

133 ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.875.56

doi: 10.31498/2225-6733.47.2023.300052

© Суглобов В.В.¹, Лаврик В.П.², Шишкін В.В.³**СИЛОВИЙ РОЗРАХУНОК КЛІЩОВОГО ЗАХОПЛЮВАЧА
І НОВА КОНСТРУКЦІЯ КЕРНІВ КОЛОДЯЗНОГО КРАНУ**

В прокатних цехах металургійних підприємств, пов'язаних з переробкою сталевих злитків у заготівлі (слябінгах, блюмінгах), застосовуються колодязні крани з кліщовими захоплювачами. Такі крани працюють у відділеннях нагрівальних колодязів, де використовуються, насамперед, для посадки зливків у колодязі і видачі їх у прокатку після нагрівання. Крім того, крани можуть застосовуватись для здійснення допоміжних операцій з обслуговування колодязів і ремонту обладнання. При конструкторському опрацюванні кліщових захоплювачів таких кранів виникає необхідність у визначенні зусиль затискання зливка, які в даному захоплюючому пристрої пов'язані з вагою самого зливка і вагою кліщів крана. Крім того, велике значення мають конструктивні особливості самої зони затискання, тобто конструкція деталей, які передають затискні зусилля на зливочок. Ці деталі зветься кернами. Зрозуміло, що зусилля затискання і конструкція кернів повинні гарантувати надійне утримання та безпечне переміщення зливка. В процесі експлуатації крана керни зазнають широкого спектру навантажень: ударні, стискаючі, зминаючі навантаження від удару. При цьому, перебуваючи у контакті з розігрітим зливком, вони ж самі розігріваються до цієї ж температури. А через те, що їх періодично охолоджують у баках з водою, вони працюють ще й в умовах циклічних тепловмінь. Конструкція і фізичний стан кернів мають велике значення для надійності роботи кліщового захоплювача. Несвоєчасна заміна кернів може призвести до негативних наслідків під час утримання зливка, стати причиною його обриву з руйнуванням колодязя, пошкодженням підлогового обладнання і небезпекою для обслуговуючого персоналу. В роботі на основі виконаного силового розрахунку кліщового захоплювача і аналізу переваг і недоліків сучасних конструкцій кернів запропоновані кілька варіантів нових, більш ефективних конструкцій. Авторами була створена математична модель взаємодії керна і зливка для перевірки глибини проникнення керна в тіло зливка і порівняно її з показниками відомих кернів. Встановлено, що при температурах видачі зливків маємо глибину проникнення в тіло зливка для кернів нової конструкції в 4 рази менше, а ніж для звичайних конусних кернів. Використання цих конструкцій дозволить забезпечити надійність роботи захоплювача при одночасному покращенні якості заготовки за рахунок зменшення кількості тріщин і закатів, пов'язаних з пошкодженням граней зливка від глибокого вдавлення кернів.

Ключові слова: колодязний кран, кліщовий захоплювач, затискні зусилля, керни кліщовин, форма кернів, надмірне вдавлення, гарантоване захоплення.

V.V. Suglobov, V.P. Lavryk, V.V. Shishkin. Force calculation and new design of the grip unit pliers metallurgical crane. In the rolling shops of metallurgical enterprises connected with the processing of steel ingots in the preparation (slabbing, blooming) well taps with pincer grabbers are used. Such cranes work in the sections of heating wells, where they

¹ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-1743-0894, suglobov_v_v@pstu.edu

² канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, vplavrik@gmail.com

³ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0001-5943-2180, shishkin_v_v@pstu.edu

