

ЧУХЛІВ В.Л., ПАЛІЄНКО В.О.**ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ КУВАННЯМ**

Анотація. У статті розглянуті способи виготовлення колінчастих валів різними методами і основну увагу приділено способу кування. Розглянуті різні підходи отримання колінчастих валів, враховуючи вимоги до кінцевого виробу. Виконана дослідження процесу кування колінчастих валів за допомогою моделювання схем кування з використанням технологічного інструменту пережитки. Це дозволило візуалізувати різні аспекти технологічного процесу та з'ясувати, які методи та схеми передачі є найбільш раціональними для отримання колінчастого валу куванням. На основі отриманих даних були отримані висновки, які вказують на те, які підходи та методи виробництва колінчастих валів є раціональними при зменшенні кількості технологічних переходів. Результати дослідження можуть бути корисними для виробництв, які займаються куванням колінчастих валів, допомагаючи їм обрати найбільш раціональні методи та схеми передавання металу при куванні колінчастих валів для покращення виробничого процесу та зниження витрат.

Ключові слова: колінчастий вал, моделювання, кування, передача металу, деформація.

CHUKHLIV V. L., PALIENKO V. O.
IMPROVING THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING CRANKSHAFTS BY FORGING

Abstract. The article discusses the methods of manufacturing crankshafts by various methods and focuses on the forging method. Different approaches to producing crankshafts are considered, taking into account the requirements for the final product. A study of the crankshaft forging process was carried out by modelling forging schemes using the technological tool vestiges. This made it possible to visualise various aspects of the technological process and find out which methods and transmission schemes are the most rational for producing a crankshaft by forging. Based on the data obtained, conclusions were drawn that indicate which approaches and methods of crankshaft production are rational while reducing the number of technological transitions. The results of the study can be useful for industries engaged in crankshaft forging, helping them to choose the most rational methods and schemes of metal transfer during crankshaft forging to improve the production process and reduce costs.

Keywords: crankshaft, modelling, forging, metal transfer, deformation.

Вступ. Передача металу, як процес ковальських робіт, отримала широке розповсюдження в виготовленні великих колінчастих валів. Способів виготовлення колінчастих валів досить багато, найпоширенішим є штампування, але для виготовлення габаритних колінчастих валів застосовують кування. На якість отриманої продукції найбільший вплив має раціональний режим кування, який може бути розроблений в залежності від оптимізації схем деформації шляхом математичного моделювання з подальшим їх застосуванням у реальних промислових умовах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Виробництво колінчастих валів відрізняється технологією їх виготовлення.

В одиничному і дрібносерійному виробництві для колінчастих валів заготовками є поковки. Розміри кінцевої деталі і форма сильно відрізняються від готових форм колінчастих валів. Поковки виготовляють на потужних гідравлічних пресах.

У серійному і великосерійному виробництві заготовки отримують гарячим штампуванням, що має наступні технологічні переходи: попереднє й остаточне штампування, обрізка облою (обрізний штамп), гаряче правлення в штампах. Невеликі колінчасті вали виготовляють із прутка - обробкою металів різанням.

Зі збільшенням розмірів поковки трудомісткість отримання виробу методом кування і штампування зростає. Виготовлення колінчастого вала гнуттям з висаджуванням вирізняється високою продуктивністю і дає підвищення міцності і при такій обробці вал зазнає вигину та осевого стиснення в місці формування коліна.

Для аналізу останніх досліджень було розглянуто основні технології виготовлення валів, різний підхід до формування готового виробу. Є основні методи виготовлення колінчастих валів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Колінчасті вали зазвичай виготовляють наступними способами: штампуванням, литтям, механічною обробкою та куванням. Механічна обробка заготовки колінчастих валів відрізняється значними відходами металу під час різання. Але все вище сказане відноситься до колінчастих валів, які переважно мають масу до 500кг, а колінчасті вали які мають більшу масу можна зробити куванням.

Методи виготовлення колінчастих валів литтям розглянуті в багатьох публікаціях. Зокрема, у роботі [1] розглянутий новий спосіб отримання колінчастих валів литтям, який забезпечує отримання валів, що мають поліпшену здатність до балансування обертанням, яка може бути виміряна з підвищеною точністю. А в роботі [2] представлений спосіб отримання литих порожнистих колінчастих валів для двигунів внутрішнього згорання, що дає змогу зменшити масу за рахунок втягування серцевини, а також може усунути необхідність механічної обробки масляних каналів. В роботі [3] увагу зосереджено на застосуванні ізотермічно-загартованого чавуну з кулястим графітом у колінчастому валу та особливостям його застосуванні в двигуні. У роботі [4] зосередилися на зменшенні дефектів лиття та формування, які в основному виникають під час металургійного процесу, є змога описати деякі з тих серйозних проблем, які можуть перешкоджати процедурі лиття, а саме градієнт температури, різниця в часі затвердіння сплаву, площа поверхні ливарного матеріалу, вплив різного об'єму

