

АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КУВАННЯ ГАКІВ

Анотація. У роботі проведено аналіз технології кування гаків великої вантажопідйомності. Розглянуто операції кування для виготовлення гаків та комбінування операцій осаджування і протягування і розглянуто якість кування гаків. Зробивши аналіз було сформувано основні вимоги до якості кування гаків. Проведено моделювання процесу осаджування з послідовним протягуванням заготовки кованого гаку, а також проведено моделювання процесу протягування без осаджування заготовки та їх вплив на деформований стан та розподіл деформації по перетину заготовки. Аналіз розподілу деформації по перетину заготовки зроблено методом прогнозування нерівномірності деформації металу при осаджуванні і протягуванні, а також тільки при протягуванні без осаджування заготовки. Розрахували у двох випадках показник нерівномірності деформації заготовок в поперечному перерізі при протягуванні та побудували графіки нерівномірності деформацій, який показав більш доцільне використання послідовного осаджування та протягування, які забезпечують підвищення якості кованого гаку.

Ключові слова: гак, кування, осаджування, протягування, якість, деформація.

CHUKHLIV V. L., KOLISNYK K. D.

ANALYSIS AND RESEARCH OF HOOK FORGING TECHNOLOGY

Abstract. The paper analyses the technology of forging heavy-duty hooks. The forging operations for the manufacture of hooks and the combination of deposition and drawing operations are considered, and the quality of hook forging is examined. Based on the analysis, the basic requirements for the quality of hook forging were formed. The modelling of the deposition process with sequential drawing of the forged hook billet was carried out, as well as the modelling of the drawing process without deposition of the billet and their impact on the deformed state and strain distribution across the billet cross-section. The analysis of the strain distribution across the billet cross-section was made by predicting the unevenness of metal deformation during deposition and drawing, as well as only during drawing without deposition of the billet. In two cases, the index of unevenness of deformation of the workpieces in cross-section during drawing was calculated and graphs of unevenness of deformation were constructed, which showed a more appropriate use of sequential drawing and drawing, which provide an increase in the quality of the forged hook.

Keywords: hook, forging, deposition, drawing, quality, deformation.

Вступ. Гаки великої вантажопідйомності застосовуються при виконанні вантажно-розвантажувальних робіт, як універсальні вантажопідйомні пристрої. Вони є дуже важливою частиною для вантажопідйомних машин і механізмів, тому що витримують всю масу вантажів. Будь-яка проблема при використанні гака може призвести до нещасних випадків. Тому виготовлення гаків великої вантажопідйомності повинне виконуватися за технологічними вимогами. Виготовляють гаки великої вантажопідйомності методом кування, штампування та клепання (пластинчасті гаки) [1], [2], [3].

Тема дослідження стосується гаків великої вантажопідйомності, які виготовляють методом кування. До основних технологічних операцій кування належать - протягування, осаджування, висаджування, прошивання, гнуття, кручення, рубання. Деякі з цих операцій застосовують для кування гаків. Для оцінки якості отриманого гака проводяться механічні випробування. До вимог якості продукції, яка отримується куванням, відносять показники твердості, пластичності, міцності та в'язкості [1], [4].

Операції кування для виготовлення гаків та комбінування операцій осаджування і протягування.

Кування є процесом пластичної деформації металу нагрітого до певної температури, що піддають обробці ударами молота або силою тиску куваального преса. В результаті чого заготовка набуває необхідної форми і називається поковкою. Тож стисло розглянемо основні операції кування для виготовлення гаків. При протягуванні довжина заготовки збільшується за рахунок зменшення її поперечного перерізу. Протягування застосовують для виготовлення тяг, важелів, колон, валів і т. д. Осаджування застосовують для збільшення поперечного перерізу заготовки за рахунок зменшення її висоти. Згинання застосовують для надання заготовці вигнутої форми за заданим контуром. Цією операцією виготовляють кутики, скоби, кронштейни і т. д. Рубання застосовують для відокремлення однієї частини нагрітої заготовки від іншої за допомогою ковальської сокири. Для того щоб поковка виробу мала високі механічні показники якості, заготовку спочатку осаджують, а потім протягують [4], [5].

В роботі [6] автори створили нові підходи щодо розробки і вдосконалення технологічних процесів кування з отриманням поковок прогнозованої якості. Вони засновані на визначенні нерівномірності деформації та поздовжньої кривизни при зміні напрямку деформування при виконанні операцій осаджування та протягування. З використанням цього методу можливо проведення дослідження нових схем кування валів та дисків. Встановлені поля розподілу нерівномірності деформації в об'ємі заготовок, які дозволяють встановити раціональні режими кування та забезпечують підвищення рівномірності розподілу механічних властивостей виробів і зниження кривизни поковки. При застосуванні цього методу розроблені нові технологічні процеси виготовлення поковок.

