

УДК 621.7.043

doi:10.20998/2413-4295.2023.01.02

## АСИМЕТРИЧНЕ РОЗДАВАННЯ ТРУБНИХ ПЕРЕХІДНИКІВ АВТОМОБІЛІВ

Р. Г. ПУЗИР<sup>1\*</sup>, Р. Г. АРГАТ<sup>2</sup>, Е. С. КЛИМОВ<sup>3</sup>, С. М. ЧЕРНЕНКО<sup>3</sup>, А. А. ЧЕРНИШ<sup>3</sup>,  
Ю. Б. СІРА<sup>4</sup>, Р. М. ГАЙКОВ<sup>4</sup><sup>1</sup> Відділення машинобудування, Фаховий коледж Кременчуцького національного університету імені М.Остроградського, Кременчук, УКРАЇНА<sup>2</sup> Кафедра машинобудування, Кременчуцький національний університет імені М.Остроградського, Кременчук, УКРАЇНА<sup>3</sup> Кафедра автомобілів і тракторів, Кременчуцький національний університет імені М.Остроградського, Кременчук, УКРАЇНА<sup>4</sup> Відділення зварювання, Фаховий коледж Кременчуцького національного університету імені М.Остроградського, Кременчук, УКРАЇНА

\*e-mail: ruzyruslan@gmail.com

**АНОТАЦІЯ** Показано, що відповідальними деталями кожного транспортного засобу є трубчасті сполучні магістралі, що входять до гальмівної, паливної та вихлопної системи автомобілів. До цих трубопроводів пред'являються високі вимоги щодо надійності, вібростійкості, міцності, корозійної стійкості та довговічності. Дані деталі використовуються у ролі розширювачів і сполучних елементів при переході від меншого діаметра трубопроводу до більшого. У роботі представлені дослідження операції роздавання кінця трубної заготовки жорстким пуансоном. У процесі роздавання діючі тангенціальні напруження призводять до зменшення товщини крайової ділянки заготовки. Це тягне за собою зменшення надійності цієї ділянки в процесі експлуатації і зниження її ремонтпридатності та корозійної стійкості. Також, для забезпечення герметичності трубних з'єднань на вказаних ділянках заготовок нарізають різьбу або зварюють ці зони між собою. Тому важливою конструктивною особливістю трубчастих дифузorzів є однакова товщина стінки по всьому перетину напівфабрикату. Для вирішення завдання збільшення товщини напівфабрикату після роздавання запропоновано асиметричний інструмент. Завдання вирішували в кінцево-елементній постановці з використанням спеціального комплексу 3D моделювання Simulia Abaqus – student edition. Заготовка труби пред'являлася як тверде тіло, що деформується, у той час, як пуансон моделювався абсолютно жорстким дискретним об'ємним тілом. Метод побудови для обох моделей – «revolution». За даними кінцево-елементного моделювання роздавання конічним асиметричним інструментом має переваги з точки зору збільшення товщини торцевої зони розтруба труби. Товщина деталі збільшується на 22,5% з товщини 1,77 мм для класичного варіанту роздавання, до 1,82 мм – для роздавання несиметричним інструментом. Для зниження стоншення стінки після роздачі трубної заготовки рекомендується використовувати асиметричний пуансон. Для отримання симетричного розтруба труби необхідно зробити два переходи роздавання з поворотом заготовки або пуансона на 180°.

**Ключові слова:** трубна заготовка; роздавання; пластична деформація; стійкість; товщина; метал; трубопроводи; автомобіль

## ASYMMETRIC DISTRIBUTION OF PIPE ADAPTER FOR CARS

R. PUZYR<sup>1</sup>, R. ARHAT<sup>2</sup>, E. KLIMOV<sup>3</sup>, S. CHERNENKO<sup>3</sup>, A. CHERNYSH<sup>3</sup>, Yu. SIRA<sup>4</sup>, R. HAIKOV<sup>4</sup><sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University Vocational College, Kremenchuk, UKRAINE<sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, UKRAINE<sup>3</sup> Department of Cars and Tractors, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, UKRAINE<sup>4</sup> Department of Welding, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University Vocational College, Kremenchuk, UKRAINE

**ABSTRACT** It is shown that the responsible parts of each vehicle are tubular connecting lines, which are included into the braking, fuel and exhaust systems of cars. These pipelines have high requirements for reliability, vibration resistance, strength, corrosion resistance and durability. These parts are used as expanders and connecting elements when transitioning from a smaller pipeline diameter to a larger one. The paper presents studies of the operation of distributing the end of the pipe blank with a rigid punch. In the process of distribution, the acting tangential stresses lead to a decrease in the thickness of the edge section of the workpiece. This entails a decrease in the reliability of this area during operation and a decrease in its maintainability and corrosion resistance. Also, to ensure the tightness of pipe connections, threads are cut or these areas are welded together in the specified areas of the workpieces. Therefore, an important design feature of tubular diffusers is the same wall thickness throughout the cross-section of the semi-finished product. To solve the problem of increasing the thickness of the semi-finished product after distribution, an asymmetric tool is proposed. The task was solved in the finite-element formulation using a special complex of 3D modeling Simulia Abaqus – student edition. The pipe blank was represented as a deformable solid, while the punch was modeled as a completely rigid discrete solid. The construction method for both models is "revolution". According to finite element modeling, dispensing with a conical asymmetric tool has advantages from the point of view of increasing the thickness of the end zone of the pipe bell. The thickness of the part increases by 22.5% from a thickness of 1.77 mm for the classic version of distribution, to 1.82 mm – for distribution with an asymmetric tool. To reduce the thinning of the wall after distributing the pipe blank, it is recommended to use an asymmetric punch. To obtain a symmetrical pipe socket, it is necessary to make two dispensing transitions with a 180° rotation of the blank or punch.

