

РАЗДЕЛ II ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.735.3

Герасименко О. В.
Марков О. Є.
Косілов М. С.
Хващинський А. С.
Іванов П. П.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗКОЧУВАННЯ СТУПІНЧАСТИХ КОНУСНИХ КІЛЕЦЬ

В останні роки кількість крупних поковок відповідального призначення зростає, що пов'язано зі збільшенням потужностей та кількості енергетичних установок та важких машин [1]. Серед виробів заводів важкого та енергетичного машинобудування значну кількість складають обичайки та кільця у тому числі конусної форми. Такі поковки відносяться до відповідальних і до них висуваються високі вимоги за ізотропністю механічних властивостей, внутрішньої структури та ін. Технологічні процеси кування таких поковок передбачають застосування операції розкочування.

Першим напрямом удосконалення процесу виготовлення крупногабаритних кілець є використання злитків нової форми. Низька якість ковальських злитків обумовлюється наявністю у злитках внутрішніх дефектів металургійного походження. При куванні крупногабаритних кілець ці дефекти повинні бути заварені або видалені з ковальського злитка. На сьогодні відомі різні способи підвищення якості ковальських злитків, але всі вони мають свої обмеження та призначення. Тому на першому етапі слід розглянути злитки, які більш підходять для кування пустотілих конусних кілець зі ступінчастим профілем.

Під час кристалізації звичайного злитка з'являються дефекти, такі як пористість, усадочна раковина, газові порожнини та ін. Аналіз результатів поздовжнього та поперечного розрізу злитків, що представлений у роботах [2, 3] дозволив встановити, що у центрі заготовки розташовуються рихлощі та тріщини, які повинні бути усунуті в процесі кування.

Одним з найбільш типових дефектів звичайних злитків є осьова пористість, яка супроводжується включеннями та макролікваціями, що чітко проявляється на розрізі 100-тонного злитка марки 30Cr2Ni4MoV [4]. Такий злиток був розділений по осі, після чого поверхню розрізу було досліджено для встановлення розподілу і розмірів усадочної рихлості. За отриманими даними було проведено 3D-моделювання, яке дозволило встановити оптимальні температуру та швидкість кристалізації для зменшення рихлості.

У роботах [5, 6] встановлено, що застосування охолоджувальної прибуткової надставки для злитків зі зворотною конусністю збільшує глибину розташування усадочної раковини у тіло злитка та концентрує її вздовж осі, що у свою чергу знижує коефіцієнт використання металу на 7%. Це може призвести до потрапляння внутрішніх дефектів в тіло поковки, що знизить якість крупногабаритних кілець.

У роботі [7] описано результати кування пустотілих поковок, що йдуть на виготовлення корпусу реакторного блоку зі звичайного злитка масою 190 т з модифікованої сталі 9Cr-1Mo-V. Технологія передбачала осадження і прошивання. Після чого заготовка

протягувалась на конічній оправці та розкочена на дорні вузьким бойком. Досліджувана технологія кування злитка передбачала два нагрівання для осаджування та для прошивання, що призводить до суттєвого підвищення витрат енергоносіїв на кування. Позбавитись даних дефектів можливо за рахунок використання пустотілого злитку. Більш того, у статті відсутні технологічні рекомендації щодо ступеня обтискання, який робився за один прохід розкочування, як основного параметру при розкочуванні пустотілих заготовок.

На початковій стадії кування звичайного злитка необхідно дефекти, які утворені при кристалізації та гомогенізації, сконцентрувати у центрі злитка, про що йдеться у роботі [8]. Після цього злиток осаджується, щоб зменшити висоту і збільшити діаметр. Це покращує однорідність розподілу деформацій і збільшує проробку структури. Щоб сконцентрувати дефекти крупного злитка, ефект від кування має поширюватися до центру злитка, це вимагає розвитку і застосування процесів, в яких будуть оптимізовані температура кування, форма та розміри інструменту. Завдяки удосконаленню технологічного процесу кування компанія JWS виготовила зі злитка масою 350 т обичайку з фланцем та зоною патрубків реакторного блоку.

