

УДК 621.7.044

**Р.Г. ПУЗЫРЬ, Р.В. ЛЕВЧЕНКО, Ю.Б. СИРАЯ****ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗДАЧИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ**

Теоретичним аналізом встановлена можлива межа втрати стійкості заготовки при роздачі конічним пуансоном циліндричної заготовки з підпором торцевої зони. Для аналізу використовували інженерний метод визначення напруженого стану в осередку деформації, а також методи теорії циліндричних оболонок для визначення переміщень. Отримані залежності можуть бути використані для проектування технологічних процесів деформування трубних заготовок. Інтенсифікація процесу здійснюється за рахунок збільшення ступеню деформації крайових ділянок заготовки, причому підпір торця усуває руйнування у вигляді локалізації деформації з появою поздовжньої тріщини. Показано, що утворення тріщин збільшується на заготовках зі зварними швами, які загалом знижують пластичність матеріалу. Крайовий підпір може призвести до утворення складки на недеформованій частині заготовки.

**Ключові слова:** циліндрична заготовка; стійкість; напруження; згинаючий момент; деформація; роздача.

Теоретическим анализом установлена возможная граница потери устойчивости заготовки при раздаче коническими пуансонами цилиндрической заготовки с подпором торцевой зоны. Для анализа использовали инженерный метод определения напряженного состояния в очаге деформации, а также методы теории цилиндрических оболочек для определения перемещений. Полученные зависимости могут быть использованы для проектирования технологических процессов деформирования трубных заготовок. Интенсификация процесса осуществляется за счет увеличения степени деформации краевых участков заготовки, причем подпор торца устраняет разрушение в виде локализации деформаций с появлением продольной трещины. Показано, что трещинообразование увеличивается на заготовках со сварными швами, которые, в общем, снижают пластичность материала. Краевой подпор может привести к образованию складки на недеформируемой части заготовки.

**Ключевые слова:** цилиндрическая заготовка; устойчивость; напряжения; изгибающий момент; деформация; раздача.

The theoretical analysis has established possible border of loss of stability of preparation at distribution by conic punches of cylindrical preparation with a subtime of a face zone. For the analysis used an engineering method of definition of tension in the deformation center and also methods of the theory of cylindrical covers for definition of movements. The received dependences can be used for design of technological processes of deformation of pipe preparations. The intensification of process is carried out due to increase in extent of deformation of regional sites of preparation, and a subtime of an end face eliminates destruction in the form of localization of deformations with the advent of a longitudinal crack. It is shown that the cracks formation increases on preparations with welded seams which generally reduce plasticity of material. Regional a subtime can lead to formation of a fold on not deformable part of preparation.

**Keywords:** cylindrical preparation; stability; tension; the bending moment; deformation; distribution.

**Введение.** На сегодняшний день достаточноактуальной научной задачей является получение полноценной аналитической модели заготовки на определенных этапах ее производства, использование которой даст возможность реализации большинства научных задач по повышению качества и ресурса эксплуатации готовых изделий. В колесном производстве при изготовлении стальных ободьев колес первым технологическим переходом их изготовления является раздача цилиндрической заготовки. Раздачу проводят с целью уменьшения степени деформации на последующем за раздачей переходе радиально-ротационного профилирования, при этом стремятся получить как можно больший коэффициент раздачи, соответствующий определенным условиям деформирования. Коэффициент раздачи ограничивается разрушением заготовки в виде продольной трещины по сварному шву, в околошовной зоне или в сплошном металле, начинающейся в основном на торце заготовки, а также потерей устойчивости недеформируемой части заготовки в виде возникновения поперечной кольцевой складки.

**Цель работы.** Определение условий возникновения потери устойчивости в виде кольцевого выступа на недеформированной части заготовки в зависимости от технологических параметров процесса раздачи, торцевого подпора и

механических характеристик используемого материала.

**Изложение основного материала.** Научные наработки [1, 2, 3] относительно процесса обжима-раздачи являются базовыми для создания и усовершенствования большинства теоретических методов и методик расчета технологических параметров рассматриваемого процесса и изыскания эффективных приемов по интенсификации производства. Поэтому данные про особенности процесса деформирования трубных заготовок раздачей представляют практический и теоретический интерес.