**Keywords:** pipe billet; distribution; plastic deformation; stability; thickness; metal; pipelines; car

## Вступ

Ринок вантажних та легкових автомобілів розвивається у всьому світі і цьому сприяє

безперервне вдосконалення та покращення їхніх технічних та екологічних показників, ергономіки, дизайну тощо. Пандемія COVID-19 значно вплинула на світові ринки купівлі-продажу автомобілів, але

рівень їхнього споживання і, відповідно, виробництва залишається на досить високому рівні [1]. Так, у Китаї обсяг продажів легкових авто за 2020 рік склав 19,7 млн., що на 6,70% менше проти 2019 року, у США – 14,59 млн. – на 14,60% менше проти 2019 року, у Євросоюзі – 11,96 млн., що на 24,30% менше за 2019 рік [1,2]. Однак, незважаючи на зниження попиту на автомобілі, їхнє виробництво залишається значним.

Відповідальними деталями кожного транспортного засобу є трубчасті з'єднувальні магістралі, що входять до гальмівної, паливної та вихлопної системи автомобілів. До цих трубопроводів пред'являються високі вимоги щодо надійності, вібростійкості, міцності, корозійної стійкості та довговічності [3,4]. Як показує практика, основним конструктивним елементом, який найчастіше схильний до розгерметизації, є з'єднання трубопроводів з іншими деталями систем.

### Мета роботи

Мета роботи полягає у дослідженні впливу способу роздавання трубних перехідників на товщину торцевої зони готового виробу, порівнянні результатів та формуванні рекомендацій для використання запропонованих прийомів на машинобудівних підприємствах.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Зниження надійності трубопровідних з'єднань настає внаслідок неякісного складання та технічного обслуговування, внутрішнього надлишкового тиску, вібрації системи, температурних деформацій та корозійних процесів [5]. Складання, в основному, здійснюється за рахунок фланцевого з'єднання, зварювання або накидної гайки та муфти (американки). У першому випадку фланець може бути виготовлений операцією гарячого торцевого розкочування або видавлювання фланця, у другому – зварне з'єднання формується аргонним зварюванням або зварюванням на напівавтоматах, у третьому – за рахунок холодного розвальцювання кінця труби [6,7]. Кожен технологічний процес виготовлення трубних перехідників та з'єднань не здатний повною мірою забезпечити вимог функціонального характеру, що представлені вище. Так, після розкочування та видавлювання фланця трубної заготовки формується велике зерно в зоні нагріву та охолодження, що призводить до підвищеної ймовірності виникнення міжкристалічної корозії під час експлуатації. У процесі видавлювання фланця можуть виникати утяжини та простріли, а також внутрішні та зовнішні сколи на заготовці [8]. Після зварювання виникають дефекти внутрішньої будови матеріалу трубопроводу, які призводять до корозійних тріщин та діркової корозії [9]. Погіршуються такі дефекти при експлуатації трубопроводів системи в зонах з залишковими напруженнями, що розтягують [10]. Розвальцювання кінців трубних заготовок призводить

також до розшарування зони деформації за рахунок недотримання режимів процесу [11].

### Постановка завдання та методи дослідження

Для забезпечення потовщення ділянки торця напівфабрикату були проведені чисельні експерименти з деформування циліндричних зразків асиметричним пуансоном-інструментом. Порівняння отриманих результатів проводилося з класичним варіантом роздавання симетричним пуансоном.

Завдання вирішували у кінцево-елементній постановці з використанням спеціального комплексу 3D моделювання Simulia Abaqus – student edition.

Заготовка труби представлялася як тверде тіло, що деформується, у той час, як пуансон моделювався абсолютно жорстким дискретним об'ємним тілом. Метод побудови обох моделей – «revolution». Трубі надавалися такі механічні характеристики матеріалу:  $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$ ;  $E = 70 \cdot 10^9 \text{ Па}$ ;  $\mu = 0,33$ ,  $\sigma_{0,2} = 50 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ,  $\sigma_v = 110 \cdot 10^6 \text{ Па}$ . Вважалося, що матеріал є спочатку ізотропним, що має ізотропне зміцнення і апроксимується залежністю виду  $\sigma_{0,2} = 50 + 0,64\epsilon^{0,62}$  [12]. На початковому етапі розрахунку заготовка закріплювалася нижнім торцем по всіх ступенях свободи. На наступному кроці (Dynamic Explicit) формувалися поверхневі взаємодії між пуансоном і трубною заготовкою у вигляді кінематичного контакту з кінцевим формулюванням тертя та коефіцієнтом тертя рівним 0,15 [13,14]. Граничні умови накладали обмеження на переміщення та повороти заготовки під час руху пуансону. Навантаження заготовки забезпечувалося заданою швидкістю переміщення пуансона вздовж осі симетрії труби, яка дорівнювала 0,25 мм/сек.