розплавленого металу та форма отвору, яка повинна бути квадратною, а не конічною, щоб підвищити продуктивність процесу лиття. До переваг виготовлення валів литтям можна віднести простоту та швидкість виготовлення, отримання будь-якої форми продукції. Зокрема лиття має свої недоліки до яких можливо віднести якість отриманої продукції, при виготовленні з'являються дефекти лиття, які в принципі виправляються куванням. Також, розбити литу структуру та дендрити після лиття можна куванням.

Виготовлення колінчастих валів штампуванням є досить вивченим та поширеним методом виготовлення, але цей спосіб підходить для валів, які мають масу до 500 кг і для габаритних валів зазвичай використовують спосіб кування. В роботі [5] розглянутий спосіб виготовлення шатуна для колінчастого вала двигуна внутрішнього згоряння, в якому колінчастий вал складається з окремо виготовлених частин. Колінчастий вал відштампований з напівфабрикату і має центральний отвір для отримання шийки колінчастого вала, а також центральний розташований отвір для отримання пальця колінчастого вала. При штампуванні деформація відбувається на кожному етапі, щоб забезпечити потік металу в порожнину штампа, як у верхньому, так і в нижньому штампі. В роботі [6] виявили що на кожному етапі штампування заготовка рухається в певному напрямку з певною швидкістю і метал заповнює всю порожнину штампа. Отримання колінчастого вала методом [7] призводить до того, що матеріал між матрицями розміщується таким чином, щоб сформувати елементи колінчастого вала і в той же час правильно позиціонує колінчастий палець по відношенню до шийок. В роботі [8] дається оцінка попередніх досліджень і рішень з лазерного наплавлення, які в даний час пропонуються для ремонту судових колінчастих валів. У роботі [9] розробили метод зміцнення штампованих колінчастих валів, включаючи розробку машини для випробування на втому колінчастих валів і досягли проектної міцності штампованих колінчастих валів, яка на 15% вища, ніж у кованих виробів. Вимоги при штампуванні колінчастих валів зазвичай дуже високі і у роботі [10] виявили, що в процесі виробництва необхідне дотримуватись вимог до якості продукції, а також надзвичайно високі вимоги пред'являються до однорідності і стабільності розмірів поковок в одній і тій ж партії. У роботі [11] проводиться аналіз штампування шестициліндрового колінчастого вала, що виготовлений гарячим штампуванням.

Виготовлення різанням є одним з способів для фінішної обробки колінчастих валів і розглянемо методи виробництва валів різанням. В [12] розглянуто процес виготовлення деталі з заготовки, що забезпечує гнучкість конструкції. Процес виготовлення заготовки значно полегшує розміщення шийок саме там, де їх хоче бачити конструктор і для цього процесу потрібні такі інструменти, як токарний верстат, формувач, прецизійні свердла, фрезерний верстат. При механічній обробці колінчастого вала в роботі [13] задіяно багато машин і кожна операція іноді має більше ніж один верстат і тривалість циклу змінюється від однієї операції до іншої, залежно від типу процесу. В роботі [14] розглянута обробка кожної шийки колінчастого вала, що підлягає належному балансуванню навіть під час роботи і при цьому кожен елемент колінчастого вала потребує поглибленого аналізу. Недоліками механічної обробки є те, що під час обробки різанням відбувається перерізання волокон металу.

