

УДК 621.73.043

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2521-1943.2018.82.112353>

Аналіз формозміни та деформованого стану тонкостінної трубної заготовки за новим способом деформування

О.Є. Марков • А.О. Шарун • О.В. Герасименко • М.С. Косілов

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

Received: 18 October 2017 / Accepted: 26 February 2018

***Анотація.** Збільшення потужностей енергетичних установок потребує виготовлення продукції високої якості. Найбільш доцільно отримувати таку продукцію методами кування, тому що ці методи дозволяють отримувати поковки з високою проробкою структури металу. Метою роботи є аналіз формозміни і деформованого стану поковки, отриманої методами кування на циліндричній оправці вирізними радіусними бойками зі скосами. У роботі створена скінченно-елементна модель протягування трубної заготовки, розроблені рекомендації щодо вибору оптимальної форми заготовки, інструменту та режиму деформування. Результати роботи дозволили встановити рекомендації для виготовлення унікальної продукції високої якості з мінімальними припусками та витратами на спеціальний інструмент.*

***Ключові слова:** Деформований стан, формозміна, трубна заготовка, радіусні бойки, циліндрична оправка, поковка*

Вступ

В останні роки існує потреба у виготовленні довгомірних поковок з тонкою стінкою діаметром більше 350 мм, які відповідали б високій якості. В умовах сучасного виробництва використовують значні напуски, що призводить до збільшення витрат матеріалу і трудомісткості виготовлення труб. Тому необхідно дослідити можливі технології виготовлення, які забезпечать економію матеріальних та енергетичних ресурсів.

Базова технологія отримання тонкостінної труби діаметром більше 350 мм включає: отримання злитка, білетування, рубка блоку, осадження, прошивання, протяжку за допомогою бойків і оправки з подальшою шліхтовкою і правкою поковки. Товщина стінки труби, отриманої куванням за даною технологією не може бути менше, ніж 100 мм (ГОСТ 7062-90). Для отримання поковки з більш тонкою стінкою використовують обтискання на спеціальних радіально-кувальних машинах (РКМ), на яких не завжди можна виготовити поковки великої маси, а самі РКМ відносяться до унікального і дорогого обладнання [1–3].

Для виготовлення продукції, довжина якої перевищує габарити існуючого обладнання використовують спосіб кування з повздовжньою подачею заготовки [4] та кування поковки з кінцевими потовщеннями торців і подальшим розкочуванням [5]. Однак для здійснення цих способів необхідно наявність додаткових маніпуляторів для переміщення заготовки та існує великий ризик отримання дефектної поковки.

На сьогодні все більше уваги приділяється моделюванню технологічних процесів кування [6]. Метою якого є усунення недоліків існуючих технологічних процесів та обґрунтування призначення технологічних рекомендацій.

Процеси кування великогабаритних поковок для дослідників представляє складну фізико-математичну задачу. Це обумовлено складністю протікання фізичних процесів при гарячій деформації металу. Розміри великогабаритних поковок ускладнюють проведення досліджень нових технологічних процесів кування на натурних зразках. Тому вдосконалення технологічних процесів кування проводиться на базі результатів моделювання.

Мета

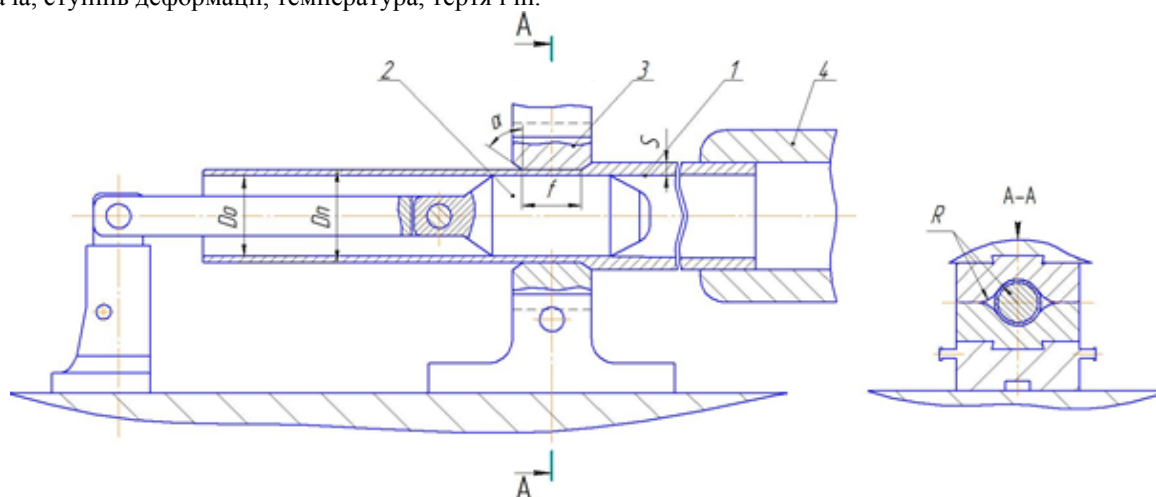
Метою роботи є аналіз формозміни і деформованого стану поковки, отриманої куванням трубних заготовок на циліндричній оправці вирізними радіусними бойками