Побудова сітки кінцевих елементів для заготовки проводилася структурним способом побудови з гексаедричною формою елемента із стандартної бібліотеки тривимірних 3D stress компонентів типу C3D8R (восьмикутні прямокутні з лінійним порядком та малим кроком інтегрування за часом). Пуансон покривався також сіткою, яка переважно складалася з кубічних елементів з техніки вільної побудови. Тип елементів вибирався із стандартної бібліотеки жорстких дискретних тіл типу R3D4 (чотириохкутові об'ємні білінійні жорсткі чотирикутники).

Як вже говорилося раніше, товщина торцевої частини трубної заготовки зменшується по ходу руху пуансону. Ця обставина обмежує спосіб роздавання граничним коефіцієнтом роздавання, що забезпечує деформацію без втрати стійкості вільної поверхні, а також без її руйнування в зоні формоутворення. Поява цих дефектів формоутворення залежить від механічних властивостей матеріалу заготовки, її відносних розмірів  $s/D_0$ , кута нахилу утворюючої пуансону, умов контактного тертя і умов закріплення заготовки в штампі [15]. У кожному конкретному виробничому процесі необхідно проводити пробні операції для підбору необхідного варіанту

коефіцієнту роздавання, що значно збільшує час на технологічну підготовку виробництва. Цей процес ускладнюється, коли необхідно запланувати та виготовити розтруб заданої товщини на торці заготовки. Так зони, що межують з торцевою ділянкою, деформуються менше її в тангенціальному напрямку і формують стримуючий ефект для деформації торцевих ділянок, збільшуючи, тим самим, його відносне подовження. Тому подовження торцевої частини заготовки завжди більше подовження стандартного зразка при розтягуванні [15-17].

Геометрія пуансона з прямолінійною твірною: діаметр верхньої основи –  $D_n=29$  мм; діаметр нижньої основи –  $d_n = 21$  мм; кут нахилу утворює –  $\alpha = 15^\circ$ ; висота пуансона –  $l_n = 15$  мм. Заготовка: зовнішній діаметр –  $D_0 = 25$  мм; товщина стінки –  $s = 2$  мм; висота –  $l_3 = 50$  мм. Конструктивні розміри пуансону та заготовки вибиралися таким чином, щоб забезпечити роздачу без втрати стійкості та руйнування, спираючись на рекомендації [18-20]. Геометрія асиметричного пуансона пояснюється рис. 1, де  $R_n$  – радіус верхньої основи;  $r_n$  – радіус нижньої основи;  $\alpha$  – кут нахилу твірної конусу (показано  $\frac{1}{2}$  частини інструмента).

**Результати чисельного моделювання**

Результати 3D моделювання деформації трубної заготовки симетричним пуансоном показано нижче (рис. 2).

Роздавання несиметричним пуансоном являє собою збільшення діаметра труби з одного боку заготовки, в той час як протилежна ділянка не піддається збільшенню діаметра, проте, у ній також виникають деформації за рахунок деформацій суміжних ділянок, схильних до збільшення діаметру (рис. 3).

Аналіз отриманих результатів кінцево-елементного моделювання показав (рис. 2), що

ділянки заготовки, прилеглі до торця, одержують найбільшу логарифмічну деформацію стиснення за товщиною та величина цієї деформації дорівнює понад 11,6%. Напруження за Мізесом мають найбільше значення також у торцевих зонах, де заготовка піддається найбільшій тангенціальній та радіальній деформації, тут їх величина дорівнює близько 114 МПа. Вільні зони труби, які не піддаються впливу пуансона, зберігають прямолінійність і набувають деформації стиснення в осьовому напрямку порядку 0,02%.

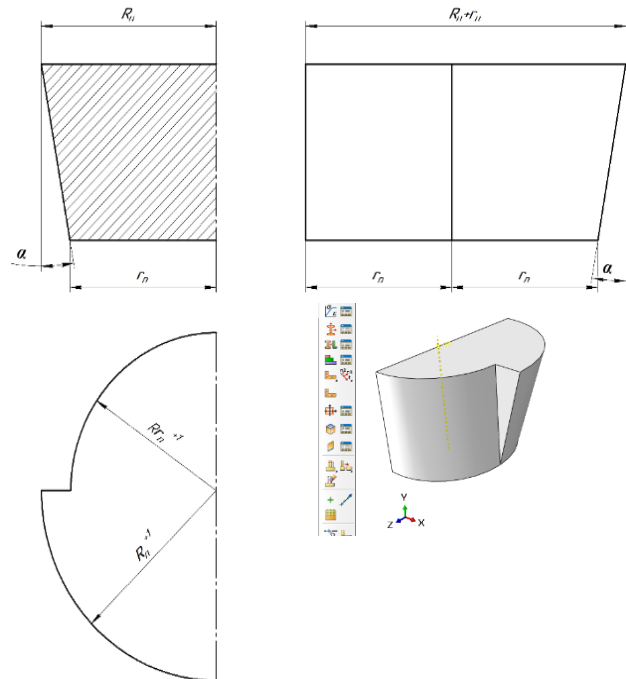


Рис. 1 – Геометрична характеристика асиметричного пуансону та його 3D модель у Simulia Abaqus