Автори роботи [7] провели аналіз основних показників якості великогабаритних поковок технологічних процесів кування з подальшим їх вдосконаленням. Напрямок дослідження полягав в розробці способу осаджування чотирипроменевих заготовок. Встановили вплив кута граней чотирипроменевих заготовок 150° на розподіл деформацій, напружень, температур та заковування внутрішніх порожнин після осаджування. Початок заковування отвору відбувається при деформації 10%, а максимальне заковування отвору відбувається після осаджування на 65% від діаметру заготовки при відносній глибині граней 15...20%. Авторами розроблений

новий науково-аргументований спосіб осаджування чотирипроменевих заготовок, який підвищує якість великогабаритних поковок. На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень розробили рекомендації з проектування технологічних процесів кування за новими схемами деформування злитків.

В роботі [8] автори розробили новий спосіб осаджування заготовок. Цей спосіб включає в себе осаджування заготовок, у котрих попередньо сформовані увігнуті грані. Було розроблено спеціальну методику експериментальних досліджень для встановлення впливу увігнутих граней на закриття осьових дефектів. Дані дослідження проводили на сталевих і свинцевих моделях. Встановили за результатами досліджень раціональну глибину увігнутих граней і вона відповідає співвідношенню діаметрів уступів і виступів рівних 0,85. Максимальне закриття осьового отвору забезпечує це співвідношення. Стискання при осаджуванні профільованих заготовок з увігнутими гранями відбувається за рахунок високого рівня напружень. Встановлено раціональну ступінь осаджування, де відбувається максимальне закриття внутрішніх пустот. З використанням осаджування заготовок з профільованими гранями було втілено впровадження нового способу кування. Результати ультразвукового контролю показали, що виготовлені деталі відповідають європейському стандарту SEP 1921 за розмірами внутрішніх дефектів. Завдяки проведеним дослідженням, зроблено висновок про ефективність запропонованого нового способу осаджування заготовок, котрі були попередньо профільовані з утворенням увігнутих граней.

У роботі [9] розглянуто переваги використання 3-х і 4-променевих зливків для кування валів порівнюючи з круглими зливками. Автор вдосконалив режим протягування та конструкцію профільованих головок для кування 3-х і 4-променевих заготовок зі стандартного злитка. Також автор у роботі описав результат експериментальних досліджень стосовно порівняння ступеня видалення осьових дефектів, характеру розподілу деформацій, чергування розміру зерна при куванні валів з круглих фасонних та 3-4-променевих зливків. Автор додав рекомендації з приводу нових процесів кування, сенс яких полягає у виключенні виконання операцій осаджування завдяки використанню профільованих головок для попереднього кування зливків у 3-х та 4-променеві злитки.

У роботі [10] автори представили технологічну схему кування зливків за допомогою спеціального фігурного бойка. Описали його вплив при виконанні операції протягування злитків. Отримали необхідні властивості металу та позитивні результати з ультразвукового контролю завдяки використанню спеціалізованого інструменту та охолодження. Комбіноване технологічне рішення дозволяє розширити номенклатуру поковок відповідального призначення.

Якість кування гаків. Пошкодження гаків завжди відбувається внаслідок дії згинальних напружень на нього. Для того щоб мінімізувати пошкодження гака, необхідно проаналізувати його частину, що піддається дії напружень. У роботі [11] автори підготували різні пропорції легованої сталі AISI 4340 разом із 0,05% ванадію. Аналіз показав, що 0,05% ванадію відіграє важливу роль у легованих сталях AISI 4340 та створює дрібну форму зернистої структури, що призводить до кращих механічних властивостей. Ця робота дає висновки, що застосування 99,95% сплаву AISI 4340 разом з 0,05 % ванадію у гаку крана може надати надійності та стійкості при високій міцності.

Гак є частиною підйомного механізму, на якому підвищується вантаж. Щоб він міг відносно добре витримувати високі навантаження від гака вимагається необхідна міцність. Вигнута внутрішня поверхня – найбільш навантажена частина гака. З точки зору міцності ця поверхня вважається критичною. Автори роботи [12] зробили аналіз міцності обраного кранового гака та вибір відповідного гаку для мостового крана. Аналіз міцності виконували двома методами - перший базується на аналітичному розрахунку, а другий базується на методі кінцевих елементів (FEM), виконаному в програмному забезпеченні Ansys. Порівняння отриманих загальних напружень за двома методами є частиною аналізу. За результатами аналітичного розрахунку та аналізу FEM автори стверджують, що обраний гак RSN 05P-DIN 15401 відповідає необхідним вимогам. Також зробили висновок, що загальні напруження, що визначені аналітичним розрахунком, нижчі на 9,8 % у порівнянні з напруженнями, що отримані у програмному забезпеченні Ansys.