В результаті дослідження будуть розроблені рекомендації для проектування нового технологічного процесу (рис. 1), який включає кування пустотілих тонкостінних поковок на циліндричній оправці [7]. Процес кування труб характеризується значним подовженням металу при кожному обтисканні. На формозміну

✉ О.Є. Марков

oleg.markov.ond@gmail.com

порожнистої заготовки в процесі протяжки впливають форма та розміри вихідної заготовки й інструмента, подача, ступінь деформації, температура, тертя і ін.



1 – заготовка; 2 – оправка; 3 – вирізний бойок зі скосами; 4 – маніпулятор
Рис. 1. Схема протягування тонкостінної заготовки на циліндричній оправці

Для моделювання процесу протягування, використовувався метод скінчених елементів, який є високоточним та найточніше узгоджується з експериментальними даними, що було встановлено авторами роботи [8, 9]. Даний метод був реалізований у програмному комплексі Deform 3D (тимчасова ліцензія ДДМА). Заготовка та інструменти для моделювання процесу протягування створювалися в системі тривимірного проектування КОМПАС-3D.

У попередніх авторських роботах було встановлено, що властивості матеріалу на процес протягування значного впливу не чинять [10, 11]. Швидкість деформування, коефіцієнт тертя постійні і в процесі моделювання не змінюються. Таким чином, виділені три основні чинники, що впливають на процес кування тонкостінних труб: кут скосу деформуючого інструменту α , відносна товщина стінки вихідної заготовки $S / D_{пр}$ та відносна величина подачі $f / D_{пр}$, де $D_{пр} = \sqrt{D_3^2 - D_{30}^2}$, D_3 – зовнішній діаметр вихідної заготовки, D_{30} – внутрішній діаметр вихідної заготовки. В якості параметру оптимізації було обрано відхилення форми після обтискання (різнотовщиність) з кантуванням на 90° , який дорівнює $\Delta U = D_{п} - D_0$, $D_{п}$ – зовнішній діаметр отриманої поковки, D_0 – діаметр отвору поковки. Вплив обраних факторів на параметр оптимізації носить нелінійний характер, тому в результаті планування експерименту необхідно отримати квадратичну модель.

Збільшити витяжку металу вздовж осі заготовки в процесі протягування можна за рахунок застосування вирізних радіусних бойків зі скосами. Кут скосів бойків (α) є значущим фактором, який визначає величину подовження поковки. З досвіду кування крупних поковок бойками зі скосами ефективний кут складає $10 \dots 30^\circ$ [10]. Тому даний діапазон кутів скосу бойка приймався для моделювання процесу протягування тонкостінних труб (табл. 1). Метою дослідження є визначення ефективного кута скосів робочих крайок бойків.