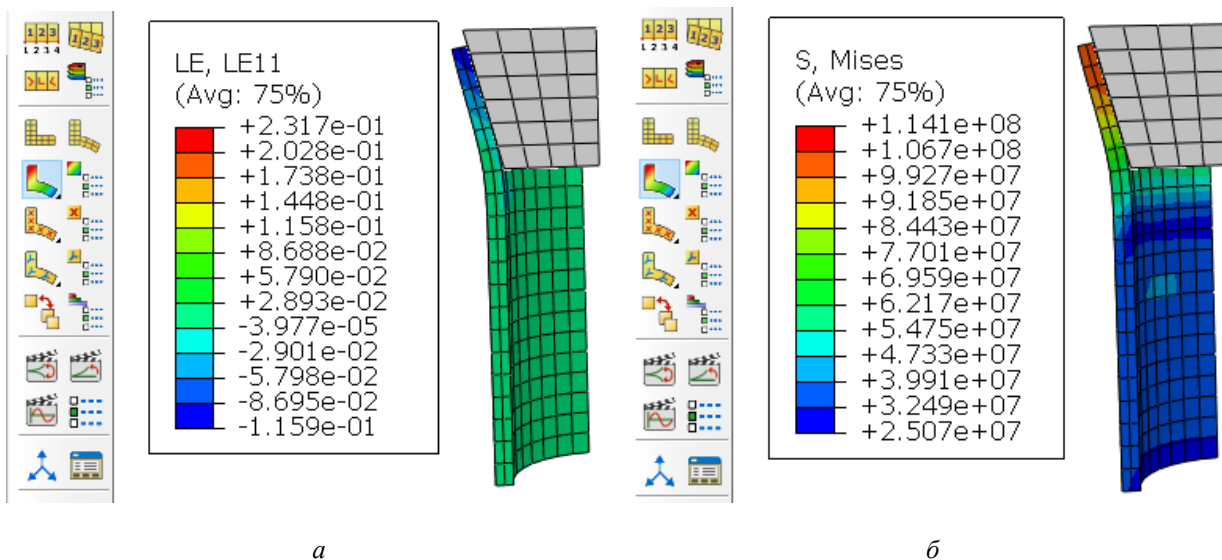
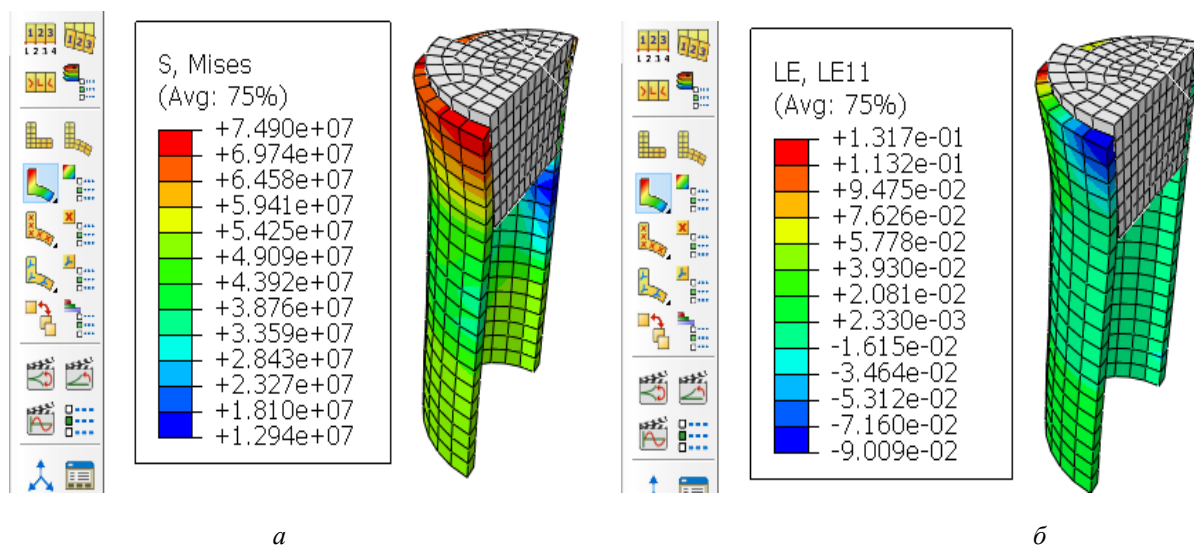


Рис. 2 – Роздавання трубної заготовки симетричним пуансоном: а – логарифмічні деформації по товщині заготовки; б) – розподіл напружень по Мізесу наприкінці робочого ходу інструменту



а

б

Рис. 3 – Роздавання труби несиметричним пуансоном:

а – логарифмічні деформації за товщиною заготовки; б – розподіл напружень у стінках заготовки по Мізесу

Роздавання асиметричним інструментом за цих умов навантаження (рис. 3) характеризується найбільшими логарифмічними деформаціями стиснення за товщиною заготовки на її торці, які дорівнюють 9% і найбільшою інтенсивністю напружень, яка досягає 74,9 МПа. Очевидно, що за даними кінцево-елементного моделювання роздавання несиметричним конічним інструментом має переваги з точки зору збільшення товщини торцевої зони розтруба труби. Товщина деталі збільшується на 22,5% з товщини 1,77 мм для класичного варіанта роздавання, до 1,82 мм – для роздавання несиметричним інструментом.

