

## ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.735.623

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-4-31>

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ КУВАННЯ НА ФОРМУ ПОКОВКИ КОРПУСА ЗАПІРНОЇ АРМАТУРИ

**Дуванський Олександр Миколайович,**

аспірант кафедри комп'ютерного моделювання

та інтегрованих технологій обробки тиском

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

ORCID ID: 0000-0002-4967-0940

**Чухліб Віталій Леонідович,**

професор, доктор технічних наук,

завідувач кафедри комп'ютерного моделювання

та інтегрованих технологій обробки тиском

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

ORCID ID: 0000-0001-6176-0917

У роботі виконано аналіз впливу початкових параметрів кування на кінцеву форму поковки, а також дослідження дає можливість зрозуміти, як тече метал у разі деформування, й побудувати залежності геометричної форми від початкових параметрів кування деталі. Дані залежності дозволяють не лише прогнозувати течію металу та характер формозміни, а також оцінювати та аналізувати вплив конкретних параметрів на геометрію, якість і фізико-механічні властивості поковки. У роботі розглянуто процес моделювання кування корпусів запірної арматури зі складною течією та формозміною металу, а також можливість отримання різноманітних параметрів поковки, як-от температурні поля, розподіл деформації, інтенсивність деформації та структура, а також можливість розраховувати силові параметри, затрачені енергію і час на деформування поковки. Розглянуто вплив ковальських параметрів – величини подачі, ступеня деформації кута кантувань та форми деформуючого інструменту на кінцеву геометрію поковки, а саме на заковування внутрішнього діаметру та збільшення довжини поковки корпусу запірної арматури, на виникнення утяжин у торцевій площині поковки, на зміщення закованого діаметру відносно осі поковки та на виникнення ковальських дефектів. Побудовано та виміряно основні геометричні розміри поковки після деформування, а також виконано умовні позначення для всіх розмірів деформованої поковки. Розглянуто зони деформації поковки та побудовано графічні залежності геометрії поковки від початкових параметрів кування та геометрії заготовки. Досліджено кілька схем кування корпусів запірної арматури.

**Ключові слова:** запірна арматура, кування, поковка.

#### **Duvanskyi Oleksandr, Chukhlib Vitaliy. Research on the influence of forging parameters on the shape of the forging**

The work analyzes the influence of the initial forging parameters on the final shape of the forging, and the research in this article makes it possible to understand how the metal flows during deformation, as well as to construct the dependences of the geometric shape on the initial parameters of the forging of the part. These dependencies will allow not only to predict the flow of the metal and the nature of the deformation, but also to evaluate and analyze the influence of specific parameters on the geometry, quality and physical and mechanical properties of the forging. The work considers the process of modeling the forging of valve bodies with complex flow and deformation of the metal, as well as the possibility of obtaining various forging parameters, such as temperature fields, deformation distribution, deformation intensity and structure, as well as the ability to calculate force parameters, energy consumed and time for deformation of the forging. The influence of forging parameters, namely the feed rate, the degree of deformation of the canting angle and the shape of the deforming tool on the final geometry of the forging, namely on the forging of the inner diameter and the increase in the forging length of the valve body, on the occurrence of weights in the end plane of the forging, on the displacement of the forged diameter relative to the forging axis and on the occurrence of forging defects, is considered. The main geometric dimensions of the forging after deformation are constructed and measured, and conventional designations are made for all sizes of the deformed forging. The deformation zones of the forging are considered and graphical dependences of the forging geometry on the initial forging

*parameters and the geometry of the workpiece are constructed. Several schemes for forging shut-off valve bodies are investigated.*

**Keywords:** valves, forging, forging.

**Вступ.** Головною проблемою в куванні корпусів запірної арматури є низький рівень коефіцієнту використання металу. Оскільки під час кування використовуються досить прості форми деформуючого інструменту, то деталі складної форми отримати набагато важче, ніж за штампування або інших способів виробництва.