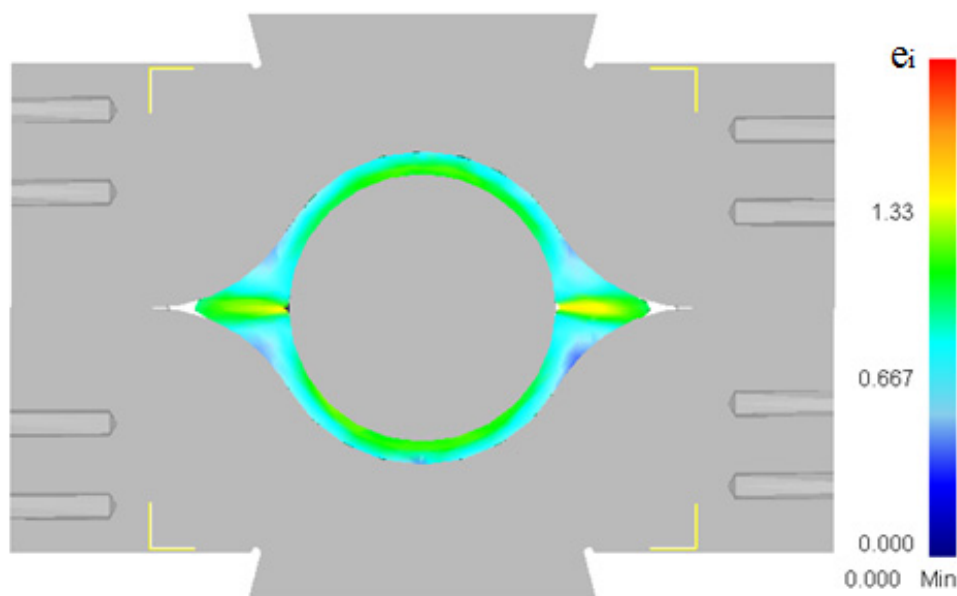
Складністю процесу протягування є те що, необхідно точно підібрати режим кування та первину геометрію заготовки, щоб процес кування відбувався швидше, а отримана поковка мала форму, близьку до заданої. Тому необхідно встановити, як впливає геометрія заготовки та режим кування на відхилення форми після протягування з кантуванням на 90° .

Величину відносної товщини стінки вибрали виходячи з мінімальної і максимальної товщини стінки, яку можна протягувати вирізними бойками. Мінімальна товщина стінки обирається з можливостей існуючого устаткування та з обмеженнями, що пов'язані з куванням на конічній оправці. Застосування пустотілих заготовок з стінкою ($S / D_{пр} > 0,31$) призводить до утворення затисків і складок на внутрішній та зовнішній поверхні заготовки (рис. 2).

Отримані результати дозволили встановити, що вже після першого обтискання в поковці утворюються складки, які роблять поковку дефектною, та не придатною для подальшого кування (рис. 2). Тому це співвідношення $S / D_{пр}$ буде верхньою границею для зміни розмірів стінки труби (табл. 1).

На подовження і розширення при протягуванні значний вплив чинить величина відносної подачі заготовки в бойки ($f / D_{пр}$). Для збільшення подовження при протягуванні слід застосовувати малі подачі. Застосування великої подачі призведе до утворення не якісної поверхні та затисків на поковці. На підставі цього був встановлений діапазон варіювання величини подачі (табл. 1).

Таким чином, виділені три основні чинники, що впливають на процес кування пустотілих тонкостінних поковок та їх величини (табл. 1). За основу був обраний план Хартлі для скороченого експерименту (табл. 2), який дозволяє дослідити вплив трьох факторів, які варіювалися на трьох рівнях.

Рис. 2. Утворення дефектів після протягування заготовки з відносною товщиною стінки $S / D_{np} = 0,36$

Таблиця 1

Основні фактори та рівні їх варіювання при проведенні чисельного експерименту

Фактори та інтервали їх варіювання	$\alpha, ^\circ$	S / D_{np}	f / D_{np}
	X1	X2	X3
Інтервал варіювання ΔX_i	10	0,06	0,25
Нижній рівень $x_i = -1$	10	0,19	1
Середній рівень $x_i = 0$	20	0,25	1,25
Верхній рівень $x_i = +1$	30	0,31	1,5

Таблиця 2

Матриця планування експерименту в натуральних позначках

	x_1	x_2	x_3	$\Delta U, \text{мм}$
	$\alpha, ^\circ$	S / D_{np}	f / D_{np}	
1	30	150	1,25	13
2	30	90	1,25	7
3	10	150	1,25	25
4	10	90	1,25	16
5	30	120	1,5	20
6	30	120	1	9
7	10	120	1,5	19
8	10	120	1	14
9	20	150	1,5	19
10	20	150	1	8
11	20	90	1,5	22
12	20	90	1	3

	x_1	x_2	x_3	ΔU , мм
	$\alpha, ^\circ$	S/D_{np}	f/D_{np}	
13	20	120	1,25	17
14	20	120	1,25	17
15	20	120	1,25	17

На основі результатів дослідження були отримані модель та графічні закономірності відхилення форми отриманої поковки при різних параметрах процесу (рис. 3 – 5), які дозволили встановити вплив цих параметрів на формозміну та обрати оптимальні їх величини.