are used, first of all, for planting ingots in the well and issuing them for rolling after heating. In addition, cranes can be used to perform auxiliary operations for well maintenance and equipment repair. During the design processing of tong grippers of such cranes, there is a need to determine the ingot clamping forces, which in this gripping device are related to the weight of the ingot itself and the weight of the tongs of the crane. In addition, the design features of the clamping zone itself are of great importance, that is, the design of the parts that transfer the clamping forces to the ingot. These parts are called cores. It is clear that the clamping force and the design of the cores must guarantee reliable retention and safe movement of the ingot. During the operation of the crane, the cores are subjected to a wide range of loads: shock, compressive, crushing loads from impact. At the same time, being in contact with the heated ingot, they themselves heat up to the same temperature. And because they are periodically cooled in tanks with water, they work even in conditions of cyclic heat changes. The design and physical condition of the cores are of great importance for the reliability of the tick gripper. Untimely replacement of cores can lead to negative consequences during ingot retention, cause it to break off with the destruction of the circle, damage to floor equipment and danger to service personnel. Several options for new, more effective designs are proposed in the work based on the force calculation of the pincer gripper and the analysis of the advantages and disadvantages of modern core designs. The authors created a mathematical model of the interaction between the core and the ingot to check the depth of penetration of the core into the body of the ingot and compared it with the indicators of known cores. It was found that at the ingot release temperatures, the depth of penetration into the body of the ingot for cores of the new design is 4 times less than for conventional conical cores. The use of these designs will ensure the reliability of the gripping device while simultaneously improving the quality of the workpiece by reducing the number of cracks and dips associated with damage to the faces of the ingot from deep indentation of the cores.

Key words: well crane, tong grip, clamping forces, tong cores, core shape, excessive penetration, guaranteed grip.

Постановка проблеми. Одним з найбільш навантажених та відповідальних вузлів кліщових металургійних кранів є вантажозахоплювальні кліщі, тобто пристрій для захоплення та утримання зливка під час його підйому та транспортування. Надійність роботи кліщового захоплювача впливає на продуктивність крана, а разом з нею – на продуктивність технологічного процесу прокатки. Ще більш значущим є фактор безпеки та безаварійності експлуатації крана, оскільки вага злиwkів, що підіймаються і транспортуються, обчислюється десятками тон.

Надійна роботи кліщового захоплювача забезпечується, насамперед, спроможністю пристрою створювати необхідні затискні зусилля. Це головна умова. Крім того, вкрай важливим є конструктивне оформлення вузла затискання і застосовані при цьому матеріали. Якщо обмежитись розглядом конструкцій, а також аналізом впливів цих конструкцій на надійність утримання зливка і відсутність пошкоджень від утримання, можна зазначити наступне.

Важливими конструктивними елементами зони затиску кліщового захоплювача, які в значній мірі визначають надійність і якість утримання зливка, є керни – деталі, що в момент роботи пристрою безпосередньо контактують з гарячим зливком. Керни випробовують значні і повторювальні термо-механічні навантаження, які є причиною їх руйнації і зносу, що призводить до погіршення умов затиску і утримання зливка кліщами. Для відновлення якості роботи захоплювача керни мають замінюватись досить часто. Лише за одну робочу зміну операція заміни кернів для кожного працюючого крану може виконуватись до 6-7 разів. Одним з факторів, що впливає на знос і періодичність заміни кернів, є конструктивні особливості самих кернів. Від конструкції кернів також залежить стан поверхні зливка, що спрямовується на прокатку, а це є важливим з точки зору якості поверхні майбутньої заготовки.

З вищезазначеного виходить, що конструкція кернів має значення в питаннях надійності утримання зливка, інтенсивності зносу, періодичності заміни і ремонтпридатності кернів, якості заготовки після прокатки зливка. Тому дослідження, спрямовані на визначення ефективних конструкцій кернів вантажопідйомних захоплювачів, зокрема колодязних кранів, наразі є важливими і актуальними.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналізу конструкцій та силовим розрахункам промислових кранів і вантажозахоплювальних пристроїв присвячено багато класичних робіт, зокрема [1-4]. Більш детально питання вибору конструкцій вантажозахоплювальних пристроїв, їх проектування та силового аналізу розглянуто у роботах [5, 6]. У роботі [7] надано рекомендації щодо експертної оцінки технічного стану вантажозахоплювальних пристроїв, у тому числі кранів металургійного виробництва. Метод силового розрахунку затискних механізмів і вантажозахоплювальних пристроїв з використанням принципу можливих переміщень теоретичної механіки викладено в роботі [8]. Низка публікацій [9, 10] присвячена огляду та вибору конструкцій затискних та захоплювальних пристроїв. При цьому, в огляді конструкцій, крім книг і статейних публікацій, застосовано патентну літературу. Техніко-економічні показники використання кернів в кліщових захоплювачах колодязних кранів наведені в [11]. В [12] приводяться дані щодо впливу відбитків від вдавлення кернів у зливок на якість отриманої прокаткою заготовки. Перспективні конструкції кернів кліщового захоплювача колодязного крана запропоновані в роботі [13].