Наибольший интерес в данном исследовании представляют существующие приемы, направленные на увеличение степени деформации с устранением разрушения или потери устойчивости заготовки. Так, в исследованиях Ершова В.И. [4] предложены различные способы интенсификации процесса в виде наложения на деформируемую часть заготовки эластичных колец, бандажей из более пластичных металлов, разделения операции на несколько переходов с получением на первом овальных в плане полуфабрикатов. По сведениям автора, подобные способы позволяют увеличить степень деформации без разрушения заготовки. Применение данных приемов в средне и крупносерийном производстве затrudнено, так как наложение на каждую заготовку

дополнительных связей и дифференцирование перехода увеличивает штучное время и снижает производительность. Известен способ [5], направленный на повышение степени формоизменения при раздаче трубных заготовок за счет исключения потери устойчивости в зоне передачи усилия и разрушения передней торцевой кромки. Для достижения указанной цели снаружи трубной заготовки, перед наталкиванием ее на пуансон, устанавливается дополнительная трубная заготовка большей толщины с внутренним диаметром, равным наружному диаметру основной трубной заготовки и из более пластичного металла, например, свинца.

Так как при одновременном наталкивании на пуансон двух заготовок со стороны внешней заготовки, имеющей большую толщину стенки (в три и более раз), создается давление на поверхность внутренней, то это приводит к созданию гидростатического давления в материале последней. Наличие гидростатического давления позволяет исключить разрушение передней торцевой кромки внутренней трубной заготовки. Кроме того, наличие внешнего подпора в виде наружной трубы исключает вероятность потери устойчивости в зоне передачи усилия. Все это приводит к увеличению предельных возможностей процесса раздачи тонкостенных труб. Наружная трубная заготовка является чисто технологическим элементом, поэтому ее целесообразно изготавливать из пластичного, хорошо обрабатываемого материала. Таким материалом является, например, свинец. После деформирования наружная заготовка легко переплавляется для следующей операции. Автором заявляется, что в результате реализации данного процесса степень формоизменения увеличилась на 30% при раздаче трубы с внутренним диаметром 32 мм, с толщиной стенки 1,5 мм из коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т. В качестве дополнительной заготовки использовалась труба из свинца с толщиной стенки 10 мм. Применение описанного способа в колесном производстве затруднено, так как в качестве заготовок для ободьев колес применяются цилиндры диаметром 270 – 1200 мм и изготовление свинцовых бандажей таких размеров потребует значительных капитальных затрат. Наиболее приемлемым методом увеличения степени деформации раздачей при средние и крупносерийном производстве ободьев колес, является создание подпора на торце заготовки, обеспечиваемое конструкцией инструмента.

Деформация раздачей цилиндрической заготовки обода усложняется наличием сварного шва. При раздаче наблюдается значительные деформации растяжения (утонение торца составляет 8 – 9%) [6]. Основной причиной разрушения заготовки в зоне сварного шва являются более низкие пластические и прочностные его характеристики по сравнению с основным металлом. Для ликвидации брака авторами [6] предложен способ раздачи с торцевым подпором, осуществляемый посредством передачи усилия на торец заготовки подпружиненными секторами,

которые установлены наклонно к оси пуансона в пуансонодержателе прессы. Недостатком способа является возможная потеря устойчивости заготовки в зоне передачи усилия. Для увеличения производительности процесса раздачи ее производят одновременно с двух сторон цилиндрической заготовки, что усиливает возможность складкообразования на свободной поверхности заготовки.

**Обсуждение результатов.** Результатом раздачи является получение конических раструбов на изначально цилиндрической заготовке, что может сопровождаться образованием складки в зоне передачи усилия, а также разрушением в виде образования трещины от торца.