Дані результати моделювання можна вважати, певною мірою, наближеними, оскільки не враховувалася анізотропія механічних властивостей матеріалу, яка значно впливає на граничний коефіцієнт роздавання [21-23].

### Обговорення результатів

Для завершення операції роздавання у цьому випадку необхідно повернути інструмент на 180° та знову повторити його хід. При цьому деформуватиметься лише частина заготовки, яка контактує з конусною ділянкою пуансону.

Такий інструмент, але для обтискання трубних заготовок, застосовувався авторами робіт [21,24]. Проте завданням дослідників на разі було отримання труб для з'єднання горизонтальних ділянок трубопроводів діаметром 10–400 мм. Тут розглядалися, в основному, умови паралельності кромки основи та горловини та визначалися фактори, які дозволяють витримати цей параметр під час обтискання.

У роботах [21,23] аналізують процес роздавання заготовок ексцентричним інструментом для одержання розтрубів на трубах для поворотів магістральних шляхів. Увагу дослідників привертають граничні ступені роздавання та розрахунок напружено-деформованого стану і визначення товщини стінок у процесі деформації. При цьому заготовка, як для обтиску, готується з косим зрізом. Тут вводиться припущення про те, що розміри частини трубної заготовки, що деформується, будуть різними через змінний кут перетину конічної частини з циліндричною. Це відповідає дійсності, оскільки торець заготовки нахилений до вертикальної осі труби під деяким кутом  $\alpha$ , що забезпечує нерівномірність деформування. Наводиться формула до розрахунку товщини стінки розтрубу [21]

$$s = s_0 \sqrt{\frac{1}{k_p}},$$

де  $k_p$  – коефіцієнт роздавання.

Тобто, за цією залежністю товщина стінок розтруба залежатиме лише від коефіцієнта роздавання та для протилежних зон вона не зміниться. Але, внаслідок несиметричного роздавання одні ділянки заготовки, як було зазначено авторами, зазнають деформації різної величини і це має призводити до різнотовщинності торців напівфабрикату. Це допущення підтверджує проведення моделювання процесу роздавання асиметричним інструментом у середовищі Simulia Abaqus (рис. 4).

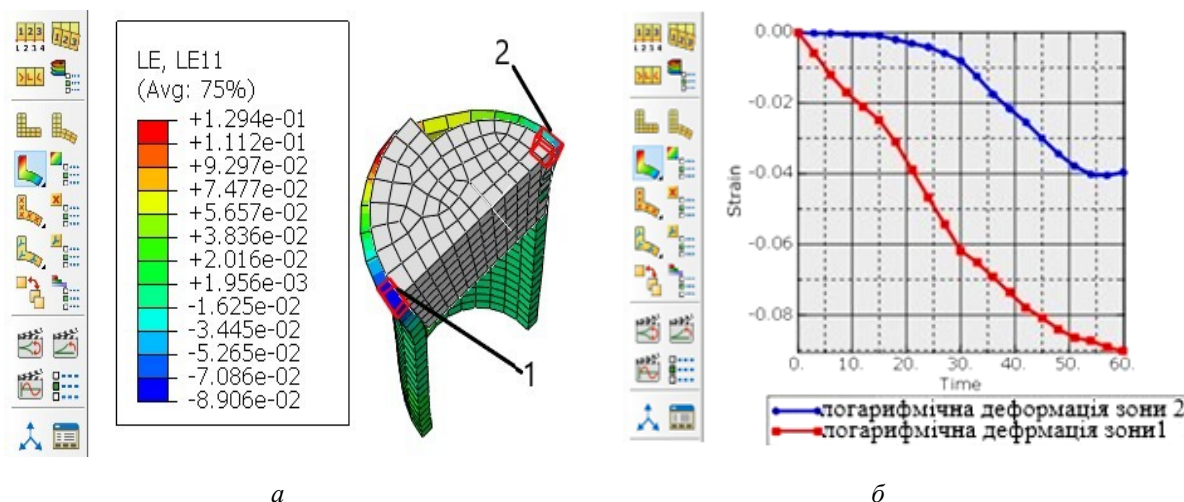


Рис. 4 – Логарифмічні радіальні деформації ділянок напівфабрикату, що протилежать одна одній: а – досліджувані ділянки на напівфабрикаті; б – графіки логарифмічних деформацій по товщині заготовки

Як видно з наведених графіків зміни деформації за товщиною заготовки в часі, в зоні роздавання (ділянка 1) деформація стінки становить близько 9%, у той час, як на протилежній ділянці, аналогічна деформація ділянки 2 склала 4%. Ділянка 2 зазнає деформації стиснення, що призводить до зменшення товщини напівфабрикату за рахунок тангенціального роздавання протилежної зони заготовки, яка знаходиться на ділянці активного формоутворення.

### Висновки

Таким чином, можна зробити висновок про те, що заготовка під час роздавання асиметричним інструментом знаходиться в умовах нерівномірної деформації протилежних зон. Одні її ділянки, які збільшуються в діаметрі, одержують великі тангенціальні та радіальні деформації, а інші, які не зазнають збільшення діаметра інструментом, деформуються на порядок менше у радіальному напрямку. Ці радіальні деформації виникають за рахунок нерозривності деформацій суміжних ділянок, які вимушено зазнають розтягування у тангенціальному напрямку під час робочого ходу інструменту. Для розрахунку величини деформацій, що виникають, і товщини стінки напівфабрикату необхідно, очевидно, використовувати рівняння зв'язку напружень і деформацій за деформаційною теорією пластичності при одночасній дії нормальних і дотичних напружень.