Мета статті – виконати огляд існуючих конструкцій кернів колодязних кранів і проаналізувати їх переваги та недоліки. На підставі виконаного силового розрахунку кліщового захоплювача колодязного крана запропонувати нові, більш ефективні конструкції кернів і дати рекомендації щодо їх застосування.

Виклад основного матеріалу. В прокатних цехах металургійних підприємств, пов'язаних з переробкою сталевих зливок у заготівлі (слябінгах, блюмінгах), використовуються колодязні крани з кліщовими захоплювачами. Такі крани працюють у відділеннях нагрівальних колодязів, зазвичай, у кількості не менше трьох кранів на кожній стороні (при двосторонньому розташуванні колодязів). Вони застосовуються для технологічних операцій посадки зливок у колодязі (рис. 1) для подальшого їх нагрівання, видачі нагрітих зливок у прокат (рис. 2) та допоміжних операцій з обслуговування колодязів (заправка колодязів заправним матеріалом, обробка поду «лопатою») та обслуговування ремонтних робіт в зоні дії кранів.



Рис. 1 – Робота колодязного крану під час посадки зливок у колодязі



Рис. 2 – Робота колодязного крану під час видачі зливок до прокатки

Конструкція, робота і умови експлуатації кліщового захоплювача.

На рис. 3-4 представлені схеми побудови і принципу роботи кліщового захоплювача колодязного крана, що експлуатувався в цеху Слябінг-1150 Маріупольського МК ім. Ілліча.

Кранова підвіска складається з корпусу 1 (рис. 3), який підвішено вертикально з можливістю виконувати два рухи: поступальний рух вздовж осі підвісу (забезпечується механізмом головного підйому) і обертальний рух навколо осі підвісу (забезпечує механізм обертання кліщів). На осі підвісу розташовано шток 2, який може рухатись вертикально (завдяки механізму допоміжного підйому). Шток 2 має упорний елемент 3. В корпусі 1 виконані напрямні отвори 4, орієнтовані під гострим кутом α до осі підвісу. В отвори 4 встановлені упорні ролики 5 кліщовин 6. Кліщовини 6 змонтовані на спільній траверсі 7 і мають можливість повороту навколо горизонтальних пальців 8. Рухи корпусу 1 і траверси 7 в напрямі осі підвісу є незалежними і керуються окремими механізмами. При цьому, підйом траверси 7 при нерухомому корпусі 1 призводить до переміщення роликів 5 до верхньої частини отворів 4 і повороту кліщовин навколо пальців 8 в

бік розкриття зіву кліщів. І, навпаки, опускання траверси 7 при нерухомому корпусі 1 призводить до переміщення роликів 5 в нижню частину отворів 4 з відповідним поворотом кліщовин в інший бік і зменшенням зіву кліщів. У контактній зоні кліщового захоплювача встановлені керни 9, що забезпечують утримання зливка 10.

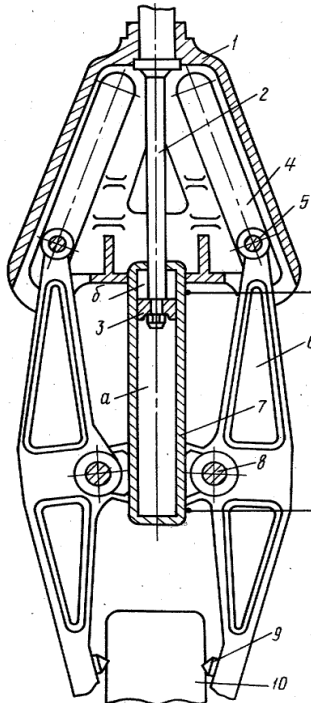


Рис. 3 – Схема кліщового захоплювача колодязного крану

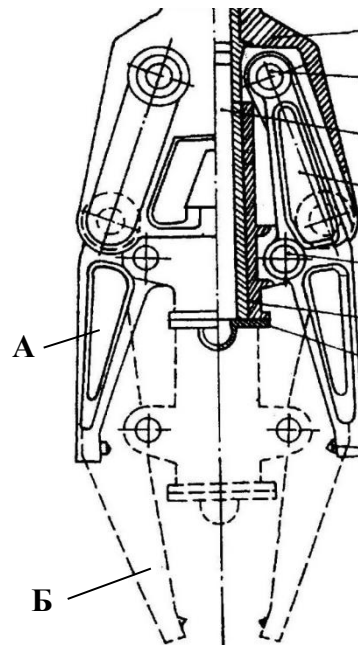


Рис. 4 – Зміна розкриття кліщів при переміщенні траверси механізмом допоміжного підйому

