

УДК 621.863.2

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4\(35\).127-133](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4(35).127-133)

Г. Д. Портнов, доц., канд. техн. наук, А. А. Тихий, доц., канд. техн. наук,
В. В. Дарiєнко, доц., канд. техн. наук, В. В. Пукалов, доц., канд. техн. наук
Центральнорайський нацiональний технiчний унiверситет, м. Кропивницький,
Україна
e-mail: budkom999@gmail.com

Вплив форми кованого однорогого гака на його ефективність

Виконано аналіз геометричних параметрів вантажного кованого однорогого гака. Обґрунтовано конструктивні параметри виробу шляхом дослідження напруженого стану твердотільної моделі гака. Запропонована лiнійка вантажних гаків зi змiненою формою перерiзiв, яка теоретично дозволяє зменшити масу на 10% при збереженнi вантажопiдйомностi. Запропонована заміна прямолiнійних сторiн трапецiї перерiзiв на криволiнійнi.

вантажних гак, iнженерний аналіз, модель, показник ефективностi використання матерiалу

Постановка проблеми. Вантажнi гаки застосовуються при виконаннi вантажно-розвантажувальних робiт як унiверсальнi вантажозахоплювальнi пристрої.

В бiльшостi вантажопiдймальних машинах i механiзмах знаходять застосування кованi (штампованi) гаки. Кованi i штампованi гаки подiляють на однорогi i дворогi. Їх виготовляють куванням або штампуванням. Застосування литих сталевих гаків обмежено, однак з розвитком засобів дефектоскопiї їх застосування стає перспективним.

Гаки за ГОСТ 6627-76 [1, чинний] при стандартних навантаженнях мають значну масову частину мало навантажених дiлянок. Виходячи з технологiчних умов виготовлення показники ефективностi використання матерiалу гака можуть бути суттєво полiпшенi за рахунок змiни форм перерiзiв. Показники ефективностi використання матерiалу гака можуть бути полiпшенi при збереженнi розмiрiв частин поверхонь гака, якi взаємодiють з вантажними елементами.

Аналіз останнiх досліджень i публiкацiй. Обґрунтування необхідностi iнженерного аналізу конструкцiй гаків вантажопiдймальних машин, що випускаються в Україні, виконали О. В. Григоров, Е. І. Сердюков, Л. М. Степочкин [7, 8].

Випуск i застосування вантажопiдймальних гаків в Україні регламентується нормативними документами, розробленими бiльше 40 рокiв тому [1, 2, 3].

В той же час при експлуатацiї закордонної вантажопiдймальної технiки використовуються крановi гаки, виконанi за стандартами DIN [4, 5, 6].

Порiвняння стандартiв показує, що при рiвнiй вантажопiдйомностi при однакових класах i групах класифiкацiї розмiрно-масовi характеристики виробiв вiдрiзняються в рази, причому не у всiх випадках на користь гаків, виконаних по ГОСТ [8].

У дослідженнях [8] обґрунтована перспективнiсть удосконалення розрахункiв гаків з урахуванням використання пластичних властивостей матерiалу i опору втоми. Вiдзначається, що створення i впровадження нових методiв розрахунку гаків може забезпечити значне зменшення їх маси. Важливими резервами економiї є оптимiзацiя розмiрiв стандартизованих гаків i використання для їх виготовлення легованих сталей.

Постановка завдання. Приведені факти вказують на актуальність проведення аналізу вантажопідіймальних гаків, які випускаються в Україні, зокрема однорогих гаків ГОСТ 6627-74 [2] з метою визначення можливості вдосконалення конструкції.

Виклад основного матеріалу. Основним фактором ефективності гака є його форма, яка обумовлює зв'язок маси з напружено – деформованим станом (НДС) конструкції. У стандартних гаках вертикальні і горизонтальні розрахункові поперечні перерізи зіву гака однакові (рис. 1а).