Теоретическому анализу способа посвящен ряд работ [1, 7, 8], которые позволяют аналитически и численно рассчитать возникающие в заготовке напряжения в зависимости от технологических параметров и оценить возможности возникновения брака при раздаче. В тоже время, остается открытым вопрос определения зоны возможного образования складки на недеформированной части заготовки во время формообразования раздачей с торцевым подпором. Имея такие зависимости, позволяющие определять зону образования складок, можно применять укрепляющие наружные кольца вместо бандажей на всю длину заготовки, а также регулировать их положение относительно торца заготовки в зависимости от величины подпора, его наличия, технологических факторов процесса и механических характеристик материала.

В работе [7] на основании решения системы уравнений равновесия в цилиндрических координатах уравнения пластичности по гипотезе о максимуме касательных напряжений и граничными условиями  $x=0, \sigma_x=0$  было получено решение для распределения меридиональных и тангенциальных напряжений во время раздачи

$$\sigma_x = -\sigma_s \frac{x^2}{r^2}, \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = \sigma_s \left( 1 - \frac{x^2}{r^2} \right), \quad (2)$$

при этом принимались следующие допущения –  $\sigma_r=0$  ввиду малости, по сравнению с другими напряжениями и  $\tau_{rx}$  не зависит от координаты  $r$ , но

зависит от толщины линейно:  $\tau_{rx} = \frac{\tau_k x}{s}$ , тогда

$$\frac{\partial \tau_{rx}}{\partial x} = \frac{\tau_k}{s} \text{ и } \tau_x = \frac{\sigma_\theta s}{r}; \tau_{rx} = \frac{\sigma_\theta x}{r},$$

где  $\sigma_x$  – напряжения, действующие по оси заготовки;

$r$  – радиус заготовки,

$x$  – координата в направлении оси заготовки,

$\sigma_\theta$  – тангенциальные напряжения,

$s$  – толщина стенки заготовки.

В процессе приложения торцевого подпора, граничные условия изменяются: при  $x=0$ ,  $\sigma_x = -p_x$  где  $p_x$  – давление на краевую часть заготовки.

Тогда, подставляя в решение (1) новые граничные условия, получим

$$\sigma_x = -\sigma_s \frac{x^2}{r^2} - p_x, \quad (3)$$

$$\sigma_\theta = \sigma_s \left(1 - \frac{x^2}{r^2}\right) - p_x, \quad (4)$$

Найдем прогиб в зоне свободного изгиба в направлении радиуса заготовки, который появляется при действии выше полученных напряжений. Тангенциальная деформация равна:

$$\varepsilon_\theta = \frac{w}{R},$$

где  $w$  – прогиб заготовки в направлении радиуса.

Из связи напряжений и деформаций по деформационной теории пластичности при плоском напряженном состоянии:

$$\varepsilon_\theta = \frac{\varepsilon_i}{2\sigma_i} (2\sigma_\theta - \sigma_r). \quad (5)$$

Подставляя в данное уравнение значения напряжений из (3) и (4), перейдем к следующему выражению для прогиба:

$$w = \frac{r\sigma_s}{E} \left(1 - \frac{3x^2}{2r^2} - \frac{3p_x}{2\sigma_s}\right). \quad (6)$$

Полное выражение для прогиба с учетом краевого эффекта для оболочек будет иметь вид:

$$w = \frac{r\sigma_s}{E} \left(1 - \frac{3x^2}{2r^2} - \frac{3p_x}{2\sigma_s}\right) + e^{-\beta x} (A_1 \sin \beta x + A_2 \cos \beta x). \quad (7)$$

Тогда по аналогии с [9] находим постоянные из граничных условий  $x=l+a$ ,  $w=0$ ,  $\frac{dw}{dx}=0$ , где  $l$  – длина деформированного участка трубы,  $a$  – расстояние от зоны свободного изгиба до начала образования складки, и подставляя их в уравнение (7), определим параметра  $a$ .

$$a = \ln \frac{1}{\beta} \left( \frac{(R-r)E}{r\sigma_s \left(1 - \frac{3l^2}{2r^2} - \frac{3p_x}{2\sigma_s}\right)} - 1 \right), \quad (8)$$

**Выводы.** Анализ и сравнение полученных данных с аналогичными расчетами показывает [9], что граница образования складки смещается к месту свободного изгиба в случае наложения дополнительного торцевого подпора. Возникновение потери устойчивости происходит на некотором расстоянии от зоны свободного изгиба заготовки, которое будет зависеть от размеров заготовки, характерных для теории оболочек, предела текучести, модуля Юнга материала, коэффициента раздачи, а также величины давления на краю заготовки. Показано, что с увеличением степени деформации и

давления подпора зона образования складки смещается к месту свободного изгиба заготовки. Полученные данные можно использовать для интенсификации операции раздачи.