Кранова підвіска працює наступним чином (рис. 3-4). Переміщенням моста і візка крана кліщовий захоплювач розташовують над зливком. При цьому траверса 7 кліщового захоплювача знаходиться у піднятому положенні (рис. 4, Положення А), що відповідає максимально широкому зіву кліщів. За допомогою механізму головного підйому захоплювач опускають на рівень затискання головної частини зливка. Далі, механізмом допоміжного підйому траверсу 7 опускають (рис. 4, Положення Б), що супроводжується поворотом кліщовин 6 і зведенням нижньої частини кліщів, аж до моменту торкання кернами 9 поверхні зливка 10. Після цього, канат механізму допоміжного підйому ослаблюється, що призводить до затискання зливка кернами 9. Підйом захоплювача разом зі зливком забезпечується механізмом головного підйому. При цьому обидві маси стають нібито підвішеними на роликах 5, а похиле розташування напрямних отворів 4 в корпусі 1 захоплювача забезпечує необхідне для надійного утримання зливка 10 зусилля затиску.

Для визначення масштабу механічних та термічних навантажень, що діють на кліщі, наведемо конкретні дані. Вага слябових зливків з кип'ячої марки сталі, що відлиті у виливницю К-3 (без прибуткової частини), складає 18 т. Вага зливків зі спокійної або низьколегованої марок сталі, відлитих у виливницю ВС-24 (з прибутковою частиною), становить 24 т. При цьому температура зливка при видачі його в прокатку повинна бути не менше 1250-1280°C. Технологія передбачає багаторазове повторення даних термомеханічних навантажень у часі, що відповідає вимогам режиму роботи крана А7-А8.

Технологією також передбачено, що при видачі металу з колодязя злиток витягується краном з печі і поміщається в колиску зливковозу, який під час видачі повинен знаходитись поряд з краном і потім по рейкам рухатись у бік приймального рольгангу. Тобто транспортування зливка до приймального рольгангу має здійснюватися зливковозом. У цьому випадку час контакту захоплювального пристрою з гарячим зливком є мінімальним. Однак, на практиці, особливо при видачі металу з віддалених груп колодязів або прокатці кількох зливків одночасно (для економії

машинного часу), забезпечити своєчасність доставки зливків на приймальний рольганг силами тільки зливкового стає неможливим. В цьому випадку частина виданих зливків доставляється до приймального рольгангу самим краном, що набагато збільшує час контакту захоплюючого пристрою зі зливком і посилює знос кернів. Тому, після кількох видач зливків, з метою зменшення пластичних деформацій і зносу кернів, кліщі занурюють у ванну з водою.

Силовий аналіз кліщового захоплювача.

Як згадувалося раніше, головним фактором надійної роботи кліщового захоплювача колодязного крану є створення необхідних зусиль затиску зливка. Тому при конструкторському опрацюванні кранів обов'язково виникає потреба у визначенні цих зусиль, які в даному захоплюючому пристрої пов'язані з вагою самого зливка і вагою кліщів крана. Зрозуміло, що отримані зусилля затиску повинні гарантувати надійне утримання та безпечне переміщення зливка.

Силовий розрахунок пристрою з визначенням зусилля затискання \bar{T} зливка можна здійснити за принципом можливих переміщень аналітичної механіки [8].

Згідно до нього (рис. 5):

$$\bar{F} \cdot \bar{V}_A + \bar{G}_\kappa \cdot \bar{V}_B + \bar{R} \cdot \bar{V}_C = 0, \tag{1}$$

де $\bar{R} = \bar{R}_N + \frac{\bar{G}}{2}$ – сила, з якою зливок діє на кліщовину;

$\bar{R}_N = -\bar{T}$ – нормальна реакція з боку зливка;

\bar{T} – сила затискання злитка.