Тепер розглянемо спосіб отримання крупних колінчастих валів куванням. В куванні, як і в попередніх способах є недоліки і до них можна віднести складність технологічного процесу. В роботі [15] розглянутий спосіб виготовлення колінчастого вала за допомогою інструменту у вигляді вузького бойка і розроблені рекомендації по застосуванню тонкого деформуючого інструменту для отримання шатунної шийки колінчастого вала за визначеними схемами кування. В [16] розглянутий спосіб отримання колінчастого вала методом кування, що дає змогу максимально зберегти волокнисту структуру металу при виконанні всіх технологічних операцій. В роботі [17] розглянутий спосіб кування габаритних злитків за допомогою осаджування профільованих заготовок. В роботі [18] показано, що після попереднього протягування відбувається закриття осьової пористості зливка і також встановлено параметр оцінки закриття порожнин при куванні, який враховує напружений стан та гідростатичні напруження в заготовці при осаджуванні. Виявлено, що при осаджуванні вздовж осі зливка без попереднього протягування не впливає на заварювання осьової пористості. В даних роботах [19, 20] розглянутий спосіб отримання шатунних шийок обтискаючи заготовку шістьма тонкими бойками. Цей спосіб дозволяє спрофілювати заготовку до форми, наближеної до кінцевої. Маса поковки складає декілька десятків тон, вихідною заготовкою є зливки, першим етапом є осаджування, а далі протягування до необхідних розмірів і потім профілюють складним інструментом. В роботі [21] розглянутий спосіб отримання колінчастих валів за допомогою викрутних пресів, що дає змогу здійснити формоутворення поковки з розташуванням всіх корінних та шатунних шийок в одній площині і після цього зробити розворот шатунних шийок на заданий кут. У роботі [22] розглянуті способи кування, які застосовуються на сьогоднішній день. Процес кування може відрізнятись від конструктивних особливостей вала. Відмінності сильно помітні при куванні багатоколінчастого вала, але при куванні одноколінчастого вала спосіб виконання тільки один. В роботі [23] виконан аналіз методом скінчених елементів (МСЕ) в програмному забезпеченні ANSYS шляхом накладання на вал навантаження та обмежень відповідно до умов роботи двигуна. Аналіз виконується для визначення місця критичного руйнування колінчастого вала.

В розглянутих роботах недостатньо вивчено вплив параметрів формозміни на геометрію отриманого виробу при куванні. Зокрема, мало вивчений вплив геометрії інструмента на перерозподіл металу під час деформації при виконанні операції передавання при куванні.

Постановка задачі. Основною метою цього дослідження є вивчення процесу формозміни при отриманні

колінчастого валу методом вільного кування. Було проведено теоретичне дослідження методом комп'ютерного моделювання на основі аналізу технологічних схем виробництв поковок колінчастих валів. Була обрана заготовка під кування, яка має квадратний поперечний переріз. Довжина заготовки 5000 мм зі стороною квадрату 1000 мм. В якості матеріалу була обрана легвана сталь – Сталь 40ХН2МА. Температурний інтервал кування від 1200°C до 800°C. Для зменшення бочкоподібності поковки підігрівають бойки або плити, а також технологічний інструмент пережимку до 300°C. Пережимка потрібна для перерозподілу металу під час деформації. Для моделювання процесу деформації металу використовувався програмний комплекс QForm3D.

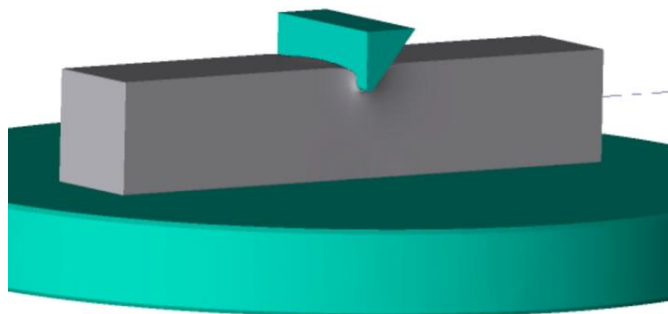


Рис. 1 – Загальний вигляд процесу вдавлювання пережимки в программі QForm3D

Процес деформації проходить наступним чином - в заготовку, яка знаходиться на осадочній плиті, вдавлюється пережимка (рис. 1) на глибину 200мм потім її перевертають на 180° (рис. 2) та роблять ще одну засічку пережимкою. Для досліді слід витримати відстань між засічками, яку варіюють наступним чином 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 мм.

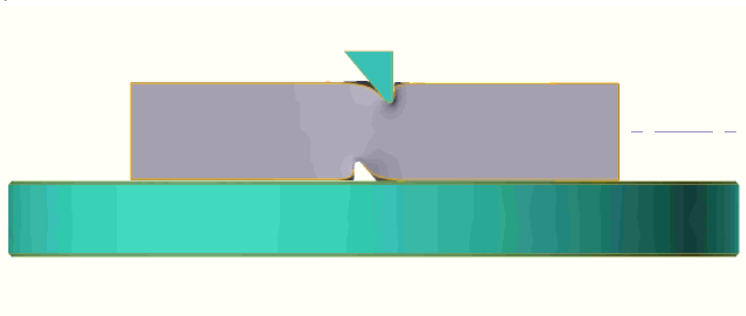


Рис. 2 – Процес деформації заготовки пережимкою з двох сторін при дотриманні розміру між засічками

Для аналізу формозміни металу треба визначити основні розміри поковки колінчастого валу та їх співвідношення. Для цього треба знайти залежність факторів та розмірів. На рис. 3 схематично зображена поковка, на якій позначені геометричні параметри у вигляді літер і тим самим ми описали саму заготовку. Таким чином ми можемо визначити раціональні параметри вдавлювання пережимки та визначити відстань між ними.