#### Список литературы

1. Інтенсифікація формуючих процесів холодного листового штампування: Монографія / О.В. Калюжний, В.Л. Калюжний. – К.: ТОВ «Сік Груп Україна», 2015. – 292 с.
2. Wang X. Effect of forming parameters on sheet metal stability during a rotary forming process for rim thickening / X. Wang, L. Li, L. Deng, J. Jin, Y. Hu // Journal of Materials Processing Technology. – 2015. – № 223, 262–273. – doi: 10.1016/j.jmatprot. 2015.04.009.
3. Guo Y.Q. Recent developments on the analysis and optimum design of sheet metal forming parts using a simplified inverse approach / Y.Q. Guo // Comput. Struct. – 2000. – № 78, с.133–148.
4. Еришов В.И. Совершенствование формоизменяющих операций листовой штамповки / В.И. Еришов, В.И. Глазков, М.Ф. Каширин. – М.: Машиностроение, 1990. – 312 с.
5. Пат. № 2158646 Россия МПК В 21 D 41/02. Способ раздачи концов труб / Меркулов В.И.; Марын Б.Н.; Одинокое В.И.; Шпорт В.И.; Макаров К.А., (Россия). Заявл.: 11.08.1998; опубл.: 10.11.2000.
6. Проскуряков Г.В. Раздача сварных цилиндров с торцевым подпором / Г.В. Проскуряков, В.С. Фомин, Е.В. Якуничев // Автомобильная промышленность. – 1977. – № 9. – С. 34–35.
7. Пузырь Р.Г. Влияние геометрических параметров цилиндрической заготовки на напряженно-деформированное состояние при раздаче коническими пуансонами / Р.Г. Пузырь, О.В. Троцко, В.Ю. Черкаченко // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2012. – № 4 (33). – С. 114–121
8. Beretta, S, Carboni, M, Machniewicz, T, Skorupa, M. Correlation between experiments and Strip Yield results on fatigue crack growth in a structural steel, *Proceedings ECF*, 2002, 14, Krakow, 46–57.
9. Пузырь Р.Г. Учет упрочнения металла при определении зоны возможной кольцевой потери устойчивости на первой операции раздачи при изготовлении ободьев колес / Р.Г. Пузырь, Л.Э. Дикая // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон: ХНТУ. – 2015. – №3 (54). – С. 165–169.

#### Bibliography (transliterated)

1. *Intensyfikatsiya formoutvoryuyuchih protsesiv holodnogo listovogo shtampuvannya: Monografiya* [Intensification of processes formation forms cold sheet stamping: Monograph] / Kalyuzhny O.V., Kalyuzhny V.L. – Kiev: TOV "Sik Group Ukraine", 2015. – 292 p.
2. Wang X. Effect of forming parameters on sheet metal stability during a rotary forming process for rim thickening / X. Wang, L. Li, L. Deng, J. Jin, Y. Hu // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2015. – № 223. – pp. 262–273. – doi: 10.1016/j.jmatprot. 2015.04.009.
3. Guo Y.Q. Recent developments on the analysis and optimum design of sheet metal forming parts using a simplified inverse approach / Y.Q. Guo // *Comput. Struct.* – 2000. – No 78, P. 133–148.
4. Yershov V.I. *Sovershenstvovanie formoizmenyayuschih operatsiy listovoy shtampovki* [Improvement operations of changing shape sheet stamping] / V.I. Yershov, V.I. Glazkov, M.F. Kashirin. – Moscow: Mechanical engineering, 1990. – 312 p.
5. Patent No. 2158646 Russia МПК В 21 D 41/02. *Sposob razdachi kontsov trub* [Way of distribution of the ends Pipes] / Merkulov V.I.; Maryin B.N.; Is identical V.I.; Shport V.I.; Makarov K.A., (Russia). It is stated: 8/11/1998; it is published: 11/10/2000.
6. Proskuryakov G.V. *Razdacha svarnykh tsilindrov s tortseyvim podporom* [Distribution of welded cylinders with edge to skids] / G.V. Proskuryakov, V.S. Fomin, E.V. Yakunichyev // *Automotive industry*. – 1977. – No 9, pp. 34–35.
7. Puzyr R.G. *Vliyanie geometricheskikh parametrov tsilindricheskoy zagotovki na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie pri razdache konicheskimi puansonami* [Influence of geometrical parameters of cylindrical preparation on the intense deformed state at distribution by conic punches] / R.G. Puzyr, O.V. Trotsko, V.Y. Cherkashchenko // *Processing of materials pressure: collection*