В роботі [13] авторами було виконано аналіз на кованому гаку Ramshorn з трапецієподібним поперечним перерізом, для того, щоб в кожному випадку визначити випробувальне навантаження та вивчити поведінку різних марок сталей. До того ж проаналізували вплив підвищеного навантаження на деформації та еквівалентні напруження. Для аналізу автори обрали кований гак Ramshorn Hook вантажопідйомністю 40 тон та обрали розміри відповідно до індійських стандартів. Комп'ютерну модель трапецієподібного гака Ramshorn побудували в програмному комплексі Solid Works. Цю модель було імпортовано в ANSYS Workbench для того, щоб знайти максимальне напруження та деформації за Мізесом. Побудовано всі варіаційні графіки та проаналізовано вплив підвищеного навантаження на напруження та деформації. Зроблено висновок, що гак Ramshorn з кованої сталі 45C8 підходить більше для необхідних умов експлуатації.

Автори у роботі [14] запропонували вдосконалення вантажних гаків, яке дозволяє зменшити масу на 7 % при збереженні механічних властивостей. Побудували модель для вивчення напружено-деформованого стану гака в умовах максимального навантаження. В елементах моделі автори представили розподілення напружень при різних варіантах навантажень з позначенням мінімального коефіцієнту запасу міцності K . На гак з отворами слід враховувати співвідношення параметрів отворів з характерним розміром зівга гака при розробці конструкторської документації.

В роботі [15] автори зробили аналіз та оптимізацію процесу кування гаків стрілочних замків, які використовуються на залізничному транспорті. Був розглянутий гак зі сталі 37MnSi5. У процесі кування на внутрішній стороні вигнутої деталі інколи виникає складка, що в деяких випадках призводить до можливих тріщин у готовій кований деталі і автори пропонують оптимізований розмір поковки і геометрію інструменту. Потім вони перевіряються моделюванням за допомогою програмного забезпечення Simufact Forming. Перед оптимізацією на практиці точність моделювання перевіряється за допомогою аналізу та порівняння результатів моделювання з реальним станом.

Авторами [16] були розглянуті 2-тонні ковани вантажні гаки, які розроблені так, щоб вони мали для застосування відповідний розмір, а також міцність, вартість, безпеку через застосування розробленого оптимального методу разом із методом найвищої ваги. Методологія розробки гака розділена на три етапи. Перший етап це створення вантажного гака за стандартом ISO 7597: 2013 (ковані сталеві гаки з засувкою, клас 8), який був початковим вантажним гаком. Методом скінчених елементів було проаналізовано осьове навантаження. Другий етап складався з аналізу оптимальної конструкції для розробки вантажного гака з вищим значенням безпеки. Третій етап полягав в аналізі результатів другого етапу методом найбільшої ваги для визначення розміру гака. Результати аналізу показали, що гак може знизити виробничу вартість матеріалів на 27,5 % за штуку зі збільшенням безпеки на 42,16 %.

В роботі [17] автори розглянули способи підвищення якості кування поковок високолегованих марок сталей та сплавів на гідропресах. Вплив на напружено-деформований стан металу є одним з основних способів керування якістю готової кованої продукції. В свою чергу на напружено-деформований стан металу впливають основні фактори форми, а саме форма злитку і форма інструменту. Також кінематичний фактор є одним з чинників, який впливає на розподіл напружено-деформованого стану металу, а саме кінематика впливу інструменту на заготовку. Ще один чинник, що впливає на напружено-деформований стан заготовки і мікроструктуру металу, це управління температурним полем заготовки при куванні. За рахунок збільшення часу додаткових кувальних операцій вигладжування, білетування, що займає більше 40 % від основного часу кування можливо збільшити точність розмірів і зниження підсумкової розмірної похибки. Отже, це призводить до збільшення часу непродуктивного використання номінальної потужності преса.

У роботі [18] автори навели детальний огляд аспектів кування і розглянули оптимізацію таких факторів, як умови кування, розміри заготовки, параметри термічної обробки, конструкція інструменту, властивості мастила, які підвищують довговічність інструменту та якість продукції кування. Розглянули метод вимірювання якості поверхні кованих виробів та вибір матеріалу інструменту для кування. Цей огляд є корисним, щоб покращити якість кованих виробів при виконанні технологічному процесу.

В роботу [19] Розглянуто вплив симетричного та несиметричного процесів кування на однорідність величин деформацій по всьому поперечному перерізі поковки. Дослідження стану тривісної деформації проведено авторами теоретично, а результати перевірили в лабораторних умовах. В наслідок цих випробувань автори пропонують відповідну групу інструментів для кування поковок та встановили значення основних технологічних параметрів кування.

Автор роботі [20] розглянуті основні фактори, що впливають на якість сталевих поковок, а саме розмір зерна, мікроструктурні смуги, загартованість, міцність на розтягування, кручення, характеристики втоми, в'язкість до руйнування, термічна обробка, ультразвукова перевірка, поверхневі дефекти і інше. Автор вважає, що контроль за якістю від сировини до кінцевої стадії готового виробу є гарантованим засобом для уникнення небажаних і несподіваних дефектів. Також автор стверджує що удосконалення кування сучасних поковок з вуглецевої та легованої сталі є безперервним процесом.