Метою роботи є розробка способу кування, який дозволить знизити витрати металу та підвищити якість перехідної ділянки кільцевої поковки на основі результатів дослідження нових технологічних процесів розкочування конусних кілець зі ступінчастою поверхнею.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені наступні завдання:

– проаналізувати сучасні тенденції та способи удосконалення операції розкочування пустотілих виробів; визначити методики та методи досліджень способів розкочування східчастих конусних кілець;

– теоретично дослідити формозмінення та НДС конусної заготовки зі східчастим профілем, встановити основні параметри, що чинять вплив на деформований стан заготовки.

Моделювання процесу кування кілець проводилось методом скінчених елементів (МСЕ). За результатами моделювання встановлювались розподіл НДС поковки та формозмінення заготовки у процесі розкочування. Рівняння зв'язку компонент напружень і швидкостей деформації, яке використовувалось при моделюванні:

$$S_{ij} = \frac{2\bar{\sigma}}{3\dot{\bar{\epsilon}}} \dot{\bar{\epsilon}}_{ij},$$

де $\dot{\bar{\epsilon}}_{ij}$, σ_{ij} – компоненти швидкостей деформацій і напружень;

S_{ij} – компоненти девіатора напружень.

Крива течії задана рівнянням:

$$\bar{\sigma} = \sigma(\bar{\epsilon}, \dot{\bar{\epsilon}}, T),$$

де $\bar{\epsilon}$, $\dot{\bar{\epsilon}}$, T – інтенсивності деформацій і швидкостей деформацій;

T – температура.

Граничні умови моделювання процесу розкочування мали наступні параметри: початкова температура заготовки – 1200° С; кількість елементів сітки – 80000 шт.; швидкість переміщення інструменту – 40 мм/с; температура бойка та дорна – 100° С; коефіцієнт тертя по Зібелю – 0,7. Для моделювання використовувався дорн діаметром Ø1240 мм. Бойки для розкочування моделювались спираючись на форму та розміри поковки. Ескізи бойку для розкочування представлено на рис. 1.

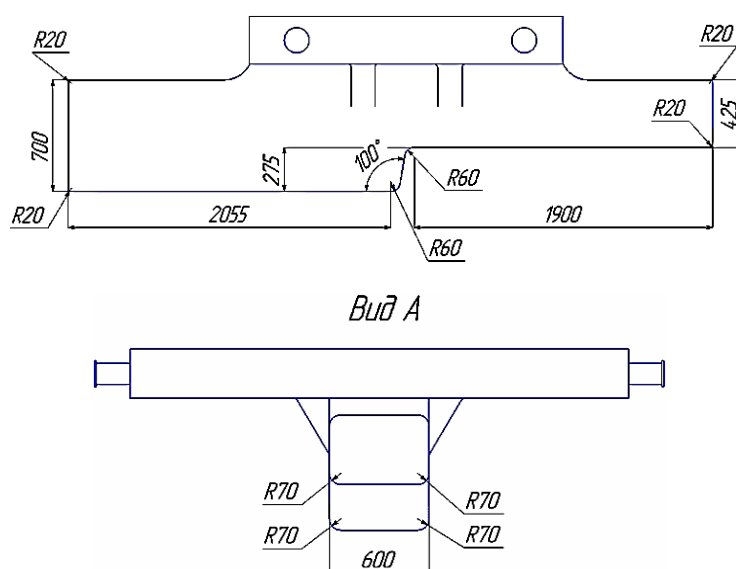


Рис. 1. Ескіз ступінчастого бойка для розкочування

Моделювання проводилося з одночасним деформуванням виступу та уступу (рис. 2, а). За один прохід по колу кільця натискання складало 60 мм. Після кожного обтискання верхнього бойка, заготовка поверталася і виконувалася подальша деформація. Ця послідовність операцій повторювалася, поки не була досягнута необхідна відстань між інструментами, яка відповідає товщині стінки поковки та необхідному ступеню деформації.