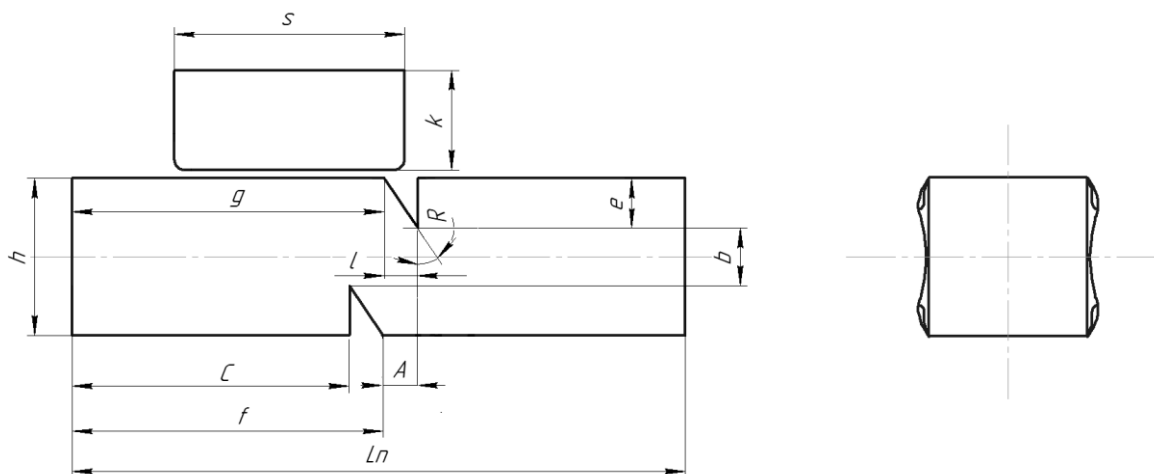


Рис. 3 – Геометричні параметри заготовки до деформації у поперечному перетині

Визначення співвідношення розмірів заготовки та інструменту дозволило зробити графічні залежності зміни геометричних розмірів заготовки при використанні різної відстані між пережимками та різного ступіню деформації. Для аналізу ми беремо залежності та аналізуємо, який вплив мають ці співвідношення. Дослідження взаємовпливу цих співвідношень дає змогу визначити раціональну глибину впровадження інструменту.