Дослідження якості кування гаків. При аналізі основних технологічних операцій, які забезпечують формування якості кованих гаків з'ясувалось, що основними операціями формозміни при їх виробництві є операції осаджування та протягування. Ці операції застосовуються для формування якості великовантажних кованих гаків при використанні зливка в якості вихідної заготовки. При цьому саме при виконанні осаджування та протягування відбувається максимальна формозміна, яка необхідна для проробки литої структури зливка. Але до цього часу не відомо, а яким чином повинна бути відбуватися послідовність виконання осаджування та протягування і яким саме чином вони впливають на якість кованого гака. Як видно з виконаного аналізу існуючих досліджень – деякі автори вважають основною операцією осаджування, а деякі протягування. Тому за мету цього дослідження було взято два варіанта попередньої деформації заготовки кованого гака з послідовним аналізом їх впливу на якість кованого гака. Перший варіант – використання для деформації заготовки гака послідовне виконання операції осаджування та протягування (рис.1). Другий варіант – використання для деформації заготовки гака тільки операції протягування (рис.2). Для дослідження якості кування гаків нами був застосований метод прогнозування нерівномірності деформації металу в процесах кування [6]. Цей метод застосовують для прогнозування якості поковок і він заснований на визначенні об'ємної нерівномірності деформації при виконанні операцій осаджування та протягування. У перерізі поковки, який аналізують, знаходиться точка з максимальним значенням деформації. Далі стосовно цієї точки через центр перетину проводиться лінія. Взагалі по перетину проводяться чотири лінії разом з лінією, яка має точку з максимальним значенням деформації. Ці лінії мають бути розташовані під кутом 45° одна до одної. На кожному лінії наносять 6 контрольних точок. Ці точки мають бути симетрично нанесені до точки з максимальним

значенням та симетрично нанесені до центру перерізу. Потім за формулою розраховують показник нерівномірності деформацій K_n . Цей показник може приймати значення не більше одиниці, тому що максимальне значення показника нерівномірності деформації дорівнює 1. Якщо різні точки тіла мають однакове значення деформації, то ця деформація вважається рівномірною. Чим менше від одиниці значення показника нерівномірності деформації, тим більша нерівномірність деформації. Якщо якась ділянка металу не підлягає деформації, а сама знаходиться в перетині який розглядається, то показник нерівномірності деформації має мінімальне значення K_n і дорівнює нулю.

Моделювання цих процесів виконали в програмному комплексі QForm, який застосовують у дослідженнях для моделювання, аналізу та оптимізації процесів обробки тиском. QForm дозволяє задовільнити основні потреби в моделюванні процесів обробки металів тиском і забезпечує високу надійність [21].

Спочатку були побудовані 3D-моделі для схем осаджування та протягування. Далі ці 3D-моделі імпортували в програму QForm і налаштували всі необхідні параметри для моделювання цих процесів. Проведено дослідження процесу осаджування, а потім протягування заготовки та її напружено-деформований стан (рис. 1). Аналогічно проведено дослідження процесу протягування без осаджування заготовки та її напружено-деформований стан (рис. 2).