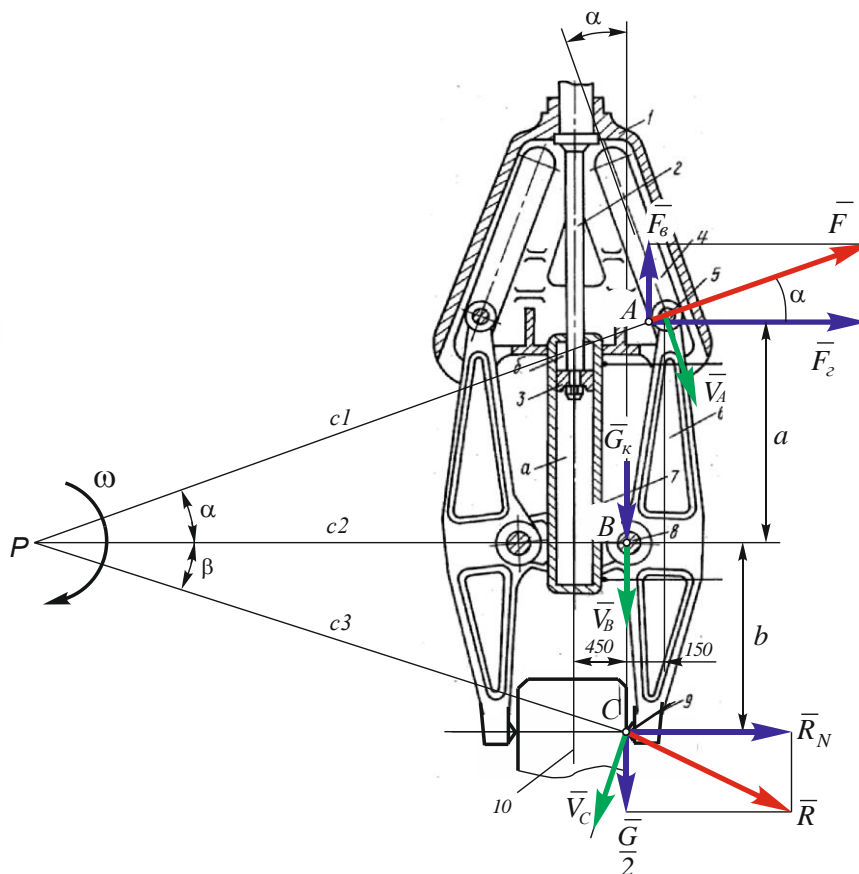


Рис. 5 – Схема кліщового захоплювача з силами, що діють на кліщовину

Перша з складових дорівнює нулеві, бо $\vec{F} \perp \vec{V}_A$. Потрібне зусилля затискання \bar{R}_N повинно відповідати умові $F_T > G$, де G – вага зливка; F_T – сила тертя між кернами захоплювача і поверхнею зливка ($F_T = R_N \cdot f$, де f – коефіцієнт тертя).

Якщо швидкості точок прикладання сил виразити через швидкість будь-якої точки (наприклад, через V_B), єдиною невідомою в рівнянні (1) становиться зусилля \bar{R}_N . Зв'язок між швидкостями зручно знаходити через миттєвий центр швидкостей P .

Розрахунки, виконані для вихідних даних: $G = 180 \text{ кН}$, $G_k = 10 \text{ кН}$, $\alpha = 13,5^\circ$, $a = 950 \text{ мм}$, $b = 650 \text{ мм}$, $f = 0,2$ і дають наступні результати.

Геометричні параметри:

$$x = \frac{a}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{950}{\operatorname{tg} 13,5^\circ} = 3957 \text{ мм}; d = 3957 - 450 - 150 = 3357 \text{ мм}; c_2 = 3357 + 450 = 3807 \text{ мм};$$

$$c_1 = \sqrt{3957^2 + 950^2} = 4069 \text{ мм}; c_3 = \sqrt{3807^2 + 650^2} = 3862 \text{ мм}; \beta = \operatorname{arctg} \frac{650}{3807} = 9,69^\circ.$$

Силкові співвідношення:

$$\operatorname{tg} 13,5^\circ = \frac{F_e}{F_c}; F_e = \frac{G}{2} + G_k = \frac{180}{2} + 10 = 100 \text{ кН}; F_c = \frac{100}{\operatorname{tg} 13,5^\circ} = 416 \text{ кН}.$$