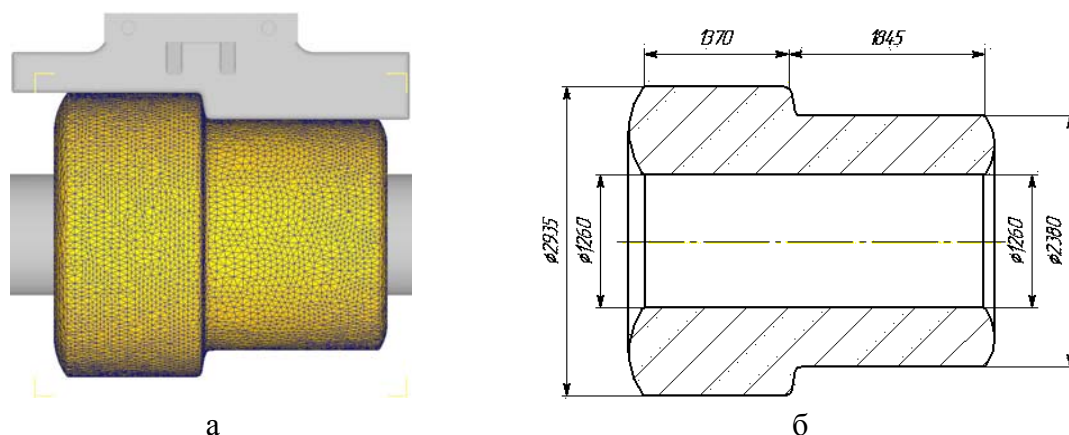


Рис. 2. Схема з одночасним розкочуванням виступу та уступу (а) та ескіз заготовки для моделювання процесу розкочування (б)

Процес розкочування проводився ступінчастим бойком, у якого робоча поверхня (див. рис. 1) повторює зовнішню поверхню заготовки (рис. 2, б). Різниця між діаметрами виступу та уступу дорівнює величині сходинки на бойку і складає 275 мм. Відносний діаметр виступу заготовки складає 2,3, а уступу – 1,87. В даному моделюванні не врахована конусність, яка залишається після кування заготовки на оправці.

Результати моделювання вказують на те, що при одночасному деформуванні виступу та уступу, з боку уступу формується більший діаметр отвору, ніж з боку виступу (рис. 3, а). За такої умови ступінь деформації в уступі більший, ніж у виступі (рис. 3, б). В уступі найбільші деформації зосереджені на поверхні контакту заготовки з інструментом. У виступі деформації найменші, що вказує на слабке його пророблення. Різний ступінь деформації можна пояснити різною товщиною стінки. При однаковому натисканні на виступ та уступ, тонша стінка уступу більше деформується, ніж стінка виступу. З результатів моделювання було встановлено, що найбільші деформації сконцентровані у місці переходу виступу в уступ. Отримана поковка після

ступеня деформації уступу 0,38 має конусність, яка дорівнює 1:7 (0,167). Впродовж всього процесу розкочування конусність постійно збільшується (рис. 4) через те, що діаметри отвору з боку уступу та виступу змінюються не рівномірно.

На конусність впливають діаметри отвору з боку уступу та виступу, а також довжина заготовки. У процесі розкочування довжина заготовки суттєво не змінювалася, отже її вплив незначний. З огляду на це необхідно встановити закономірність зміни діаметрів, які при розкочуванні суттєво змінюються.

