjajushhie operacii / Ju. A. Averkiev. - Izd-vo Rostovskogo un-ta, 1984. - 288 s.*
3. *Kovka i shtampovka: Spravochnik. V 4 t. T4. Listovaja shtampovka / pod red. A. D. Matveeva; red. sovet E. I. Semenov [i dr.] - M. : Mashinostroenie, 1985-1987. - 544 s.*
4. Averkiev Ju. A. *Holodnaja shtampovka. / Ju. A. Averkiev, A. Ju. Averkiev. - M. : Mashinostroenie, 1989. - 304 s.*
5. Jakovlev S. S. *Matematicheskaja model' operacii razdachi trubnyh zagotovok iz anizotropnyh materialov // S. S. Jakovlev, D. V. Krylov // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki / Vypusk № 1. - 2011. - S. 79-88.*
6. 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 / Vypusk № 2, 2011g. - S. 513-526.*
7. *Intensifikacija processa razdachi osesimmetrichnyh zagotovok / O. V. Kaljuzhnyj, V. V. Pimanov, Ja. S. Oleksandrenko [i dr.] // Obrabotka materialov davleniem : sbornik nauchnyh trudov. - Kramatorsk : DGMA, 2014. - № 1 (38). - S. 103-109.*
8. Oleksandrenko Ja. S. *Vlijanie ugla konusa sprofilirovannogo puansona na silovye rezhimy i kachestvo izdelij pri razdache trubchatyh zagotovok iz stali 12H18N10T / Ja. S. Oleksandrenko, I. P. Kulikov // Sbornik nauchnyh trudov (serija otraslevoe mashinostroenie i stroitel'stvo). - NTU. - Poltava, 2014. - № 2 (41). - S. 259-265.*

Калюжный В. Л. — д-р техн. наук, проф. НТУУ «КПИ»
 Олександренко Я. С. — аспирант НТУУ «КПИ»
 Сабол С. Ф. — канд. техн. наук, доц. НТУУ «КПИ»
 Куликов И. П. — студент НТУУ «КПИ»

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

E-mail: kwl_2011@ukr.net; oleksandrenkoyaroslav@gmail.com; iv8h@mail.ru