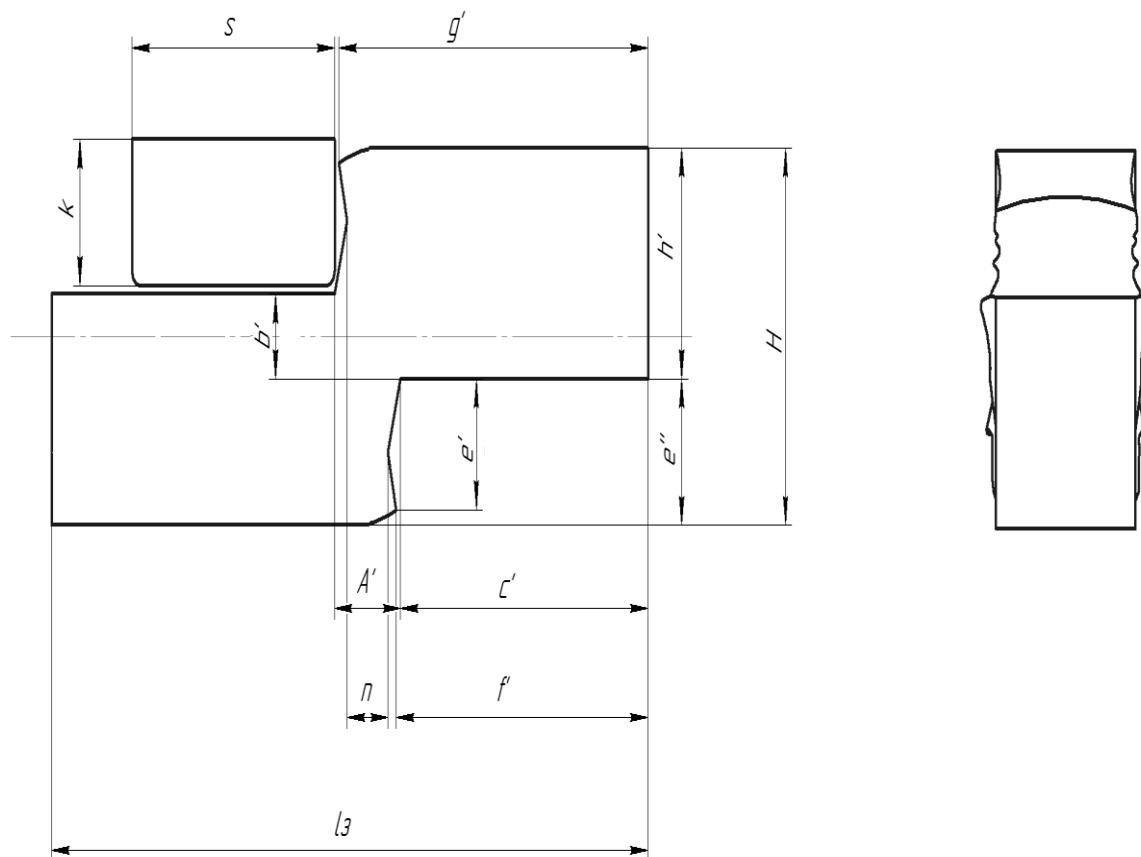


Рис. 4 – Геометричні параметри поковки у поперечному перетині після деформації

Основними геометричними параметрами в даному випадку (рис. 3-4) є:

- A – відстань між пережимками;
- e – глибина занурення пережимки;
- h` - висота продеформованої поковки;
- h – висота заготовки;
- b – відстань між зануренням пережимок до деформації;
- b` - відстань між зануренням пережимок після деформації;
- g – відстань від прямої частини намітки до краю;
- g` - відстань від похилої частини намітки до краю;
- c - відстань від намітки до краю заготовки;
- c` - відстань від намітки до краю поковки.

Основні параметри, які описують співвідношеннями:

- $h/h`$ - відношення висоти заготовки до висоти поковки;
- $b/b`$ - відношення розміру заготовки та поковки між намітками;
- $c/c`$ - відношення довжини нижньої половини заготовки до нижньої половини поковки;
- $g/g`$ - відношення довжини верхньої половини заготовки до верхньої половини поковки.

Для аналізу ми беремо обрані залежності та аналізуємо, який вплив мають ці співвідношення на формозміну металу. Дослідження відстані між зануреннями та глибиною занурення пережимки дає змогу визначити раціональну глибину впровадження інструменту. Потім ми будуємо графіки залежностей і аналізуємо кожен етап формозміни металу при використанні технологічного інструменту пережимки, а також

визначаємо деформаційні умови максимального наближення форми і розмірів поковки до готового виробу.

На рис. 5 ми бачимо, що типорозмір висоти отриманого коліна (g/g') змінюється пряmlinійно для кожного випадку використання різних відстаней, однак кожен випадок має характерну чисельну величину, яка значно відрізняється для кожного випадку кування.

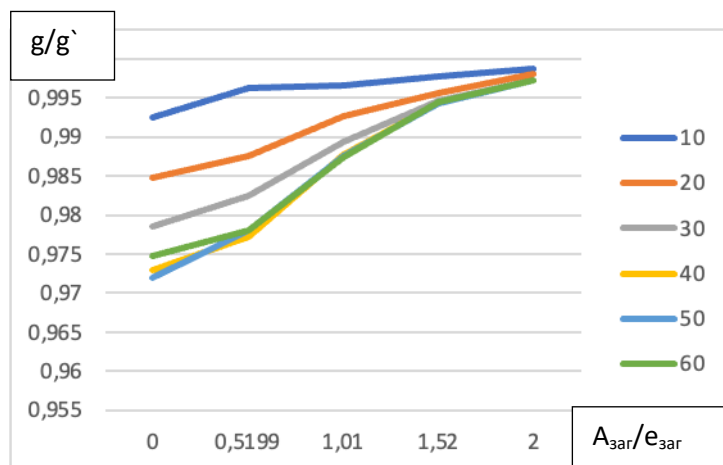


Рис. 5 – Графічна залежність відстані від прямої частини намітки до краю після деформації (g/g')

З графічної залежності на рис. 6 спостерігаємо те, що графіки мають майже пряmlinійну залежність для різних співвідношень при незначному їх зниженні зі збільшенням відносної відстані між пережимками. При цьому на рис. 7 показаний характерний приклад отримання колінчастого валу з одним коліном, який можливо отримати при використанні розробленого технологічного процесу з технологічним інструментом пережимкою з послідуною деформацією металу при передаванні під час кування.