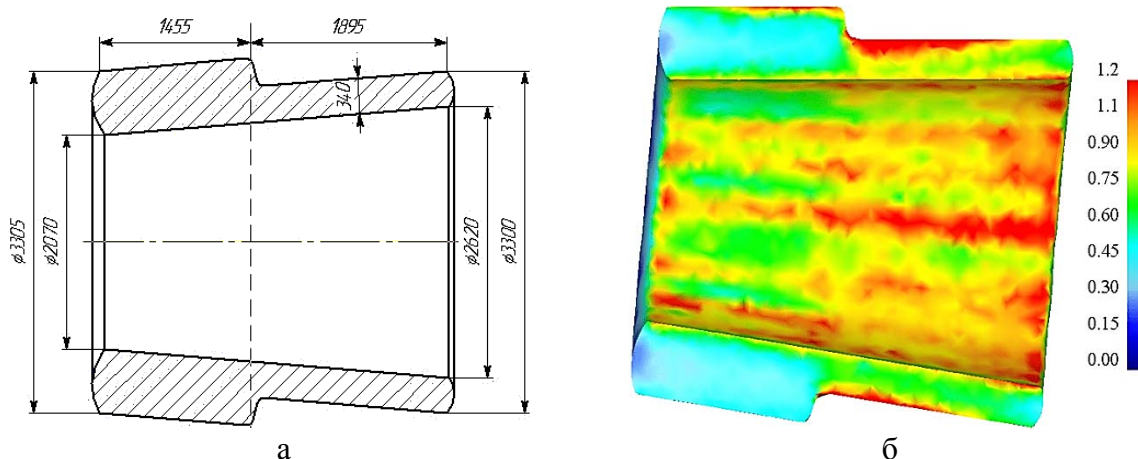


Рис. 3. Ескіз (а) та деформований стан поковки після розкочування (б)

Зміну діаметрів отвору з боку виступу d_e та уступу d_y можна розрахувати з формул об'єму циліндру з отвором та товщини стінки. Діаметр отвору:

$$d_i = \frac{V}{\pi \times H_i \times S_i} - S_i,$$

де H_i – довжина поковки для поточного діаметра отвору;

S_i – поточна товщина стінки поковки.

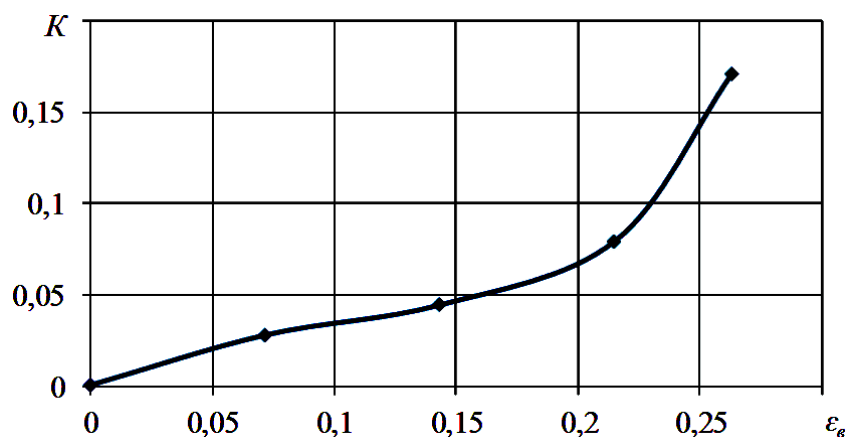


Рис. 4. Конусність поковки (K) від ступеня деформації виступу (ε_ε)

Залежність зміни відносного діаметра отвору з боку виступу $d_{n,\varepsilon}/L_n$ та уступу $d_{n,y}/L_n$ від ступеня деформації виступу ε_ε представлено на рис. 5. Результати розрахунків дозволили встановити, що відносні діаметри виступу та уступу змінюються майже по лінійним залежностям,

причому після перших обтискань відносний діаметр отвору з боку уступу починає збільшуватися інтенсивніше, ніж відносний діаметр отвору з боку виступу. За такої умови довжина уступу збільшується не суттєво. Через інтенсивніше збільшення діаметру з боку уступу після кожного кола обертання при розкочуванні збільшується різниця між діаметрами, через що збільшується і конусність поковки. Це пояснюється різними ступенями деформації, що виникають у виступі та уступі.