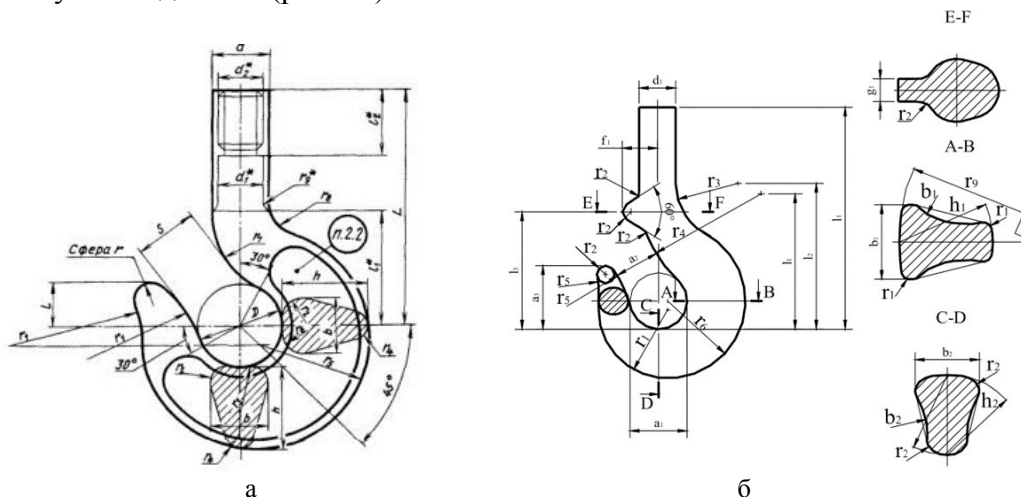


Рисунок 1 – Форми перерізів гаків: а – гак ГОСТ 6627-74 (заготовка); б – гак DIN 15401 форми RSN
Джерело: [2,5]

Згідно міжнародних стандартів у гаках по DIN 15401 (рис. 1б) горизонтальний поперечний переріз, де діє максимальний згинальний момент, істотно більше вертикального, а переріз зіву плавно збільшується від вертикального до горизонтального. Експлуатаційні випробування свідчать, що форма гака повинна забезпечити його мінімальну масу при достатній міцності, по можливості однаковій по всіх перерізах при виконанні умов експлуатації та технології виготовлення. Вихідним розміром при конструюванні однорогого гака є діаметр зіву D (рис. 1а), який приймають з урахуванням умов розміщення в ньому двох гілок прядив'яного канату або зварного ланцюга. Передбачається, що досвід експлуатації стандартизованих гаків визначив ергономічність поверхонь, які контактують зі стропильним обладнанням.

Виявлено, що контури верхньої і нижньої частин перерізів гаків змінюються. Геометричні співвідношення розмірів перерізу гаків, а також нарізної частини можна вважати визначеними теоретично і експериментально як оптимальні.

Суттєвими є зміни параметрів бокових поверхонь четвертого квадранта криволінійної частини гака.

Сучасні CAD комплекси (SOLIDWORKS, CREO) дозволяють обґрунтувати параметри гаку шляхом побудови твердотільної моделі за ГОСТ6627-75 [1, чинний], визначення її НДС (статичний аналіз), візуалізації розподілення напружень [9, 11]. Вивчення картини розподілення напружень дало можливість запропонувати форми перерізів з подальшим розрахунком НДС знов створеної моделі. Представлені результати геометричних параметрів вантажного кованого однорогого гака ГОСТ 6627-74, № 26. НДС моделі досліджувався для двох варіантів навантаження (рис. 2):

- вага вантажу G прикладена в центрі зіву гака (рис. 2а);
- вага вантажу G_{sp} розподілена між двома похилими стропами під кутом $\alpha = 45^\circ$ (рис. 2б).

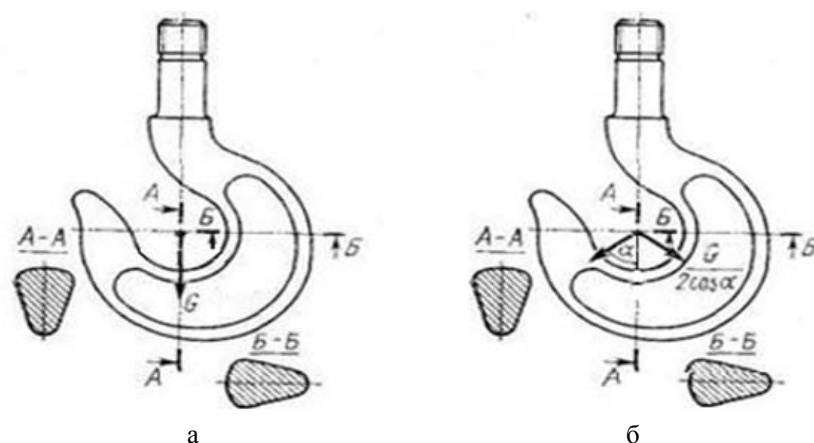


Рисунок 2 – Схеми навантаження гака: а – одна стропа; б – дві стропи

Джерело: [2]