Актуальність такої теми лежить у 2 площинах. По-перше, кування циліндру з наскрізним отвором без оправки є дуже маловивченою темою, що дає велике поле для досліджень. По-друге, з кожним роком вимоги до якості деталей запірної арматури підвищуються, нафтова та газовидобувна галузі ростуть як в Україні, так і у світі, а тому виробництво таких деталей і дослідження в цій області ще довгий час будуть актуальними. Комплексний аналіз впливу параметрів ковальської операції протягування дозволить не лише прогнозувати течію металу, а й допоможе значно економити дороговартісні корозійностійкі марки сталей, розробити технологічні карти виробництва корпусів запірної арматури, а також зменшити енерговитрати під час виготовлення цих деталей.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Запірна арматура – це різноманітні деталі в трубопроводах, створені для регулювання або зміни напрямку потоку робочої рідини. Натепер існує багато способів виробництва запірної арматури, кожен з яких має свої переваги [1]. Це і лиття, яке дозволяє отримати найбільш складні форми деталі, штампування, що має перевагу в серійності виробництва, і кування, яке дозволяє отримувати великогабаритні поковки вагою в кілька або навіть у десятки тон. Також сюди входять методи зварювання, оброблення на верстатах із числовим програмним керуванням, виготовлення методом адитивних технологій і збірка з готових компонентів [2].

Такі деталі використовуються в нафтовій, газовій та інших галузях промисловості [3]. Робота в умовах впливу агресивного середовища та високого тиску вимагає високої корозійної стійкості та зносостійкості. Тому має місце постійне вдосконалення характеристик міцності деталі, а також покращення кінцевої структури деталі [4].

У дослідженні [5] для виготовлення деталі використовувався спосіб кування деталі на гідравлічному пресі. Процес виготовлення поковки запірної арматури має таку технологічну послідовність: злиток масою в кілька тон

піддається операції білетирування, тобто збиття граней, далі заготовка осаджується, тобто йде процес зменшення висоти та збільшення площі поперечного перерізу, прошивається внутрішній отвір і виконується операція протягування на оправці.

У роботі [6] дослідження відрізнялося або ж наявністю ковальської оправки всередині поковки, або ж проводилося без наскрізного поздовжнього отвору в циліндрі. Наприклад, автор [7] у своєму дослідженні описав спосіб виготовлення повок з отвором розкочуванням на оправці порожнистої заготовки з буртом на зовнішній поверхні, який відрізняється тим, що конусне кільце встановлюють на плоску нижню плиту і осаджують його плоскою верхньою плитою до висоти, яка дорівнює товщині стінки напівфабрикату. При цьому заготовку з буртом на зовнішній поверхні спочатку розкочували до напівфабрикату в вигляді конусного кільця, а потім осаджували конусне кільце [8]. В іншій роботі [9] описано кування порожнистої поковки з оправкою на чотирибойковому ковальському пристрої з використанням різних кутів кантувань, а також з калібрувальною ділянкою на кожному з чотирьох бойків [10].

У роботі [11] моделювання та розрахунок параметрів деталі після деформації проводилися в програмному комплексі QForm за допомогою методу кінцевих елементів. Метод кінцевих елементів є ефективним чисельним методом рішення інженерних і фізичних задач. Область його застосування тягнеться від аналізу напружень у конструкціях літаків або автомобілів до розрахунку таких складних систем, як атомна електростанція [12]. За його допомогою розглядається рух рідини по трубах, через дамби, в пористих середовищах, досліджується перебіг газу, що стискається, розв'язуються завдання електростатики і мастила, аналізуються коливання систем. МКЕ є чисельним методом рішення диференціальних рівнянь, що зустрічаються у фізиці й техніці.

**Результати.** Кування корпусів запірної арматури натепер є маловивченою темою з причини складності перерозподілу і течії металу [13], проте є досить перспективною, оскільки операцією кування можливо отримати практично будь-яку форму поковки, що буде наближеною до кінцевої деталі. У цьому випадку метою такого способу виготовлення запірної арматури є отримання якісної структури металу, а також

збільшення коефіцієнта використання металу, тобто зменшення кількості металу, який піде у відхід.

Для оцінювання перерозподілу металу прийнято умовні позначення для основних розмірів на ескізі заготовки (рис. 1).