Для зниження потоншення стінки після роздавання трубної заготовки рекомендується використовувати асиметричний пуансон. Для отримання симетричного розтруба труби необхідно здійснити два переходи роздавання з поворотом заготовки або пуансона на 180°.

### Список літератури

1. Автомобильный рынок Украины 2020/2021. URL: <https://inventure.com.ua/analytics/investments/avtomobilnyj-gynok-ukrainy-2020-2021> (дата звернення 05.12.2022).

- Logist today. URL: <https://logist.today> (дата звернення 10.12.2022).
- Rubino L., Capasso C., Veneri O. Review on plug-in electric vehicle charging architectures integrated with 538 distributed energy sources for sustainable mobility. *Appl. Energy*. 2017. Vol. 207. P. 438-464. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.06.097.
- Пузырь Р. Г., Левченко Р. В., Сира Ю. Б., Лелюх С. Н. Численное моделирование потери устойчивости трубной заготовки при раздаче соединительных переходников. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. Харків: НТУ «ХПІ», 2019. № 12(1337). С. 51–56.
- Кисликов В. Ф., Лущик В. В. *Будова й експлуатація автомобілів*. Київ: Либідь, 2006. 400 с.
- Підгородецький Я. І., Сичевський М. І., Домінік А. М. *Автомобільні транспортні засоби*. Львів: ЛДУ БЖД, 2013. 316 с.
- Бубнов В. А., Марфицын С. В. Аустенитные стали и пластическая деформация. *Вестник Курганского государственного университета*. Курган, 2014. № 2 (33). С. 41–43.
- Титов Ю. А., Титов А. Ю. *Контроль качества поковок*. Ульяновск: УЛГТУ, 2008. 70 с.
- Мигачева Г. Н. Анализ дефектов сварки трубопроводов. *Достижения науки и образования*. 2018. № 3(25). С. 9–14.
- Бут В. С., Олейник О. И. Основные направления развития технологии ремонта магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации под давлением. *Производственный раздел. Автоматическая сварка*. 2007. № 5. С. 45–48.
- Espiner R., Kaye D., Goodfellow G., Hopkins P. Inspection & assessment of damaged subsea pipelines: a case study. *Proceedings of IPC 2008. 7th International Pipeline Conference. (September 29-October 3, 2008, Calgary)*. Alberta, Canada, 2008. P. 1–8.
- Geselbracht M., Arthur B., Penn R., Lisensky G., Stone D. Mechanical Properties of Metals: Experiments with Steel, Copper, Tin, Zinc, and Soap Bubbles. *J. Chemical Education*. 1994. Vol. 71. 3. P. 254–261. doi: 10.1021/ed071p254.
- Matsuda K., Hashimoto D., Nakamura K. Real contact area and friction property of rubber with two-dimensional regular wavy surface. *Tribology International*. 2016. Vol. 93 (part B). P. 523–529. doi: 10.1016/j.triboint.2014.11.011.