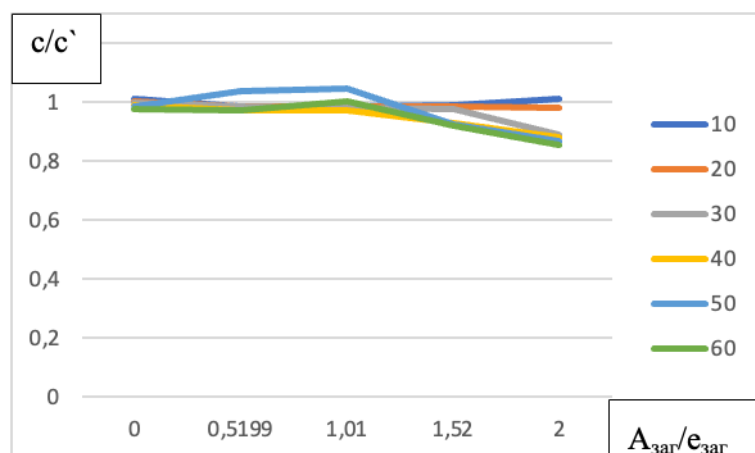


Рис. 6 – Графічна залежність відстані між намітками до деформації та після деформації

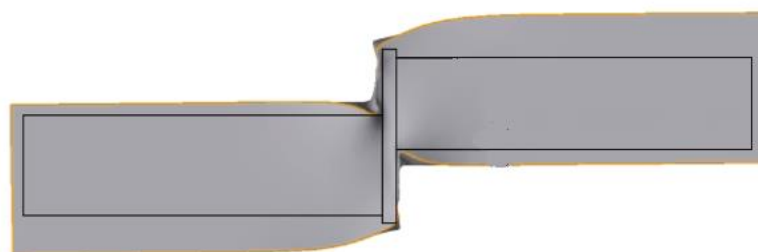


Рис. 7 – Схематичне зображення одного коліна валу, який можливо отримати при передаванні металу

Висновки.

Проведено комп'ютерне моделювання технологічного процесу деформування колінчастого валу. Побудовані графіки які показують вплив інструмента при визначених параметрах деформування колінчастого валу.

Сучасна технологія виготовлення поковок колінчастих валів вільним куванням складається в основному з операції протягування та передачі. Отримання шатунної шийки вільним куванням можливе, як правило її закривали ковальським напуском, таким методом збільшували металосміність виготовлення однієї поковки. Визначення деформаційних умов максимально дозволяє наблизити форму поковки до форми готового виробу з метою зменшення витрат металу на виготовлення.