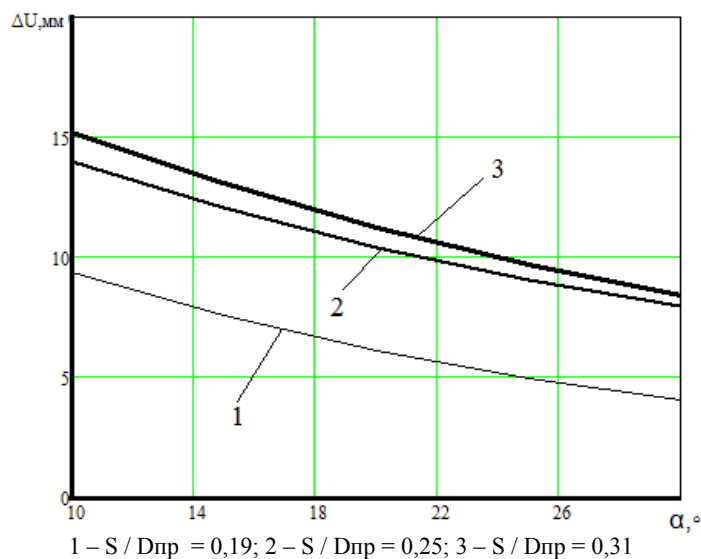


Рис. 3. Графік закономірності різновтовщинності труби ΔU від кута скосів інструменту $\alpha, ^\circ$ при різних товщині стінки вихідної заготовки

Аналіз отриманих результатів дозволив зробити висновок, що зі збільшенням кута скосів інструменту різновтовщинність зменшується практично за лінійною закономірністю і прямує до 0. Це пояснюється тим, що використання бойків зі скосами дозволяє забезпечити більш інтенсивний плин металу в осьовому напрямку, ніж в радіальному, що зменшує різновтовщинність труби. Тому для зниження різновтовщинності слід використовувати скоси з кутом $30 \dots 35^\circ$.

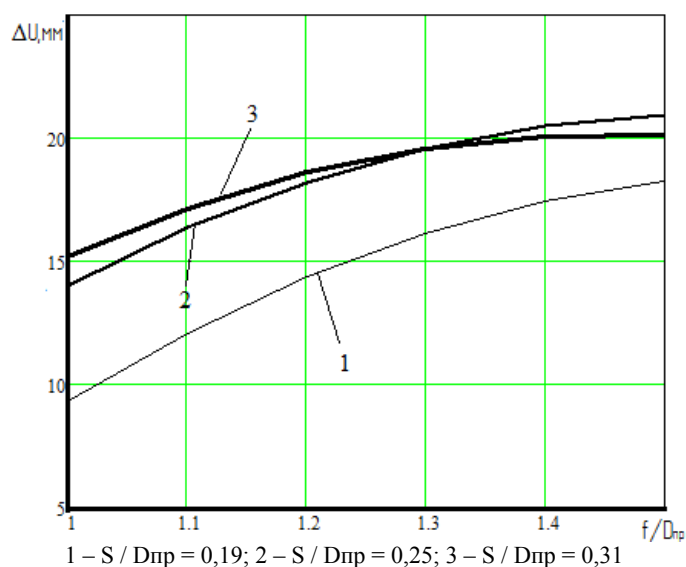


Рис. 4. Графік закономірності різновтовщинності труби ΔU від відносної подачі f/D_{np} при різних товщині стінки вихідної заготовки

Додатково встановлено вплив відносної подачі пустотілої заготовки $f / D_{\text{пр}}$ на різновтовщиність труби (рис. 4). Аналіз отриманих даних дозволив встановити, що із збільшенням величини подачі заготовки різновтовщиність збільшується. Тому для промислового впровадження рекомендується використовувати бойки з циліндричною ділянкою, яка дорівнює $D_{\text{пр}}$. При цьому кування з малими подачами дозволяє знизити зусилля деформування за рахунок меншої площі контакту інструменту та заготовки. Це пояснюється тим, що при зменшенні подачі збільшується подовження, що сприяє зменшенню розширення, а відповідно утворенню меншої товщини стінки.