Подано кріплення моделі: фіксований торець хвостовика. При дистанційно прикладеному навантаженні на відстані 1000 мм від вантажної грані гака (рис. 3).

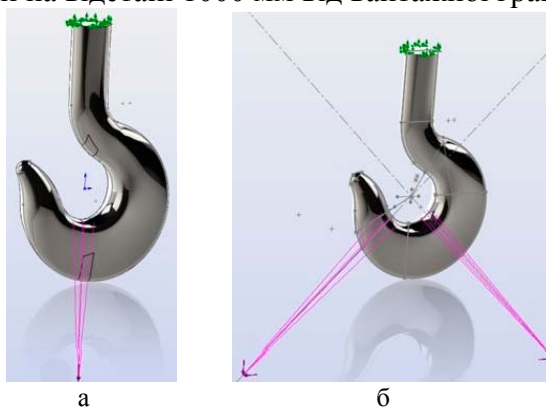


Рисунок 3 – Дистанційне навантаження моделі: а – схема 1; б – схема 2

Джерело: розроблено автором

Значення навантаження G обиралося як таке, що призводить до максимальних напружень в моделі стандартного гака при $\sigma = 220$ МПа; (ГОСТ 2105 [1, чинний] вимагає (п. 1.4), щоб гаки після кування і штампування були нормалізовані. Межа текучості після нормалізації - 220-250 МПа). З використанням САД комплексу SOLIDWORKS, створена візуалізація (рис. 4) найбільш навантажених елементів гака та виділені елементи, навантажені менше 25% від $\sigma_m = 220$ МПа.

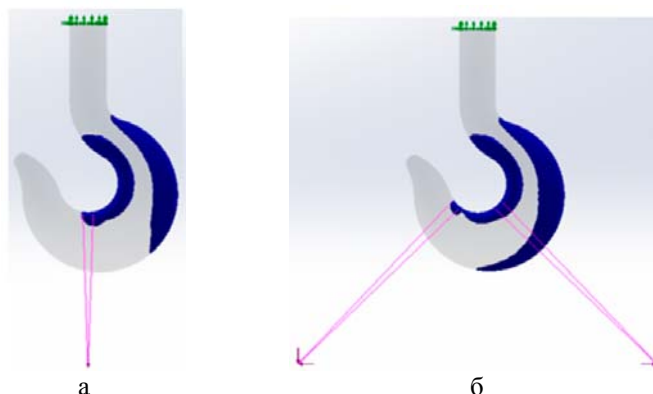


Рисунок 4 – Картина візуалізації напружень моделі: а – схема 1 (рис.2); б – схема 2

Джерело: розроблено автором

Аналіз картини розподілення напружень в тілі гака дає підстави для вибору шляху оптимізації конструкції в напрямку зміни контурів екваторіального і, переважно, меридіонального перерізів четвертого квадранта контуру гака. Запропонована зміна контуру здійснюється заміною прямолінійних сторін трапеції перерізів (рис. 5а) на криволінійні (рис. 5б).