Список використаної літератури

1. Patent US6,415,847B1, Jul.9,2002. Crankshaft casting pattern and method // Gene Frederic Baltz, Olmsted Falls; Jerome John Grzincic; Ronald John Nakoneczny, Olmsted; Thomas Eugene Sattler, Medina, all of OH (US).
2. Song Liu. Foundry and Development of Ductile Iron Crankshaft. *The Open Mechanical Engineering Journal*, 2015, 9, p. 791-796
3. Patent WO 2005/099933, 27.10.2005 Gazette 2005/43 Cast hollow crankshaft and method of manufacturing the same // Kabushiki Kaisha Riken Chiyoda-ku, Tokyo Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha Toyota-shi, Aichi-ken
4. Zayyad Abubakar, Najeeb Ullah. Minimization of shrinkage defect in crankshaft casting. Department of Mechanical & Chemical Engineering (MCE) Islamic University of Technology (IUT), OIC Board Bazar, Gazipur Bangladesh.
5. Patent US 6,763,586 B2, Jul.9, 20, 2004. Method of producing a crank arm for a crankshaft // Harald Schliemann, Waiblingen (DE). Arno Roos, Waiblingen (DE). *United States Patent Crankshaft*
6. Zbigniew Siemiatkowski Kazimierz Pulaski // Computerised grinding procedure for large scale crankshaft machining. *MATEC Web Conf. Vol. 252, 2019. III International Conference of Computational Methods in Engineering Science (CNES18)*.
7. R.J. H. Hunt and J. E.Russell // Crankshaft forging: an evaluation of continuous grain flow. *Proc Instn Mech Engrs 1966-67, Vol. 181, Pt. 3H*.
8. Toms Torims, Guntis Pikursm Andris Ratkus, Andris Logins, Janis Valcans, Stepan Sklariks // Development of Technological Equipment to Laboratory Test In-situ Laser Cladding for Marine Engine. *Procedia Engineering Volume 100, 2015, Pages 559-568*.
9. Mr. Chisao Otani // Manufacture of forged crankshafts - Crankshafts from Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation. *Journal of the JIME Vol. 48, No. 1(2013)*
10. Forging Technology and improvement of passenger car crankshaft: веб-сайт. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/forging-technology-improvement-passenger-car-crankshaft> (дата звернення: 20.02.2024).
11. Arunesh Chandra, Pankaj Chandna. // Quality tools to reduce crankshaft forging defects: an industrial case study. *Journal of Industrial and Systems Engineering Vol. 3, No. 1, pp 27-37 Spring 2009*
12. Prajakta P. Pawar, Dr. Santosh D. Dalvi, Santosh Rane, Dr. Chandra Babu Divakaran // Evaluation of Crankshaft Manufacturing Methods - An Overview of Material Removal and Additive Processes. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*
13. Abass Enzi, Sardar Asif Khan // Automated Production Line Reliability Analysis of the Crankshaft Manufacturing Process. *Advances in Science and Technology Research Journal 2022, 16(1), p.15-27*
14. Karel Jerábek, Terezie Vondráčková, Vera Vostová // Increase of the Effective Production of Crankshafts for Ship Engines. *DOI 10.17818/NM/2016/4.6 UDK 629.5:51*
15. Клемшов Є.С. Розвиток теоретичних та технологічних основ металозаощаджувального процесу кування шатунної шийки великогабаритних колінчастих валів : дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.03.05 “Процеси та машини обробки тиском”. – Національна металургійна академія України, Дніпро, 2019.
16. The method of forging an engine crankshaft. Zhao Yin Shi Lumeng State Intellectual Property Office of the People's Republic of China Application Publication Number CN 103691873 A (43) Application Publication Date 2014-04-02
17. Олег Марков, Антон Хващинський, Антон Мусорін, Марина Маркова, Антон Лисенко Дослідження нового способу кування великих злитків на основі осадження профільованих заготовок *Технічні науки та технології №1(27), 2022 С. 47-48*.
18. Формирование прогнозируемых показателей качества поковок в условиях ОАО «Арсело-рМиттал Кривой Рог» / В. Л. Чухлеб, Д. Ю. Клюев, И. С. Прокопенко, А. В. Ашкелянец // Обра- ботка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2011. – No 1 (26). – С. 103-106.
19. Computer simulation of technological chain by free forging [Електронний ресурс] / В.Маšek, Z. Nový, D. Kešner, L. Meyer. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.researchgate.net/publication/268432694/download>.
20. Mašek V. 3d simulace péčování a prodlužování kovářského ingotu i 45 [Електронний ресурс] / В. Mašek, Z. Nový, D. Kešner – Режим доступу до ресурсу: 150 <https://docplayer.cz/16519172-3d-simulace-pechovani-a-prodluzovani-kovarskeho-ingotui-45.html>
21. Володин И.М. Особенности проектирования технологи изготовления поковок коленчатых валов большегрузных автомобилей / И.М. Володин, В.С. Мартюгин // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. 2008. - № 1 (19). - С. 196 – 200.
22. Соколов Л.Н. Атлас технологических процессовковки крупных поковок: учеб. пособие для студентов специальности «Обработка металлов давлением» по дисциплине «Технологияковки» Ч. 3 / Л.Н. Соколов, И.С. Алиев, О.Е. Марков, Л.И. Алиева – Краматорск: ДГМА, 2007. - 172 с.
23. A. Dindore, G. Badiger, Optimization of crankshaft by modification in design and material, *Int. Res. J. Eng. Technol.* 7 (3) (2020) 3321–3325.

Bibliography (transliterated):

1. Patent US6,415,847B1, Jul.9,2002. Crankshaft casting pattern and method // Gene Frederic Baltz, Olmsted Falls; Jerome John Grzincic; Ronald John Nakoneczny, Olmsted; Thomas Eugene Sattler, Medina, all of OH (US).
2. Song Liu. Foundry and Development of Ductile Iron Crankshaft. *The Open Mechanical Engineering Journal*, 2015, 9, p. 791-796
3. Patent WO 2005/099933, 27.10.2005 Gazette 2005/43 Cast hollow crankshaft and method of manufacturing the same // Kabushiki Kaisha Riken Chiyoda-ku, Tokyo Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha Toyota-shi, Aichi-ken
4. Zayyad Abubakar, Najeeb Ullah. Minimization of shrinkage defect in crankshaft casting. Department of Mechanical & Chemical Engineering (MCE) Islamic University of Technology (IUT), OIC Board Bazar, Gazipur Bangladesh.
5. Patent US 6,763,586 B2, Jul.9, 20, 2004. Method of producing a crank arm for a crankshaft // Harald Schliemann, Waiblingen (DE). Arno Roos, Waiblingen (DE). *United States Patent Crankshaft*
6. Zbigniew Siemiatkowski Kazimierz Pulaski // Computerised grinding procedure for large scale crankshaft machining. *MATEC Web Conf. Vol. 252, 2019. III International Conference of Computational Methods in Engineering Science (CNES18)*.
7. R.J. H. Hunt and J. E.Russell // Crankshaft forging: an evaluation of continuous grain flow. *Proc Instn Mech Engrs 1966-67, Vol. 181, Pt. 3H*.
8. Toms Torims, Guntis Pikursm Andris Ratkus, Andris Logins, Janis Valcans, Stepan Sklariks // Development of Technological Equipment to Laboratory Test In-situ Laser Cladding for Marine Engine. *Procedia Engineering Volume 100, 2015,*

Pages 559-568.