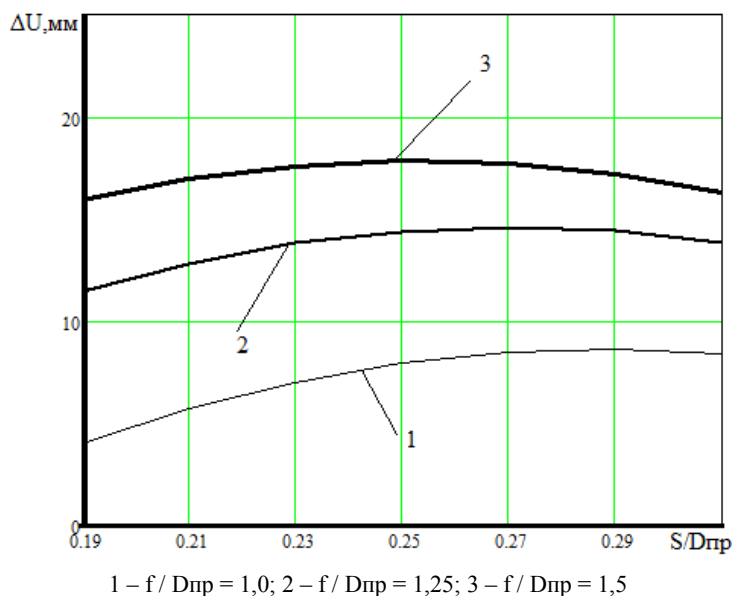


Рис. 5. Графік закономірності різновтовщиності труби ΔU від товщини стінки вихідної заготовки $S / D_{\text{пр}}$ при різній відносній подачі

Корисним для виробництва технологічним параметром є відносна товщина стінки $S / D_{\text{пр}}$ для виробу ефективної товщини заготовки перед протягуванням, з метою зниження різновтовщиності заготовки.

Аналіз отриманих результатів (рис. 5) дозволив встановити, що мінімальна різновтовщиність спостерігається, якщо використовувати заготовку з мінімальною товщиною стінки ($S / D_{\text{пр}} < 0,25$). Це пояснюється тим, що в цьому випадку деформація стінки буде мінімальною, а отже і розширення в процесі протягування буде мінімальним, що буде зменшувати хвилястість поверхні труби.

Висновки

В даній роботі на основі результатів теоретичного моделювання був досліджений новий процес кування тонкостінної труби на циліндричній оправці. Аналіз результатів теоретичних досліджень дозволив зробити висновок, що найбільш ефективним способом кування труб з мінімальною різновтовщиністю є схема з подачею $f / D_{\text{пр}} = 1,0$, і кутом скоса кромки бойка $\alpha = 30^\circ \dots 35^\circ$. Використання радіусних бойків зі скосами дозволяє інтенсифікувати течію металу у повздовжньому напрямку. Відносна стінка вихідної заготовки також повинна знаходитися в межах $S / D_{\text{пр}} < 0,25$, щоб уникнути утворення хвилястості та затисків на поверхні труби. Такі параметри забезпечать мінімальну різновтовщиність, що дозволяє знизити припуски на механічну обробку до 10...15 мм на бік.

Анализ формоизменения и деформированного состояния тонкостенной трубной заготовки полученной новым способом деформирования

О.Е. Марков, А.О. Шарун, А.В. Герасименко, М.С. Косилов

Аннотация. Увеличение мощностей энергетических установок требует изготовления продукции высокого качества. Наиболее целесообразно получать такую продукцию методамиковки, так как эти методы позволяют получать поковки с высокой проработкой структуры металла. Целью работы является анализ формоизменения и деформированного состояния поковки, полученной методамиковки на цилиндрической оправке вырезными радиусными бойками со скосами. В работе создана конечно-элементная модель протягивания трубной заготовки, разработанные рекомендации по выбору оптимальной формы заготовки, инструмента и режима деформирования. Результаты работы позволили дать рекомендации для изготовления уникальной продукции высокого качества с минимальными припусками и расходами на специальный инструмент.

Ключевые слова: Деформированное состояние, формоизменение, трубная заготовка, радиусные бойки, цилиндрическая оправка, поковка.