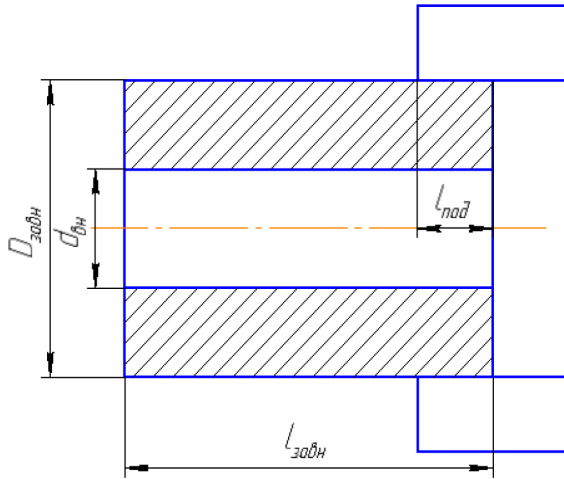


Рис. 1. Ескіз заготовки з бойками

Під час кування циліндричної заготовки з отвором здійснювалися обтиски по колу для отримання поковки за формою, наближеною до форми деталі корпусу запірної арматури. Такий підхід дозволяє тільки контролювати формозміну металу та оптимізувати сам процес кування.

Моделювання кування запірної арматури методом скінчених елементів у програмному комплексі QForm дозволяє не лише спрогнозувати форму деталі після деформації, а й слідувати за зміною температури, вивчати, наскільки глибоко проникає деформація в заготовку, і навіть дослідити структуру матеріалу. Крім того ми можемо прогнозувати виникаючі дефекти в металі, які збігаються з реальними експериментами майже повністю.

Під час виготовлення цієї деталі способом кування, а саме протягуванням, виникають дві основні зони деформації поковки (рис. 3) – зона, яка йде на закриття внутрішнього діаметру

(зона 1), та зона, яка йде на збільшення довжини поковки (зона 2). Тобто об'єм металу, який знаходиться під бойком (зона 3) під час здійснення обтисків, перерозподіляється в зони закову внутрішнього діаметру та подовження.

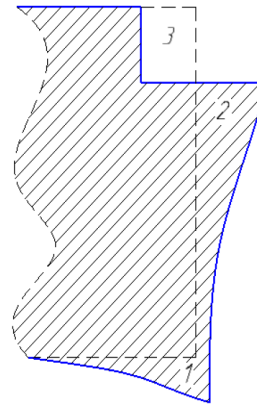


Рис. 3. Зони деформації

Початкові параметри кування заготовки та їх значення:

- Кут подачі  $\alpha = 30^\circ$ ;
- Довжина подачі  $l_{\text{под}} = 100 \text{ мм}, 150 \text{ мм}, 200 \text{ мм}$ ;
- Зовнішній діаметр заготовки  $D_{\text{зовн}} = 1000 \text{ мм}$ ;
- Внутрішній діаметр заготовки  $d_{\text{вн}} = 300 \text{ мм}, 400 \text{ мм}, 500 \text{ мм}, 600 \text{ мм}, 700 \text{ мм}$ ;
- Ступінь деформації  $\varepsilon = 10 \%, 20 \%$ ;
- Довжина заготовки  $l_{\text{зовн}} = 1000 \text{ мм}$ .

Для аналізу залежності кінцевих розмірів деталі від початкових параметрів кування умовно проставлено основні розміри деталі після деформації (рис. 4).

У моделюванні виготовлення корпусу запірної арматури є можливість використання готової моделі для вимірювання всіх розмірів, що присутні на рисунку 4. Надалі було прораховано велику кількість залежностей розмірів деталі. Серед них вибрано ті, які найкраще показують вплив параметрів кування на кінцеві розміри заготовки, а для простоти аналізу побудовано графічні залежності цих параметрів (рис. 5).