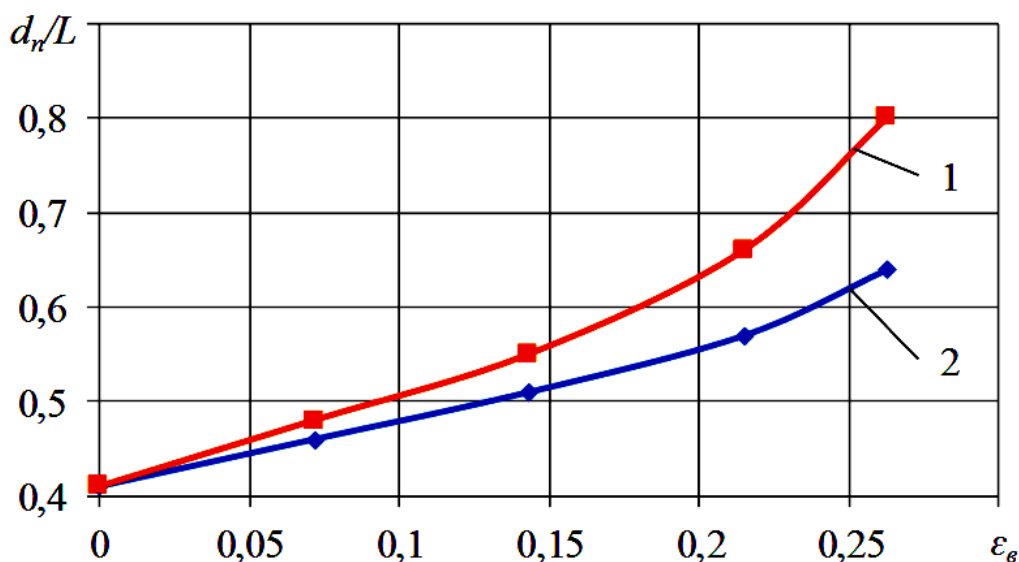


Рис. 5. Змінення відносних діаметрів отвору d_n/L для уступу (1) та для виступу (2) в залежності від відносного ступеня деформації виступу ε_v

За результатами дослідження встановлено НДС заготовки та закономірності зміни розмірів кільця у процесі розкочування. Аналіз отриманих результатів дозволив встановити ефективні рекомендації процесу розкочування конусних кілець та його переваги перед існуючим способом деформування:

– Використання ступінчастої заготовки у процесі розкочування дозволило виготовляти конусні кільця, що не було можливо раніше. Більш інтенсивне збільшення діаметру заготовки відбувається з боку уступу, що і надає заготовці конусну форму.

– Використання ступінчастого бойка дозволяє виготовляти кільця зі ступінчастим профілем, що дозволило виключити призначення зайвого напуску, що дало можливість підвищити коефіцієнт використання металу на 7 %.

Встановлені у роботі рекомендації з геометричних параметрів заготовки, інструменту та режимів розкочування є важливими науково-технічними результатами, які можна використовувати в теорії та технології процесів кування крупногабаритних пустотілих поковок.

Наукова новизна розробки:

– отримав подальший розвиток процес розкочування кільцевих поковок;
– встановлені кількісні оцінки НДС кільцевої конусної поковки зі ступінчастим профілем у процесі розкочення, в залежності від геометричних розмірів заготовки та режимів деформування, що дозволило встановити ефективні режими процесів кування, які відрізняються величиною деформації в уступі та виступі заготовки.