Analysis of formation and deformed state of thin-wall tube workpiece obtained by a new method of deformation

O.E. Markov, A.O. Sharun, A.V. Gerasimenko, M.S. Kosilov

Abstract. Increasing the capacity of power plants requires the production of high quality products. It is most expedient to obtain such products by forging methods, since these methods make it possible to obtain forgings with a high study of the metal structure. The aim of the paper is to analyze the deformation and deformed state of the forging obtained by forging methods on a cylindrical mandrel with notched radius dies with bevels. In the work, a finite-element model of the cogging tube workpiece has been developed. Recommendations for the selection of the workpiece optimal shape, tool and deformation mode have been developed. The results of the work allowed recommending for the production of unique high quality products with minimal allowances and expenses for a special tool.

Keywords: Deformed state, shape change, pipe blank, radius dies, cylindrical mandrel, forging.

References

1. Пат. 2438826 Российская федерация, МПК: B21K 21/00; B21J 1/04. Способ изготовления полых поковок/ Володин А. М., Лазоркин В. А., Сорокин В. А., Петров Н. П., Рахманин А. В., Петров П. Н.; заявитель и патентообладатель ОАО "Тяжпрессмаш". – № 2010112083/02; заявл. 29.03.2010; опубл. 10.01.2012; Бюл. № 1. – 6 с.
2. Comparison of radial forging between the two and threesplit dies of a thinwalled copper tube during tube sinking / Yong Li, Jinlong Huang, Guangwen Huang, Wei Wang, Jucong Chen, Zhixin Zeng // *Materials and Design* 56 (2014). – P 822–832.
3. Ameli, A. A parametric study on residual stresses and forging load in cold radial forging process / A. Ameli, M. R. Movahhedy // *Int J Adv Manuf Technol.* – № 33 (2007). – P 7–17.
4. А.с. 1814955 СССР, МПК: B21J 5/00. Способ протяжки полых заготовок / Г. А. Пименов, О.А. Кобелев, В. П. Кучумов, А. Г. Токарев, В. Д. Рогаль, В. Н. Звонарёв (СССР). – №4802775/27; заявлено 30.01.90; опубл. 15.05.1993, Бюл. № 18. – 3 с. :ил.
5. А.с. 1338949 СССР, МПК: B21J 5/00. Способ ковки полых поковок большого диаметра / Э. В. Веретенников, А. К. Онищенко, А. А. Мишулин, И. П. Селиверстова, А. М. Кузьменко (СССР). – №3991993/25-27; заявлено 23.10.85; опубл. 23.09.87, Бюл. № 35. – 3 с. :ил.
6. Каргин, Б. С. Сравнение производительности при протяжке пустотелых поковок на оправке комбинированными и вырезными бойками / Б. С. Каргин, Е. С. Котова / *Вісник приазовського державного технічного університету. Сер.: Технічні науки.* – 2013. – № 27. – С. 49–52.
7. Пат. 116546 Україна, МПК: B21J 5/00. Спосіб виготовлення порожнистих тонкостінних поковок / О. Є. Марков, В. М. Злигорєв, А. О. Шарун, А. В. Коляденко, С. О. Шевцов, Г. О. Овсяннікова.; заявник та власник ДДМА, Краматорськ. – №201612412; заявл. 06.12.2016; опубл. 25.05.2017; Бюл. № 10. – 5 с. :іл.
8. Zhbankov I. G. (2014). *Rational Parameters of Profiled Workpieces for an Upsetting Process* / I. G. Zhbankov, O. E. Markov, A. V. Perig // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(5–8), 865 – 872. – <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5727-5>
9. Markov O. E. (2012). *Forging of Large Pieces by Tapered Faces* / O. E. Markov // *Steel in Translation*. 42.(12), 808 – 810. <http://dx.doi.org/10.3103/S0967091212120054>
10. Markov O.E. (2016). *Development of a new process for forging plates using intensive plasticdeformation* / O. E. Markov, A. V. Perig, M. A. Markova, V. N. Zlygoriev // *International journal of advanced manufacturing technology*. 83 (9-12). 2159–2174. – <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-015- 8217-5>
11. *A new process for forging shafts with convex dies. Research into the stressed state* (2017). / Oleg E. Markov , Alexander V. Perig, Vitalii N. Zlygoriev, Marina A. Markova, Alexander G. Grin // *International journal of advanced manufacturing technology*. 90, 801 – 818.