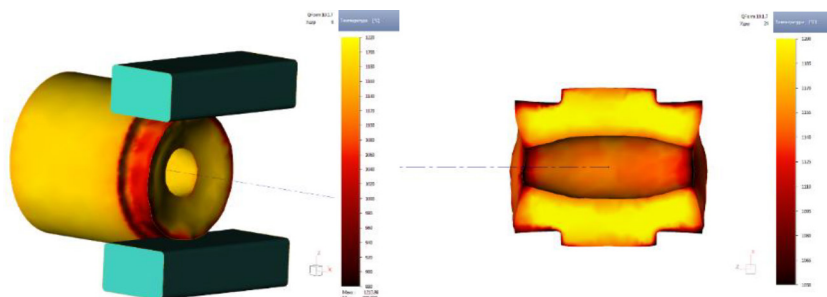


Рис. 2. Температурне поле деформованої поковки

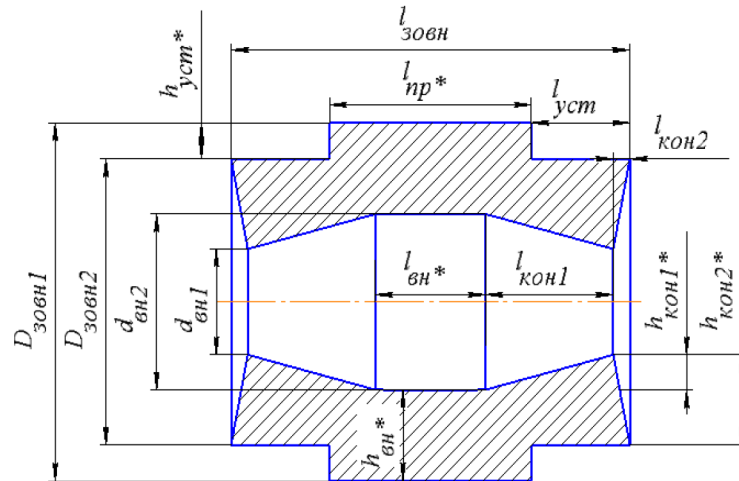


Рис. 4. Ескіз поковки

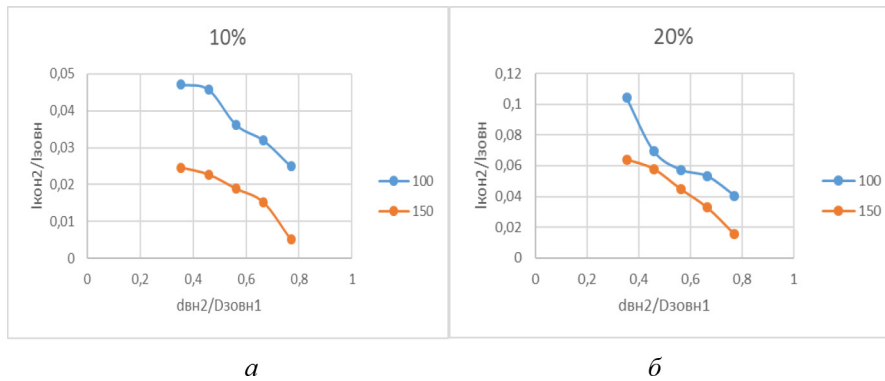


Рис. 5. Графік залежності подовження заготовки від внутрішнього діаметру поковки за деформації 10 % (а) і 20 % (б)

З графіка залежності подовження деталі від внутрішнього діаметру деталі за деформації (рис. 5) можна сказати, що в разі збільшення внутрішнього діаметру заготовки кількість металу, яка йде на подовження, зменшується, тобто за зменшення діаметру зменшується і показник довжини уступу. Також у разі збільшення величини подачі зі 100 мм до 150 мм можна побачити зменшення показника подовження,

тобто довжини уступу, що показує нам характер зміни розмірів за зміни початкових параметрів кування. Також у разі порівняння показника ступеня деформації є залежність – чим більше показник деформації, тим більше стає параметр довжини уступу.