Практичним аспектом використання результатів дослідження є удосконалення технологічного процесу розкочування конусних поковок.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що при розкочуванні заготовки з різницею відносних діаметрів 0,43 виступ та уступ одночасно деформуються під час всього процесу розкочування. При цьому уступ інтенсивніше збільшується у діаметрі, ніж виступ, через що поковка набуває конусну форму. Це пояснюється різними ступенями деформації, які утворюються у виступі та уступі.

Причому ступінь деформації в уступі збільшується інтенсивніше, ніж у виступі. Різниця у ступенях деформації виникає через різницю у товщині стінок виступу та уступу. При $\varepsilon_0 = 0,25$ конусність дорівнює 0,17.

При розкочуванні заготовок зі змінною товщиною стінки ступінчастим бойком збільшення відносного діаметра уступу D_y/d_{cp} призводить до збільшення ступеня деформації уступу, що призводить до збільшення діаметру з боку уступу. Збільшення відносного діаметра виступу заготовок D_0/d_{cp} призводить до збільшення ступеня деформації виступу, що викликає збільшення діаметру отвору з боку виступу. Через це різниця між діаметрами виступу та уступу впливає на зміну конусності під час розкочування. Менша різниця призводить до виникнення більшого діаметру отвору з боку уступу, а більша різниця – до більшого діаметру отвору з боку виступу. Оптимальною є різниця між відносними діаметрами 0,4 тому, що під час розкочування вона змінюється рівномірно та з мінімальною інтенсивністю.

REFERENCES

1. Markov, O., Zlygoriev, V., Gerasimenko, O., Hrudkina, N., Shevtsov, S. (2018). Improving the quality of forgings based on upsetting the workpieces with concave facets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(1-95), 16-24. <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142674>.
2. Xu B. The void close behavior of large ingots during hot forging / B. Xu, M. Sun, D. Li // 19th International forgemasters meeting, 29 September – 3 October 2014, Makuhari – 2014. – P. 141–145.
3. Rutsikii D. V. Features of structure and solidification of extended double ingots for hollow forgings. Part 1 / D. V. Rutsikii, N. A. Zyuban, M. Y. Chubukov // *Metallurgist*. – 2016. – № 1. – P. 156–163.
4. Shrinkage porosity criteria and optimized design of a 100-ton 30Cr2Ni4MoV forging ingot / J. Wang, P. Fu, H. Liu [et al.] // *Materials and design* – №35 – 2012 – P. 446–456.
5. Choice of a rational scheme for casting of a forging ingot for producing hollow forgings / M. V. Kolodkin, S. I. Zhul'ev, V. S. Dub [et al.] // *Russian Metallurgy (Metally)*. – 2010. – № 6. – P. 544–547.
6. Shamrei V. A. New shape of forging ingot for making hollow forged products / V. A. Shamrei, S. I. Zhul'ev // *Metallurgist*. – 2007. – № 11. – P. 617–623.
7. Fabrication and properties of the heavy-wall ring forgings with modified 9Cr-1Mo steel for high-temperature and high-pressure reactor / T. Shinozaki, T. Komura, N. Fujitsuna [et al.] // 19th International forgemasters meeting, 29.09 – 3.10 2014, Makuhari – 2014. – P. 397–400.
8. Tanaka Y. Reactor pressure vessel (RPV) components: processing and properties / Y. Tanaka // *Irradiation Embrittlement of Reactor Pressure Vessels (RPVs) in Nuclear Power Plants*. – Sawston: 1, 2015. – (Woodhead Publishing). – (Energy; 26). – P. 26–43.

Герасименко О. В. – канд. техн. наук, докторант ДДМА;
profalliance@i.ua

Марков О. Є. – д-р техн. наук, зав. каф. ДДМА;
oleg.markov.ond@gmail.com

Косилов М. С. – канд. техн. наук, наук. співроб. ДДМА;
kosilovmaksims@gmail.com

Хващинський А. С. – аспірант ДДМА;
antonio.hvasherman@ukr.net

Іванов П. П. – магістр ДДМА.
mto@dgma.donetsk.ua

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.