14. Мосьпан Д. В., Драгобецкий В. В., Пузырь Р. Г. Определение потребного крутящего момента при радиально-ротационном профилировании ободьев колес. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені М. Остроградського*. Кременчук: КДПУ, 2008. Том 2. № 6 (53). С. 64–66.
15. Аверкиев Ю. А., Аверкиев А. Ю. *Технология холодной штамповки*. Москва : Машиностроение, 1989. 304 с.
16. Попов Е. А. *Основы теории листовой штамповки*. Москва : Машиностроение, 1977. 278 с.
17. Пузырь Р. Г., Дикая Л. Э. Учет упрочнения металла при определении зоны возможной кольцевой потери устойчивости на первой операции раздачи при изготовлении ободьев колес. *Вестник Херсонского национального технического университета*. Херсон: ХНТУ, 2015. №3. С. 165–169.
18. Мовшович И. Я., Пузырь Р. Г. Расчет меридиональных напряжений на первой операции процесса радиально-ротационного профилирования ободьев колёс. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. 2013. № 10. С. 3–7.
19. Wang, X. Y., Ouyang K., Xia J. C. FEM analysis of drawing-thickening technology in stamping-forging hybrid process. *Forging & Stamping Technology*. 2009. Vol. 34 (4). P. 73–78. doi: 10.3969/j.issn.1000-3940.2009.04.017.
20. Шофман Л. А. *Теория и расчеты процессов холодной штамповки*. Москва : Машиностроение, 1964. 375 с.
21. Семенов Е. И. *Ковка и штамповка: Справочник. Т. 4 Листовая штамповка*. Москва: Машиностроение, 1985–1987. 544 с.
22. Драгобецкий В. В., Левченко Р. В., Пузырь Р. Г. Анализ нагружения заготовки при радиально-ротационном способе получения ободьев колес с измененной схемой внешнего воздействия. *Обработка материалов давлением*. 2012. № 1 (30). С. 146–149.
23. Сосенушкин Е. Н., Смолевич И. Е., Яновская Е. А. Исследование процесса неравномерной раздачи трубных заготовок. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХПІ», 2012. № 47. С. 184–192.
24. Унсков Е. П., Джонсон У., Колмогоров В. Л., Попов С. А., Сафаров Ю. С., Венгер Р. Д., Кудо Х., Осакада К., Пью Л. Д., Соуерби Р. *Теория пластических деформаций металлов*. Москва: Машиностроение, 1983. 598 с.
5. Kislikov V. F., Lushchik V. V. *Budova j ekspluataciya avtomobiliv [Construction and operation of cars]*. Kyiv. Lybid, 2006. 400 p.
6. Pidhorodetsky Ya. I., Sychevsky M. I. and Dominik A. M. *Avtomobil`ni transportni zasoby` [Motor vehicles]*. Lviv. LSU BJD, 2013. 316 p.
7. Bubnov V. A. and Marfitsyn S. V. Austenitnye stali i plasticheskaya deformaciya [Austenitic steels and plastic deformation]. *Bulletin of the Kurgan State University*, 2014, no. 2 (33), pp. 41–43.
8. Titov Yu. A. and Titov A. Yu. *Kontrol kachestva pokovok [Quality control of forgings]*. Ulyanovsk. UISTU, 2008, 70 p.
9. Migacheva G. N. Analiz defektov svarki truboprovodov [Analysis of pipeline welding defects]. *Achievements in science and education*, 2018, no. 3 (25), pp. 9–14.
10. But V. S., Oleinik O. I. Osnovnye napravleniya razvitiya tehnologii remonta magistralnyh truboprovodov v usloviyah ekspluatcii pod davleniem [The main directions of development of the technology of repair of main pipelines in operating conditions under pressure]. *Production section. Automatic welding*, 2007, no. 5, pp. 45–48.
11. Espiner R., Kaye D., Goodfellow G., Hopkins P. Inspection & assessment of damaged subsea pipelines: a case study. *Proceedings of IPC 2008 7th International Pipeline Conference*. September 29-October 3, 2008, Calgary, Alberta, Canada, pp. 1–8.
12. Geselbracht M., Arthur B., Penn R., Lisensky G., Stone D. Mechanical Properties of Metals: Experiments with Steel, Copper, Tin, Zinc, and Soap Bubbles. *J. Chemical. Education*, 1997, no. 71, 3, pp. 254–261, doi: 10.1021/ed071p254.
13. Matsuda K., Hashimoto D., Nakamura K. Real contact area and friction property of rubber with two-dimensional regular wavy surface. *Tribology International* 93 (part B), 2016, pp. 523–529, doi: 10.1016/j.triboint.2014.11.011.
14. Mospan D. V., Dragobetsky V. V. and Puzyr R. G. Opredelenie potrebnogo krutyashego momenta pri radialno-rotacionnom profilirovanii obodev koles [Determination of the required torque for radial-rotational profiling of wheel rims]. *Visnik of the Kremenchutsk sovereign polytechnic university named after Mikhail Ostrogradskiy*, 2008, Iss 2, 6 (53), pp. 64–66.
15. Averkiev Yu. A. and Averkiev A. Yu. *Tehnologiya holodnoj shtampovki [Cold stamping technology]*. Moscow. Mechanical Engineering, 1989. 304 p.
16. Popov E. A. *Osnovy teorii listovoj shtampovki [Fundamentals of the theory of sheet stamping]*. Moscow. Mechanical Engineering, 1977. 278 p.
17. Puzyr R. G., Dikaya L. E. Uchet uprochneniya metalla pri opredelenii zony vozmozhnoj kolevoj poteri ustojchivosti na pervoj operacii razdachi pri izgotovlenii obodev koles [Taking into account metal hardening when determining the zone of possible annular buckling at the first operation of distribution during the manufacture of wheel rims]. *Visnik of KhNTU*, 2015, no. 3, pp. 165–169.
18. Movshovich I. Ya., Puzyr R. G. Raschet meridionalnyh napryazhenij na pervoj operacii processa radialno-rotacionnogo profilirovaniya obodev kolyos [Calculation of meridional stresses at the first step of the process of radial-rotational profiling of wheel rims]. *Forging and stamping production. Material processing by pressure*, 2013, no. 10, pp. 3–7.
19. Wang X. Y., Ouyang K., Xia J. C. FEM analysis of drawing-thickening technology in stamping-forging hybrid process. *Forging & Stamping Technology*, 2009, no. 34 (4), pp. 73–78, doi: 10.3969/j.issn.1000-3940.2009.04.017.

#### References (transliterated)

1. Avtomobilniyiy ryinok Ukraini 2020/2021 [Automotive market of Ukraine 2020/2021]. Available at: <https://inventure.com.ua/analytics/investments/avtomobilnyj-rynok-ukrainy-2020-2021> (accessed 05.12.2023).
2. Logist today. Available at: <https://logist.today/> (accessed 10.12.2023).
3. Rubino L., Capasso C., Veneri O. Review on plug-in electric vehicle charging architectures integrated with 538 distributed energy sources for sustainable mobility. *Appl. Energy* 2017, 207, pp. 438–464, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.06.097.
4. Puzyr R. G., Levchenko R. V., Sira Yu. B., Lelyukh S. N. Chislennoe modelirovanie poteri ustojchivosti trubnoj zagotovki pri razdache soedinitelnyh perehodnikov [Numerical modeling of the buckling loss of a pipe billet during expansion of connecting adapters]. *Journal of Innovative technologies and equipment for materials processing in mechanical engineering and metallurgy NTU "KhPI"*, 2019, no. 12 (1337), pp. 51–56.