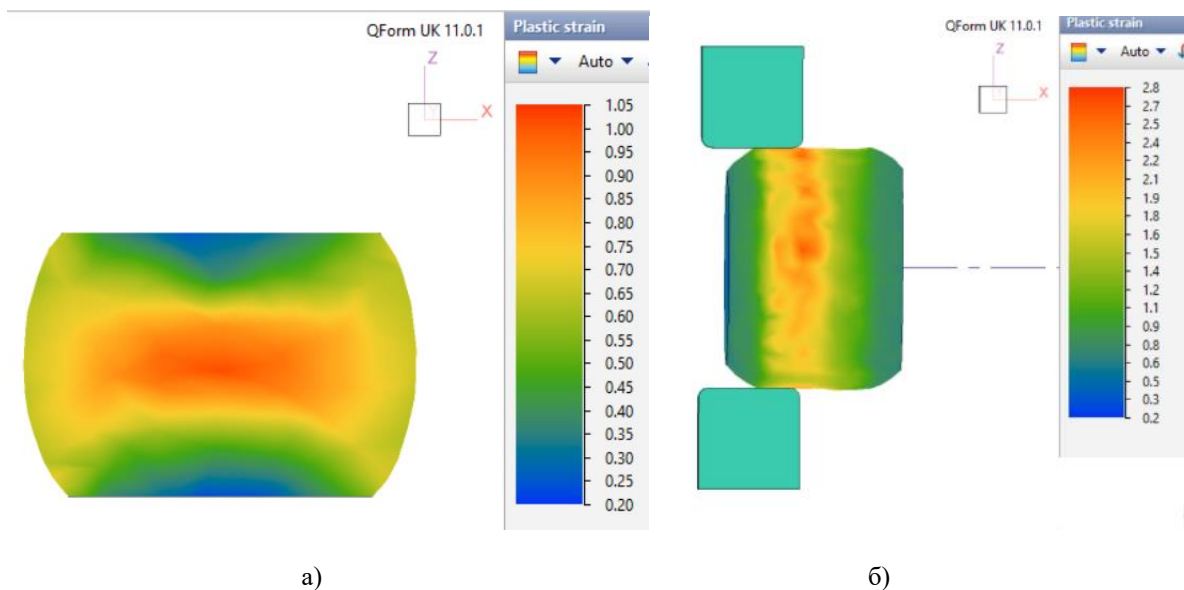


Рис. 1 – Схема пластичної деформації при послідовному виконанні осаджування(а) та протягування(б)

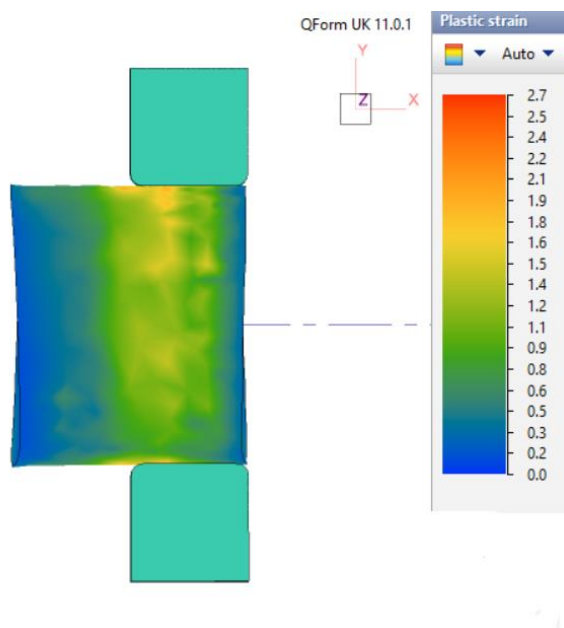


Рис. 2 – Схема пластичної деформації протягування без осаджування

Далі зробили аналіз методом прогнозування нерівномірності деформації металу при осаджуванні і протягуванні заготовки та при протягуванні без осаджування заготовки. Розрахували у двох випадках показник нерівномірності деформації заготовок в поперечному перерізі при протягуванні та побудували графіки нерівномірності деформацій (рис. 3).