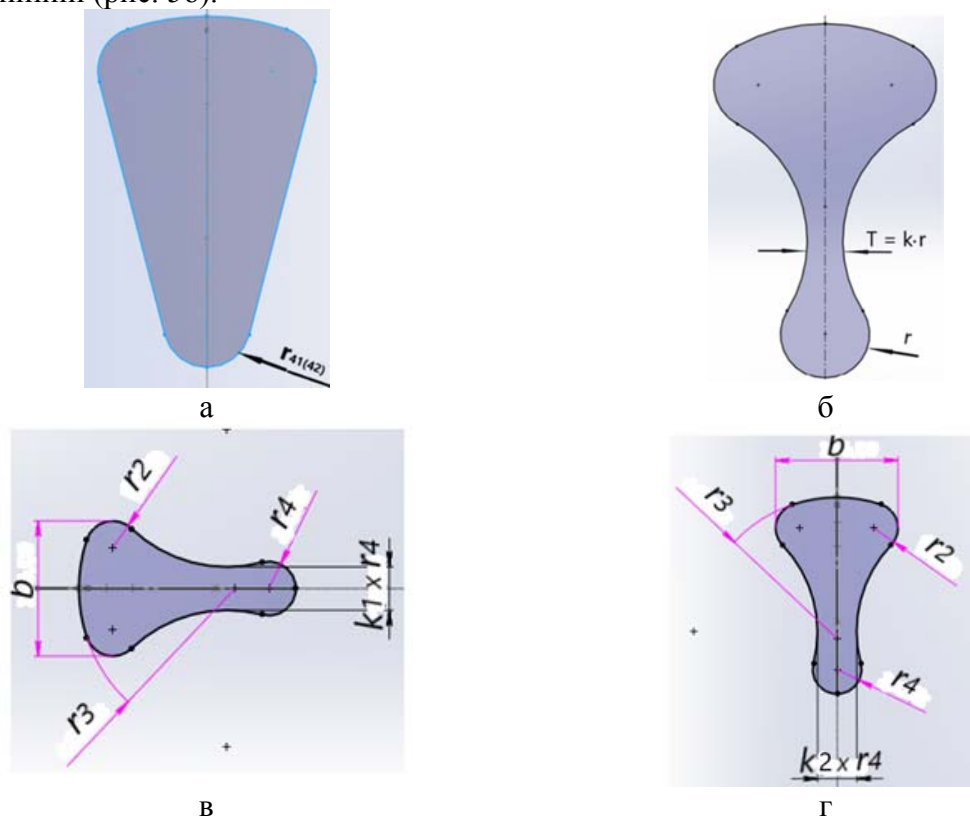


Рисунок 5 – Форми перерізів: а – стандартні прямолінійні сторони; б – криволінійні; в – екваторіальний переріз; г – меридіональний переріз

Джерело: розроблено автором

Керуючим параметром зміни контуру обрана товщина стінки T , пов'язана з класом складності поковки. Позначення товщини стінок екваторіального перерізу Б-Б (рис. 2а) $T_1 = k_1 \cdot r_4$ (рис. 5 в) та меридіонального перерізу А-А (рис. 5 г) $T_2 = k_2 \cdot r_4$, де k_1, k_2 - безрозмірні коефіцієнти.

Ефективність конструкції визначалася відношенням G/M , де G - мінімальне значення за одним з варіантів навантаження; M - маса моделі. Для гака №26 ГОСТ 6627-74 отримане значення $G/M = 148 \text{ кг/кг}$. Результати чисельних експериментів з навантаженням гаків з різними комбінаціями перерізів представлені графіками рис. 6.

При аналізі гака ГОСТ 6627-74 [2,чинний], що містить 26 конфігурацій виникає питання подібності. Постає потреба параметризації моделі з вирішенням завдання щодо застосування на основі однієї дослідженої конфігурації на всю лінійку виробів.

Відповідно до теорії подібності твердих тіл [11], стан працюючих в межах пружності, навантаження G в подібних елементах знаходяться в певному зв'язку з характерним параметром A , який визначає співвідношення розмірів:

$$G \sim A^2. \quad (1)$$

Маса подібних елементів:

$$M \sim A^3. \quad (2)$$

Геометричні співвідношення розмірів перерізу гаків $h \approx D$; $b \approx 3b_1$; $D \approx h$ [7], тому можна прийняти:

$$A \sim D. \quad (3)$$

Тоді співвідношення показника ефективності гака G/M до його характерного розміру D :