Графік залежності закову конуса від внутрішнього діаметру деталі (рис. 6) показує нам характер зміни відношення діаметру закову

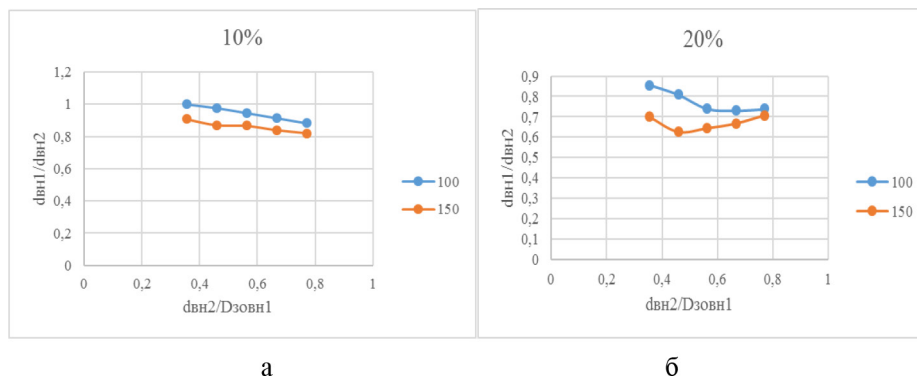


Рис. 6. Графік залежності закову конуса від внутрішнього діаметру поковки за деформації 10 % (а) і 20 % (б)



і внутрішнього діаметру поковки від зміни параметрів кування. За деформації 10 % ми бачимо зменшення величини закову, а за деформації 20 % вона залишається практично сталою.

**Висновки.** Виконані дослідження та отримані графічні залежності дають змогу вибрати інтервали, за яких подовження заготовки та кількість металу, що йде на заков, будуть мати оптимальні співвідношення для виробництва куванням корпусів запірної арматури. Надалі це дозволить вибирати необхідні інтервали в геометричних розмірах поковки, під які буде

підходити велика номенклатура деталей запірної арматури. Тобто виконане дослідження дає змогу освоїти нову технологію виробництва куванням деталей запірної арматури, а точніше такий спосіб кування, за якого буде отримано оптимальні параметри витрат металу та енергосилових витрат. Дослідження також дозволяє скласти технологічну карту виготовлення корпусів запірної арматури та графічно визначати початкову геометрію заготовки та параметри кування, що дозволять отримати необхідну геометрію деталі для замовника.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Спосіб виготовлення поковок із отвором : пат. 68991 Україна : B21J 1/04. № у 2011 05861 ; заявл. 10.05.2011 ; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20. 2 с.
2. Спосіб виготовлення порожнистих поковок і кувальний комплекс для його здійснення : пат. 96403 Україна : B21K 21/00, B21J 1/04. № а201103331 ; заявл. 21.03.2011 ; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8. 10 с.
3. Antonio C. C., Castro C. F., Sousa L. C. (2004) Optimization of metal forming processes. *Comput Struct* 82: 1425–1433. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2004.03.038>
4. Thiagarajan N., Grandhi R.V. (2005) 3D preform shape optimization in forging using reduced basis techniques. *Eng Optim* 37: 797–811. <https://doi.org/10.1080/03052150500340579>
5. Jin J., Qi Z., Wang X., Deng L. (2016) An incremental die forging process for producing helical tubes. *Int J Adv Manuf Technol* 85: 99–114. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7890-8>
6. Xia X., Xiao L., Chen Q., Li H., Tan Y. (2018) Hot forging process design, microstructure, and mechanical properties of cast MgZn-Y-Zr magnesium alloy tank cover. *Int J Adv Manuf Technol* 94: 4199–4208. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1146-8>
7. Markov, O. E., Gerasimenko, O. V., Shapoval, A. A., Abdulov, O. R., & Zhytnikov, R. U. (2019). Computerized simulation of shortened ingots with a controlled crystallization for manufacturing of high-quality forgings. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103, 3057–3065. doi: <http://doi.org/10.1007/s00170-019-03749-4>
8. Dobrzański, L. A., Grajcar, A., Borek, W. (2008). Influence of hot-working conditions on a structure of high-manganese austenitic steels. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 29(2), 139–142.
9. Markov, O. E., Oleshko, M. V., Mishina, V. I. (2011). Development of Energy-saving Technological Process of Shafts Forging Weighting More Than 100 Tons without Ingot Upsetting. *Metalurgical and Mining Industry*, 3(7), 87–90. URL: [http://www.metaljournal.com.ua/assets/Uploads/ attachments/87Markov.pdf](http://www.metaljournal.com.ua/assets/Uploads/attachments/87Markov.pdf)
10. Kakimoto, H., Arikawa, T., Takahashi, Y., Tanaka, T., Imaida, Y. (2010). Development of forging process design to close internal voids. *J Mater Process Tech.*, 210(3), 415–422. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2009.09.022>
11. Kun, C., Yitao, Y., Guangjie, S., Kejia, L. (2012). Strain function analysis method for void closure in the forging process of large sized steel ingot. *Computational Materials Science*, 51(1), 72–77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.commatsci.2011.07.011>
12. Ameli, A., Movahhedy, M.R. (2007). A parametric study on residual stresses and forging load in cold radial forging process. *Int J Adv Manuf Tech.*, 33(1–2), 7–17. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-006-0453-2>