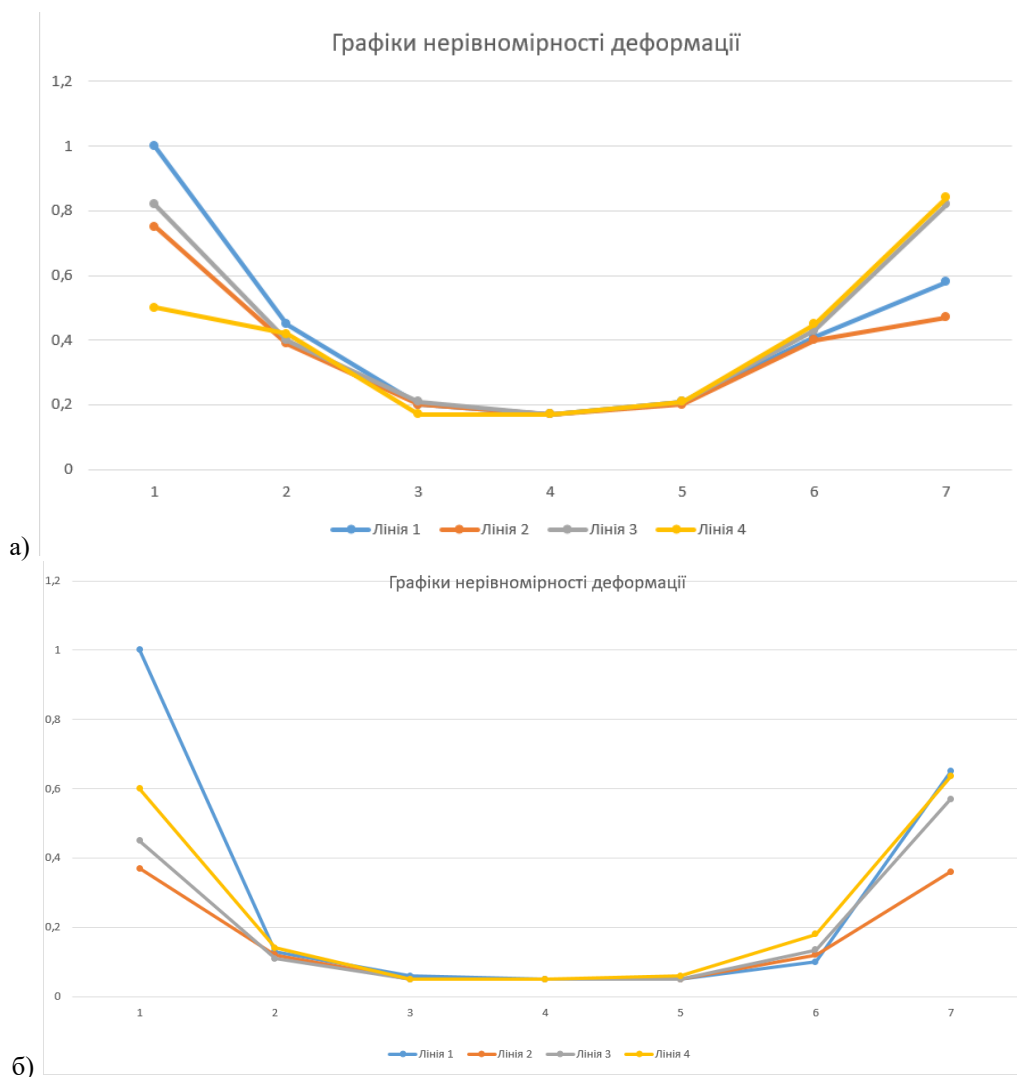


Рис. 3 – Графіки розподілу коефіцієнту нерівномірності деформації – при осаджуванні та протягуванні (а) та при протягуванні без осаджування (б)

Як видно з рис. 3а при осаджуванні і протягуванні нерівномірність деформації має максимальне значення 1, мінімальне значення 0,2. На рис.3б ми спостерігаємо, що при протягуванні без осаджування нерівномірність деформації має максимальне значення 1, мінімальне значення 0,05. Порівняння цих результатів показує, що при осаджуванні і протягуванні нерівномірність деформації стає меншою на 20 %, тобто менший розбіг між максимальним і мінімальним значенням показників, що забезпечує отримання більш якісної продукції кованих гаків.

Висновки.

В роботі виконано ретельний огляд літературних джерел, як з технології кування гаків, так і з якості отриманої продукції. Розглянуто основні технологічні операції кування і їх вплив на якість кованих гаків. Визначено, що основними технологічними операціями кування, які зумовлюють якість кованих гаків є осаджування та протягування та послідовність їх виконання.

Проведено моделювання процесу осаджування з послідовним протягуванням заготовки з аналізом деформованого стану методом прогнозування нерівномірності деформації. Також зроблено аналіз методом прогнозування нерівномірності деформації металу при протягуванні без осаджування заготовки. Розрахували у двох випадках показник нерівномірності деформації заготовок в поперечному перерізі при протягуванні та побудували графіки нерівномірності деформацій. Результати розрахунків показали, що виконання саме

послідовного осаджування та протягування забезпечує меншу нерівномірність деформації заготовки, а це зумовлює підвищення якості ковального гаку великої вантажопідйомності.

Список літератури:

1. Вплив форми ковального однорогого гаку на його ефективність / Г. Д. Портнов, А. А. Тихий, В. В. Дарієнко, В. В. Пукалов // Центральноруський науковий вісник. Технічні науки : Зб. наук. пр. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – Вип. 4 (35). – с. 127 – 133.
2. Finite element modelling and static stress analysis of simple hooks, / M. Cuneyt Fetvacı, İsmail Gerdemeli, A. Burak Erdil // Expert Conference «Trends in the Development of Machinery and Associated Technology» TMT 2006, Barcelona – Lioret de Mar, Spain, 11-15 September 2006, page 797 – 800.
3. Investigation of the effect of the sling angle and size on the reliability of lifting hooks / Yusuf Aytac Onur // Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International 2018, Vol. 94(10) p. 931-942.
4. Основи творення машин / М.Я. Бучинський, О.В. Горик, А.М. Чернявський, С.В. Яхін (За редакцією О.В. Горика). – Харків : Вид-во «НТМТ», 2017. – 448 с.
5. An overview of forging processes with their defects /Mahendra G. Rathi, Nilesh A. Jakhade. // Government College of Engineering, Aurangabad, Maharashtra, India./International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 4, Issue 6, June 2014, page 1.
6. Розробка технологічної концепції проектування процесів кування з урахуванням впливу режиму деформування на якість поковок / В. Л. Чухліб, А. В. Ашкелянець, С. О. Губський, О. В. Петров, О. М. Дуванський, В. О. Палієнко, А. О. Окунь // Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Hydraulic machines and hydraulic units, no 1'2021, p. 95-103.
7. Удосконалення технології виготовлення крупних поковок на основі використання нового способу осадження / Марков О. Є., Злигорев В. М., Іванова Ю. О., Лагер О. О., Дорофєєв В. О. // Обработка материалов давлением. ISSN 2076-2151. УДК 621.735.3 21.01.2020 р. №1 (50) с. 91-97.
8. Розробка нового способу осадження крупних злитків / О. Є. Марков, В. М. Злигорев, О. В. Герасименко, Л. І. Алієва, Р. Ю. Житніков, С. В. Інчаков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії, №31 (1306), 2018, с.56-60.
9. Development and investigation of resources-saving process of shafts forging. / S. B. Kargin // Die forging, Metallurgical and Mining Industry, 2015, № 1, p. 33-36.
10. Development of Energy-saving Technological Process of Shafts Forging Weighing More Than 100 Tons without Ingot Upsetting / O. E. Markov, M. V. Oleshko, V. I. Mishina // Metallurgical and Mining Industry, 2011, Vol. 3, №7, p. 87-90.
11. Mechanical investigation of crane hook using AISI 4340 alloy steel with various proportions of vanadium / V Chandran, T Manvel Raj, N Lenin, A Subramanian // Journal of Automation and Automobile Engineering Volume 4 Issue 3, 2019, page 1-6.
12. Design and strength analysis of crane hook with a 500 kg lifting capacity / Denis Molnar, Miroslav Blatnický, Jan Dizo // Univerzita 8215/1,01026, Zilina, Slovakia, Perner's Contacts 16(2), 2021, 16.
13. Mechanical analysis of forged steel Ramshorn Hook – an experimental study / Bhagel Singh, Prabhat Singh // Materials Today: Proceedings, Volume 68, Part 4, 2022, Pages 1016-1021.
14. Підвищення ефективності конструкції ковального дворогого гаку / Г. Д. Портнов, А. А. Тихий, В. В. Дарієнко, В. В. Пукалов // Центральноруський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 5 (36), ч. 1, с. 86-97.
15. Numerical analysis and optimization of the hook forging process / Jan Rihacek, Jan Bartak, Kamil Podany, Michaela Cisarova, Eva Peterkova // MM Science Journal, 2021, June, p. 4356-4361.
16. Hook design loading by the optimization method with weighted factors rating method / Apichit Manee-ngam, Penyarat Saisirirat, Patpimol Suwankan // 2017 International conference on alternative energy in developing countries and emerging economics 2017 AEDCE, 25-26 may 2017, Bangkok, Thailand, p. 337-342.
17. Способи підвищення якості кування поковок високолегованих марок сталей та сплавів на гідропресах / А. Ю. Матюхін, І. А. Альфоров, Т. А. Стефаненко, О. В. Стефаненко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії, №12 (1337), 2019, с. 36-40.
18. A systematic review of factors affecting the process parameters and various measurement techniques in forging process / Shrutika Sharma, Mayank Sharma, Vishal Gupta, Jaskaran Singh // Steel research international, Volume 94, Issue 5, May 2023, p. 352.
19. Effect of symmetrical and asymmetrical forging processes on the quality of forged products / H. Dyja, G. Banaszek, S. Berski, S. Mroz // Journal of Materials Processing Technology, Volumes 157-158, 20 December 2004, Pages 496-501.
20. Metallurgical integrity for economic production of quality steel forgings for advanced applications / V Divakar Rao // Materials today: Proceedings, Volume 39, Part 4, 2021, Pages 1434-1439.
21. Qform UK. URL: <https://www.qform3d.com/> (accessed June 01, 2023).

Bibliography (transliterated):

1. Vplyv formy kovanoho odnorohoho haka na yoho efektyvnist' / H. D. Portnov, A. A. Tykhyy, V. V. Dariyenko, V. V. Pukalov // Tsentral'noukrayins'kyu naukovyy visnyk. Tekhnichni nauky : Zb. nauk. pr. – Kropyvnyts'kyu : TSNTU, 2021. – Vyp. 4 (35). – s. 127 – 133.
2. Finite element modelling and static stress analysis of simple hooks, / M. Cuneyt Fetvacı, İsmail Gerdemeli, A. Burak Erdil // Expert Conference «Trends in the Development of Machinery and Associated Technology» TMT 2006, Barcelona – Lioret de Mar, Spain, 11-15 September 2006, page 797 – 800.
3. Investigation of the effect of the sling angle and size on the reliability of lifting hooks / Yusuf Aytac Onur // Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International 2018, Vol. 94(10) p. 931-942.
4. Osnovy tvorennya mashyn / M.YA. Buchyns'kyu, O.V. Horyk, A.M. Chernyavs'kyu, S.V. Yakhin (Za redaktsiyeyu O.V. Horyka). – Kharkiv : Vyd-vo «NTMT», 2017. – 448 s.
5. An overview of forging processes with their defects /Mahendra G. Rathi, Nilesh A. Jakhade. // Government College of Engineering, Aurangabad, Maharashtra, India./International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 4, Issue 6, June 2014, page 1
6. Rozrobka tekhnolohichnoyi kontseptsiyi proektuvannya protsesiv kuvannya z urakhuvannyam vplyvu rezhymu deformuvannya na yakist' pokovok / V. L. Chukhlib, A. V. Ashkelyanets', S. O. Hubs'kyu, O. V. Petrov, O. M. Duvans'kyu, V. O. Paliyenko, A. O. Okun' // Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Hydraulic machines and hydraulic units, no 1'2021, p. 95-103.
7. Udoskonalennya tekhnolohiyi vyhotovlennya krupnykh pokovok na osnovi vykorystannya novoho sposobu osadzhennya / Markov O. YE., Zlyhoryev V. M., Ivanova YU. O., Laher O. O., Dorofeyev V. O. // Obrabotka materialov davlenyem. ISSN 2076-2151. UDK 621.735.3 21.01.2020 r. №1 (50) s. 91-97.
8. Rozrobka novoho sposobu osadzhennya krupnykh zlytkiv / O. YE. Markov, V. M. Zlyhoryev, O. V. Herasymenko, L. I. Aliyeva, R. YU. Zhytnikov, YE. V. Inchakov // Visnyk NTU «KHPI». Seriya: Innovatsiyni tekhnolohiyi ta obladnannya obrobky materialiv u mashynobuduvanni ta metalurhii, №31 (1306), 2018, s.56-60.