$$\frac{G}{M} \sim \frac{1}{D}. \quad (4)$$

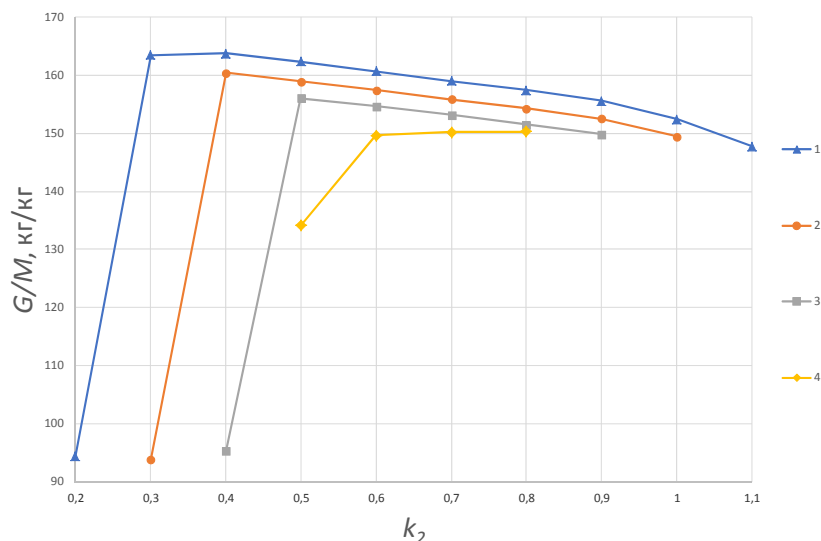


Рисунок 6 – Графіки залежності ефективності витрати матеріалу гака G/M від параметрів товщини стінки перерізів k : 1- k_1 стандартного гаку; 2- $k_1=1$; 3- $k_1=0,9$; 4- $k_1=0,8$.

Джерело: розроблено автором

Графіки (рис. 7) зв'язку показника ефективності гака G/M моделей гаків ГОСТ з діаметром зіву D побудовано за даними навантажень конфігурацій параметризованої моделі гака ГОСТ 6627-74 [2, чинний].

Ступенева залежність лінії тренду $y = 31900x^{-0,94}$ відповідає співвідношенню (4).

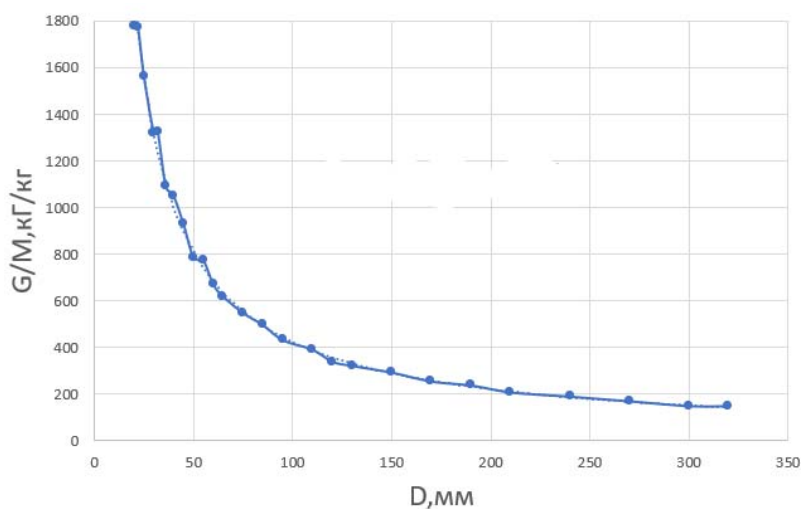


Рисунок 7 – Зв'язок показника ефективності гака G/M моделей гаків ГОСТ з діаметром зіву D
Джерело: розроблено автором

Розташування показників відповідає прогнозу (практично співпадає з лінією тренду). Викиди значень точок, які відповідають гакам № 1, 2, 4, 5, 9, 10 [1] пов'язані з призначенням дискретних значень нарізі хвостовика.

Ступенева залежність лінії тренду, вказана в полі графіка відповідає співвідношенню (4).

Рекомендації, запропоновані на основі вивчення однієї конфігурації моделі, можуть бути поширені на інші конфігурації з врахуванням технології виготовлення виробу.

Висновки:

1. Отримані картини розподілення напружень в тілі гака дають можливість вибору шляху оптимізації конструкції в напрямку зміни контурів екваторіального і меридіонального перерізів четвертого квадранта контуру гака. Запропонована зміна контуру здійснюється заміною прямолінійних сторін трапеції перерізів на криволінійні.