20. Shofman L. A. *Teoriya i raschety processov holodnoj shtampovki [Theory and calculations of cold stamping processes]*. Moscow. Mechanical Engineering, 1964. 375 p.
21. Semenov E. I. *Kovka i shtampovka: Spravochnik. T. 4 Listovaya shtampovka [Forging and stamping: A Handbook. Vol. 4 Sheet stamping]*. Moscow, 1985–1987. 544 p.
22. Dragobetsky V. V., Levchenko R. V., Puzyr R. G. Analiz nagruzheniya zagotovki pri radialno-rotacionnom sposobe polucheniya obodev koles s izmenennoj shemoj vneshnego vozdeystviya [Analysis of the workpiece stress in the radial-rotary method of obtaining wheel rims with a modified scheme of external influence]. *Material processing by pressure*, 2012, no. 1 (30), pp. 146–149.
23. Sosenushkin E. N., Smolovich I. E., Yanovskaya E. A. Issledovanie processa neravnomernoj razdachi trubnyh zagotovok [Investigation of the process of uneven expansion of pipe billets]. *Bulletin of NTU "KhPI": New solution in modern technologies*, 2012, Iss. 47, pp. 184–92.
24. Unksov E. P. et al. *Teoriya plasticheskikh deformacij metallov [The theory of plastic deformations of metals]*. Moscow, 1983. 958 p.

#### Відомості про авторів (About authors)

**Пузыр Руслан Григорович** – доктор технічних наук, професор, Фаховий коледж Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, викладач спеціальних дисциплін відділення машинобудування, м. Кременчук, Україна; ORCID: 0000-0001-9791-9002; e-mail: puzyruslan@gmail.com.

**Puzyr Ruslan** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mechanical Engineering, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University Vocational College, Kremenchuk, Ukraine; ORCID: 0000-0001-9791-9002; e-mail: puzyruslan@gmail.com.

**Аргат Роман Григорович** – кандидат технічних наук, доцент, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, доцент кафедри машинобудування, м. Кременчук, Україна, ORCID: 0000-0001-9247-5297, e-mail: argat.rg@gmail.com.

**Arhat Roman** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Kremenchuk, Ukraine; ORCID: 0000-0001-9247-5297; e-mail: argat.rg@gmail.com.

**Климов Едуард Сергійович** – кандидат технічних наук, доцент, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, завідувач кафедри автомобілів і тракторів, м. Кременчук, Україна; ORCID: 0000-0002-2662-2401; e-mail: Edward.klimov@gmail.com.

**Klimov Eduard** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Head of the department of Cars and Tractors, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Kremenchuk, Ukraine; ORCID: 0000-0002-2662-2401; e-mail: Edward.klimov@gmail.com.

**Черненко Сергій Михайлович** – кандидат технічних наук, доцент, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, доцент кафедри автомобілів і тракторів, м. Кременчук, Україна; ORCID: 0000-0002-7670-5168; e-mail: 772277@rambler.ru.

**Chernenko Serhiy** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Cars and Tractors, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Kremenchuk, Ukraine; ORCID: 0000-0002-7670-5168; e-mail: 772277@rambler.ru.

**Черниш Андрій Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, доцент кафедри автомобілів і тракторів, м. Кременчук, Україна; ORCID: 0000-0002-9711-827X; e-mail: chiernysh72@gmail.com.

**Chernysh Andriy** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Cars and Tractors, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Kremenchuk, Ukraine; ORCID: 0000-0002-9711-827X; e-mail: chiernysh72@gmail.com.

**Сіра Юлія Борисівна** – викладач вищої категорії, Фаховий коледж Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, викладач спеціальних дисциплін відділення зварювання, м. Кременчук, Україна; ORCID: 0000-0002-9247-4777; e-mail: sobol@i.ua.

**Sira Yulia** – Teacher of the highest category, Department of Welding, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University Vocational College, Kremenchuk, Ukraine; ORCID: 0000-0002-9247-4777; e-mail: sobol@i.ua.

**Гайков Роман Миколайович** – викладач вищої категорії, Фаховий коледж Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, викладач спеціальних дисциплін відділення зварювання, м. Кременчук, Україна; ORCID: 0000-0002-9958-2607; e-mail: romanhaikov@ukr.net.

**Haikov Roman** – Teacher of the highest category, Department of Welding, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University Vocational College, Kremenchuk, Ukraine; ORCID: 0000-0002-9958-2607; e-mail: romanhaikov@ukr.net.

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

Пузыр Р. Г., Аргат Р. Г., Климов Е. С., Черненко С. М., Черниш А. А., Сіра Ю. Б., Гайков Р. М. Асиметричне роздавання трубних перехідників автомобілів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2023. № 1 (15). С. 12-18. doi:10.20998/2413-4295.2023.01.02.

*Please cite this article as:*

Puzyr R., Arhat R., Klimov E., Chernenko S., Chernysh A., Sira Yu., Haikov R. Asymmetric distribution of pipe adapter for cars. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2023, no. 1(15), pp. 12-18, doi:10.20998/2413-4295.2023.01.02.

*Надійшла (received) 22.02.2023  
Прийнята (accepted) 20.03.2023*