9. Mr. Chisao Otani // Manufacture of forged crankshafts - Crankshafts from Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation. Journal of the JIME Vol. 48, No. 1(2013)
10. Forging Technology and improvement of passenger car crankshaft: веб-сайт. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/forging-technology-improvement-passenger-car-crankshaft> (дата звернення: 20.02.2024).
11. Arunesh Chandra, Pankaj Chandna. // Quality tools to reduce crankshaft forging defects: an industrial case study. *Journal of Industrial and Systems Engineering* Vol. 3, No. 1, pp 27-37 Spring 2009
12. Prajakta P. Pawar, Dr. Santosh D. Dalvi, Santosh Rane, Dr. Chandra Babu Divakaran // Evaluation of Crankshaft Manufacturing Methods - An Overview of Material Removal and Additive Processes. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*
13. Abass Enzi1, Sardar Asif Khan // Automated Production Line Reliability Analysis of the Crankshaft Manufacturing Process. *Advances in Science and Technology Research Journal* 2022, 16(1), p.15–27
14. Karel Jerábek, Terezie Vondráčková, Vera Vostová // Increase of the Effective Production of Crankshafts for Ship Engines. DOI 10.17818/NM/2016/4.6 UDK 629.5:51
15. Klemeshov E.S. Rozvytok teoretichnih ta tehnologichnih osnov metalozashadgvalnogo procesy kyvanna shatynnoi shyiki velukogabarynyh kolinchatuh valiv: dissertacia na zdobytu naykovogo stypena kandudata tehnicnih nayk (doctora filosofii) – *Nacionalna metalyrgiina academia Ukrainu, Dnipro, 2019.*
16. The method of forging an engine crankshaft. Zhao Yin Shi Lumeng State Intellectual Property Office of the People's Republic of China Application Publication Number CN 103691873 A (43) Application Publication Date 2014-04-02
17. Doslidzhenia novogo sposoby kevanna velukuh zlutkiv na osnovi osadgenna profilovanuh zagotovok // Oleg Markov, Anton Hvashinskiy, Anton Mysorin, Marina Markova, Anton Lysenko. *Tehnicni nauku ta tehnologii* №1(27), 2022 С. 47-48
18. Formirovanie prognoziryemuh pokazatelei kachestva pokovok v yslovieh OAO Arselo-rMittal Krivoi Rog // V.L Chyhleb, D. Klyev, I. Prokopenko, A. Ashkelyanec. // *Obrabotka materialov davleniem* : sb. Naych. Tr. – Kramatorsk: DGMA, 2011. - No 1 (26). – С. 103-106.
19. Computer simulation of technological chain by free forging [Електронний ресурс] / В.Маšek, Z. Nový, D. Kešner, L. Meyer. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.researchgate.net/publication/268432694/download>.
20. Mašek B. 3d simulace pēchování a prodlužování kovářského ingotu i 45 [Електронний ресурс] / В. Маšek, Z. Nový, D. Kešner – Режим доступу до ресурсу: 150 <https://docplayer.cz/16519172-3d-simulace-pechovani-a-prodluzovani-kovarskeho-ingotui-45.html>
21. Osobnosti projektovania tehnologii izgotovlenia pokovok kolenchatuh valov bolshegryznuh avtomobilei / I. Volodin, V. Martugin // *Obrabotka materialov davleniem. Sbornik naychnuh trydov.* 2008. - № 1 (19). - С. 196 – 200.
22. L. Sokolov. Atlas tehnologicheskikh procesov kovki krypnuh pokovok: ycheb. Posobie dla studentov specialnosti "Obrabotka metallov davleniev" po discipline "Tehnologia kovki" Ch. 3 / L. Sokolov, I. Aliev, O. Markov, L. Alieva – Kramatorsk: DGMA, 2007. – 172 p.
23. A. Dindore, G. Badiger, Optimization of crankshaft by modification in design and material, *Int. Res. J. Eng. Technol.* 7 (3) (2020) 3321–3325.

Відомості про авторів / About the Authors

Чухліб Віталій Леонідович (Chukhlib Vitalii) - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри "Комп'ютерне моделювання та інтегровані технології обробки тиском" Навчально-наукового інституту механічної інженерії та транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м.Харків; e-mail: profdnepro@gmail.com.

Палієнко Володимир Олексійович (Paliienko Volodymyr) – аспірант кафедри "Комп'ютерне моделювання та інтегровані технології обробки тиском" Навчально-наукового інституту механічної інженерії та транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м.Харків; e-mail: mustmix13@gmail.com.