2. Наведено НДС з візуалізацією та розподіленням напружень, обґрунтовані параметри гаку шляхом побудови твердотільної моделі в САД комплексі Solidworks. Вивчення картини розподілення напружень дало можливість запропонувати форми перерізів з подальшим розрахунком НДС створеної моделі.

3. Ефективність витрати матеріалу внаслідок проведеної оптимізації підвищується на 10,8% без зменшення вантажопідйомності. При цьому зміни в максимальному переміщенні в запропонованій моделі незначні (2,55 мм проти 2,33 мм в моделі гака №26 ГОСТ2105-75).

Список літератури

1. ГОСТ 2105-75. Крюки кованые и штампованные. Технические условия [Чинний від 1976-01-01]. Москва, 1975. 7 с. (Информационные данные).
2. ГОСТ 6627-74. Крюки однорогие. Заготовки. Типы. Конструкции и размеры. [Чинний від 1976-01-01]. Москва, 1974. 7 с. (Информационные данные).
3. ГОСТ 6628-73. Крюки двурогие. Заготовки. Типы. Конструкции и размеры. [Чинний від 1975-01-01]. Москва, 1973. 8 с. (Информационные данные).
4. DIN 15400/06.90 Lasthaken für Hebezeuge; Mechanische Eigenschaften, Werkstoffe, Tragfähigkeiten und vorhandene Spannungen (DIN 15400/06.90 Грузовые крюки для подъемных устройств. Механические свойства, материалы, грузоподъемности и действительные напряжения). [Чинний від 1990-06-01]. 1990. 9 с.
5. DIN 15401/11.82 Teil 1 Lasthaken für Hebezeuge; Einfachhaken; Rohteile (DIN 15401/11.82 Часть 1 Грузовые крюки для подъемных устройств. Однорогие крюки. Заготовки).
6. DIN 15401/09.83 Teil 2 Lasthaken für Hebezeuge; Einfachhaken; Fertigteile mit Gewindschaft (DIN 15401/09.83 Часть 2 Грузовые крюки для подъемных устройств. Однорогие крюки. Обработанные детали с резьбовым хвостовиком).
7. A. Devaraj. Design of a Crane Hook of Different Materials and Stress Analysis Using ANSYS workbench. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), 2015. Vol. 03, № 7. P. 89–93. URL: https://www.academia.edu/24639307/design_and_analysis_of_crane_hook_with_different_material (дата звернення: 10.03.2021).
8. Григоров О.В., Сердюков Э.И., Степочкин Л.М. О возможности применения в Украине кованых (штампованных) крюков, изготавливаемых по европейским стандартам. Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. 2007. Вып. 38. С. 1–7.
9. M. M. Zade. Finite Element Analysis and Fatigue Analysis of Crane Hook With Different Materials. *Irjet*. 2017. Vol. 04, № 1, P. 1429–1436. URL: <https://www.irjet.net/archives/V4/i1/IRJET-V4I1259.pdf>.
10. Delcam. Delcam PowerShape : веб-сайт URL: <http://www.delcam.nl/products/powershape/powershape.htm> (дата звернення: 10.03.2021).
11. Delcam. Delcam PowerMill : веб-сайт URL: <http://www.delcam.nl/products/powermill/powermill.htm> (дата звернення: 12.03.2021).

Referencis

1. Kryuki kovanyye i shtampovannyye. Tekhnicheskiye usloviya [*Forged and stamped hooks. Specifications*], (1975). *GOST 2105-75 from 01 January 1976*. Moskva [in Russian].