9. Development and investigation of resources-saving process of shafts forging. / S. B. Kargin // Die forging, Metallurgical and Mining Industry, 2015, № 1, p. 33-36.
10. Development of Energy-saving Technological Process of Shafts Forging Weighing More Than 100 Tons without Ingot Upsetting / O. E. Markov, M. V. Oleshko, V. I. Mishina // Metallurgical and Mining Industry, 2011, Vol. 3, №7, p. 87-90.
11. Mechanical investigation of crane hook using AISI 4340 alloy steel with various proportions of vanadium / V Chandran, T Manvel Raj, N Lenin, A Subramanian // Journal of Automation and Automobile Engineering Volume 4 Issue 3, 2019, page 1-6.
12. Design and strength analysis of crane hook with a 500 kg lifting capacity / Denis Molnar, Miroslav Blatnický, Jan Dizo // Univerzita 8215/1,01026, Zilina, Slovakia, Perner's Contacts 16(2), 2021, 16.
13. Mechanical analysis of forged steel Ramshorn Hook – an experimental study / Bhagel Singh, Prabhat Singh // Materials Today: Proceedings, Volume 68, Part 4, 2022, Pages 1016-1021.
14. Pidvyshchennya efektyvnosti konstruktivnoy kovanoho dvorohoho haka / H. D. Portnov, A. A. Tykhyy, V. V. Dariyenko, V. V. Pukalov // Tsentral'noukrayins'kyi naukovyy visnyk. Tekhnichni nauky. 2022. Vyp. 5 (36), ch. 1, s. 86-97
15. Numerical analysis and optimization of the hook forging process / Jan Rihacek, Jan Bartak, Kamil Podany, Michaela Cisarova, Eva Peterkova // MM Science Journal, 2021, June, p. 4356-4361.
16. Hook design loading by the optimization method with weighted factors rating method / Apichit Manee-ngam, Penyarat Saisirirat, Patpimol Suwankan // 2017 International conference on alternative energy in developing countries and emerging economics 2017 AEDCE, 25-26 may 2017, Bangkok, Thailand, p. 337-342.
17. Sposoby pidvyshchennya yakosti kuvannya pokovok vysokolehovanykh marok staley ta splaviv na hidropresakh / A. YU. Matyukhin, I. A. Al'forov, T. A. Stefanenko, O. V. Stefanenko // Visnyk NTU «KHPI». Seriya: Innovatsiyni tekhnolohiyi ta obladnannya obrobky materialiv u mashynobuduvanni ta metalurhiyi, №12 (1337), 2019, s. 36-40.
18. A systematic review of factors affecting the process parameters and various measurement techniques in forging process / Shrutika Sharma, Mayank Sharma, Vishal Gupta, Jaskaran Singh // Steel research international, Volume 94, Issue 5, May 2023, p. 352.
19. Effect of symmetrical and asymmetrical forging processes on the quality of forged products / H. Dyja, G. Banaszek, S. Berski, S. Mroz // Journal of Materials Processing Technology, Volumes 157-158, 20 December 2004, Pages 496-501.
20. Metallurgical integrity for economic production of quality steel forgings for advanced applications / V Divakar Rao // Materials today: Proceedings, Volume 39, Part 4, 2021, Pages 1434-1439.
21. Qform UK. URL: <https://www.qform3d.com/> (accessed June 01, 2023).

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.

Колісник Костянтин Дмитрович (Kolisnyk Kostiantyn) - 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: kolesnik2195@gmail.com.