#### REFERENCES:

1. Sposib vygotovlennya pokovok z otvorom [Method of manufacturing forgings with a hole] : pat. 68991 Ukraine : B21J 1/04. № у 2011 05861 ; stat. 10.05.2011 ; publ. 25.10.2011, Bull. № 20. 2 p. [in Ukrainian].
2. Sposib vygotovlennya porozhnystyh pokovok i kuvalnyi kompleks dlya yogo zdiysnennya [Method of manufacturing hollow forgings and forging complex for its implementation] : pat. 96403 Ukraine : B21K 21/00, B21J 1/04. № а201103331 ; stat. 21.03.2011 ; publ. 25.04.2012, Bull. № 8. 10 p. [in Ukrainian].
3. Antonio C. C., Castro C. F., Sousa L. C. (2004) Optimization of metal forming processes. *Comput Struct* 82: 1425–1433. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2004.03.038>
4. Thiagarajan N., Grandhi R.V. (2005) 3D preform shape optimization in forging using reduced basis techniques. *Eng Optim* 37: 797–811. <https://doi.org/10.1080/03052150500340579>

5. Jin J., Qi Z., Wang X., Deng L. (2016) An incremental die forging process for producing helical tubes. *Int J Adv Manuf Technol* 85: 99–114. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7890-8>
6. Xia X., Xiao L., Chen Q., Li H., Tan Y. (2018) Hot forging process design, microstructure, and mechanical properties of cast MgZn-Y-Zr magnesium alloy tank cover. *Int J Adv Manuf Technol* 94: 4199–4208. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1146-8>
7. Markov, O. E., Gerasimenko, O. V., Shapoval, A. A., Abdulov, O. R., & Zhytnikov, R. U. (2019). Computerized simulation of shortened ingots with a controlled crystallization for manufacturing of highquality forgings. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103, 3057–3065. doi: <http://doi.org/10.1007/s00170-019-03749-4>
8. Dobrzański, L. A., Grajcar, A., Borek, W. (2008). Influence of hot-working conditions on a structure of high-manganese austenitic steels. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 29(2), 139–142.
9. Markov, O. E., Oleshko, M. V., Mishina, V. I. (2011). Development of Energy-saving Technological Process of Shafts Forging Weighting More Than 100 Tons without Ingot Upsetting. *Metalurgical and Mining Industry*, 3(7), 87–90. [http://www.metaljournal.com.ua/assets/Uploads/ attachments/ 87Markov.pdf](http://www.metaljournal.com.ua/assets/Uploads/attachments/87Markov.pdf)
10. Kakimoto, H., Arikawa, T., Takahashi, Y., Tanaka, T., Imaida, Y. (2010). Development of forging process design to close internal voids. *J Mater Process Tech.*, 210(3), 415–422. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2009.09.022>
11. Kun, C., Yitao, Y., Guangjie, S., Kejia, L. (2012). Strain function analysis method for void closure in the forging process of large sized steel ingot. *Computational Materials Science*, 51(1), 72–77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.commatsci.2011.07.011>
12. Ameli, A., Movahhedy, M.R. (2007). A parametric study on residual stresses and forging load in cold radial forging process. *Int J Adv Manuf Tech.*, 33(1–2), 7–17. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-006-0453-2>