- of scientific works. – Kramatorsk: DGMA, 2012. – No 4 (33), pp. 114–121.
8. Beretta S, Carboni M, Machniewicz T, Skorupa M. Correlation between experiments and Strip Yield results on fatigue crack growth in a structural steel, *Proceedings ECF*, 2002, 14, Krakow, pp. 46–57.
9. Puzyr R.G. *Uchet uprochneniya metalla pri opredelenii zonyi vozmozhnoy koltsevoy poteri ustoychivosti na pervoy operatsii razdachi pri izgotovlenii obodev koles* [Accounting of hardening

metal when determining a zone of possible ring loss stability on the first operation of distribution at production of rims wheels] / R.G. Puzyr, L.E. Dikaya // *The Bulletin of the Kherson national technical university*. – Kherson: HNTU. – 2015. – No 3 (54), pp. 165–169.

Поступила (received) 14.11.2017

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Інтенсифікація процесу роздавання циліндричної заготовки / Р. Г. Пузир, Р. В. Левченко, Ю. Б. Сіра** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 43 (1265). – С. 39–42. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2519-2671

**Інтенсификация процесса раздачи цилиндрической заготовки / Р. Г. Пузырь, Р. В. Левченко, Ю. Б. Сирая** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 43 (1265). – С. 39–42. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2519-2671

**Intensification of process distribution cylindrical preparation / R.G. Puzyr, R.V. Levchenko, Y. B. Siraya** // *Bulletin of the NTU "KhPI"*. Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kh.: NTU "KhPI", 2017. – No. 43 (1265). – P. 39–42. – Bibliogr.: 8. – ISSN 2519-2671

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Пузир Руслан Григорович** – доктор технічних наук, доцент, Коледж Кременчуцького національного університету; м. Кременчук, Україна; e-mail: puzyruslan@gmail.com

**Пузырь Руслан Григорьевич** – доктор технических наук, доцент, Колледж Кременчугского национального университета, г.Кременчуг, Украина; e-mail: puzyruslan@gmail.com

**Puzyr Ruslan** – Doctor of Technical Sciences, Docent, Associate Professor, College of the Kremenchuk national university, Kremenchuk, Ukraine; e-mail: puzyruslan@gmail.com

**Левченко Роман Володимирович** – кандидат технічних наук, Коледж Кременчуцького національного університету; м. Кременчук, Україна; e-mail: lrv78@i.ua

**Левченко Роман Владимирович** – кандидат технических наук, Колледж Кременчугского национального университета, г.Кременчуг, Украина; e-mail: lrv78@i.ua

**Levchenko Roman** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), College of the Kremenchuk national university, Kremenchuk, Ukraine; e-mail: lrv78@i.ua

**Сіра Юлія Борисівна** – Коледж Кременчуцького національного університету, викладач, м. Кременчук, Україна; e-mail: julia\_sobol@i.ua

**Сирая Юлия Борисовна** – Колледж Кременчугского национального университета, преподаватель, г. Кременчуг, Украина; e-mail: julia\_sobol@i.ua

**Siraya Yulia** – College of the Kremenchuk national university, teacher. Kremenchuk, Ukraine; e-mail: julia\_sobol@i.ua