2. Kryuki odnorigiye. Zagotovki. Tipy. Konstruktsii i razmery [*One-horned hooks. Blanks. Types. Designs and dimensions*], (1974). GOST 6627-74 from 01 January 1976. Moskva [in Russian].
3. Kryuki dvurogiye. Zagotovki. Tipy. Konstruktsii i razmery [*The hooks are two-horned. Blanks Types. Designs and dimensions*], (1973). GOST 6627-73 from 01 January 1975. Moskva [in Russian].
4. Lasthaken für Hebezeuge; Mechanische Eigenschaften, Werkstoffe, Tragfähigkeiten und vorhandene Spannungen [*Load hooks for hoists; Mechanical properties, materials, load capacities and existing stresses*], (1990). DIN 15400/06.90 from 01 June 1990. Berlin [in German].
5. Teil 1 Lasthaken für Hebezeuge; Einfachhaken; Rohteile [*Part 1 load hook for hoists; Single hook; Raw parts*], (1982). DIN 15401/11.82 from 01 November 1982. Berlin [in German].
6. Teil 2 Lasthaken für Hebezeuge; Einfachhaken; Fertigteile mit Gewindenschaft [*Part 2 load hook for hoists; Single hook; Finished parts with threaded shank*], (1983). DIN 15401/09.83 from 01 September 1983. Berlin [in German].
7. A. Devaraj. (2015). Design of a Crane Hook of Different Materials and Stress Analysis Using ANSYS workbench. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, Vol. 03, № 7. P. 89–93. Retrieved from https://www.academia.edu/24639307/design_and_analysis_of_crane_hook_with_different_material [in English].
8. Grigorov, O.V., Serdyukov, E.I. & Steepochkin, L.M. (2007). O vozmozhnosti primeneniya v Ukraine kovanykh (shtampovanykh) kryukov, izgotavlivayemykh po yevropeyskim standartam [*On the possibility of using forged (stamped) hooks made according to European standards in Ukraine*]. Vestnik KHNADU: Sbornik nauchnykh trudov, Vol. 38, 1–7 [in Russian].
9. M. M. Zade. Finite Element Analysis and Fatigue Analysis of Crane Hook With Different Materials. *Irjet*. 2017. Vol. 04, № 1, P. 1429–1436. Retrieved from <https://www.irjet.net/archives/V4/i1/IRJET-V4I1259.pdf> [in English].
10. Delcam. Delcam PowerShape. Retrieved from <http://www.delcam.ni/products/powershape-/powershape.htm> [in English].
11. Delcam. Delcam PowerMill. Retrieved from <http://www.delcam.ni/products/powermill/powermill.htm> [in English].

Gennadii Portnov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Andrii Tykhyi**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Viktor Darienko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Viktor Pukalov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Influence of the Shape of a Forged Unicorn Hook on its Efficiency

The article analyzes the cargo forged unicorn hook. The design parameters of the product are substantiated by building a solid model of the hook. The line of cargo hooks with the changed form of sections which theoretically allows to reduce weight by 10% at preservation of loading capacity is offered. Comparison of standards shows that at equal loading capacity at identical classes and groups of classification the size and mass characteristics of products differ in times, and not in all cases in favor of standard hooks.

Operational tests show that the shape of the hook must ensure its minimum weight with sufficient strength, if possible the same in all sections when the operating conditions and manufacturing technology. It was found that the contours of the upper and lower parts of the cross sections of the hooks are not subject to change. The geometric ratios of the cross-sectional dimensions of the hooks, as well as the threaded part can be considered determined theoretically and experimentally as optimal. Changing the contour is carried out by replacing the rectilinear sides of the trapezoid sections with curved ones. The obtained pictures of stress distribution in the hook body make it possible to choose the path of design optimization in the direction of changing the contours of the equatorial and meridional sections of the fourth quadrant of the hook contour. The proposed change of the contour is carried out by replacing the rectilinear sides of the trapezoidal sections with curved ones. The stress-strain state with visualization and stress distribution is presented, the parameters of the hook are substantiated by building a solid model in the CAD complex Solidworks.

The study of the stress distribution pattern made it possible to propose cross-sectional shapes with the subsequent calculation of the stress-strain state of the created model. Material consumption efficiency due to the optimization increases by 10.8% without reducing the load capacity. The changes in the maximum displacement in the proposed model are insignificant (2.55 mm vs. 2.33 mm in the model GOST 2105-75). Recommendations proposed based on the study of one model configuration can be extended to others, taking into account the technology of manufacturing the product.

load hook, engineering analysis, solid model, material efficiency indicator

Одержано (Received) 06.04.2021

Прорецензовано (Reviewed) 12.04.2021

Прийнято до друку (Approved) 26.04.2021