Залежності між швидкостями:

$$V_A = V_B \cdot \frac{4069}{3807} = 1,069 \cdot V_B; V_C = V_B \cdot \frac{3862}{3807} = 1,014 \cdot V_B; V_B = V_A \cdot \frac{3807}{4069} = V_C \cdot \frac{3807}{3862};$$

$$V_C = V_A \cdot \frac{3862}{4069} = 0,949 \cdot V_A.$$

Після підстановки у рівняння:

$$(-100 \cdot \cos 13,5^\circ + 416 \cdot \sin 13,5^\circ) \cdot V_A + (100 \cdot \cos 9,69^\circ - R_N \cdot \sin 9,69^\circ) \cdot V_C = 0;$$

$$-0,1237 \cdot V_A + 0,949 \cdot 98,573 \cdot V_A - 0,949 \cdot 0,1683 \cdot V_A \cdot R_N = 0;$$

$$R_N = \frac{93,546 - 0,1237}{0,1597} = 585 \text{ кН};$$

$$T = R_N = 585 \text{ кН}.$$

При цьому, потрібне зусилля складає $T = \frac{G/2}{f} = \frac{90}{0,2} = 450 \text{ кН}$. Тобто захоплювач буде пра-

цювати з коефіцієнтом запасу $K_3 = \frac{585}{450} = 1,3$. Рекомендована величина K_3 складає $K_3 = 1,2$.

Тому умови надійної роботи захоплювача є забезпеченими.

Примітка. Розрахунок виконано, але обчислення здійснені за умови утримання зливка виключно силами тертя, що пов'язані із зусиллям затиску. Ця умова є правильною у разі роботи з холодними або «напівгарячими» зливками (наприклад, зливками з рідкою серцевиною і твердою поверхнею при гарячому посаді у колодязі), коли керни вантажозахоплювального засобу не вдавлюються в тіло зливка. Тобто пластична деформація зливка не відбувається, або мінімальна.

Під час видачі гарячого металу умови контакту кернів і зливка є іншими. Нагрітий під прокатку зливки є пластичним і не може при визначених зусиллях спричинити опір проникненню кернів в своє тіло. Часто це відбувається на повну глибину кернів. Іноді, особливо при перевищенні температури нагріву, значній вазі зливка та за високої пластичності і низької міцності сталі, керни залишають на тілі зливку не тільки заглиблення, а навіть вертикальні борозни. Але, так чи інакше, існування вдавлення і заглиблення кернів у зливки є додатковим фактором, що гарантує надійне утримання зливка при його захопленні кліщами. Інша справа, що ці поглиблення пошкоджують грані зливку і можуть привести до появи дефектів вже в заготовці. Ці дефекти часто утворюються під час прокатки (тріщини, закати). Тобто конструкція кернів повинна бути такою, щоб мінімізувати цей недолік.

Далі розглянемо види кернів, що застосовуються зараз у сучасному металургійному виробництві, основні причини виходу кернів з ладу, конструкції кернів, що пропонуються як більш ефективні, і математичне обґрунтування цього.

Про удосконалення конструкції і вибір кернів для кліщового захоплювача колодязевого крану.

Раніше стверджувалось, що конструкція і фізичний стан кернів мають велике значення для надійності роботи кліщового захоплювача і спроможності крана виконувати технічні завдання. Так, несвоєчасна заміна кернів може призвести до труднощів під час утримання зливку і стати причиною його обриву з руйнуванням колодязя, пошкодження підлогового обладнання і, найголовніше, небезпекою для обслуговуючого персоналу. В той же час, занадто часта заміна кернів збільшує простій крану, негативно впливає на динаміку видачі злиwkів і погіршує економічні показники собівартості виробництва [12]. Крім того, захоплювачі можуть залишати на зливку відбитки від кернів, глибина яких може досягати 30 мм, що при подальшій прокатці призводить до появи тріщин в металі, а згодом, до відбракування значних ділянок прокату [12]. Тому при виборі конструкції кернів кліщового захоплювача дуже важливо досягти максимального балансу властивостей цієї деталі, тобто добитися гарантованого утримання зливка захоплювачем при максимальній працездатності і терміні служби кернів, мінімальній травмованості і пошкодженнях зливка від вдавлювання кернів в його тіло.

Метою дослідження є розроблення удосконаленої конструкції керна колодязного крана, що дозволить підвищити надійність утримання зливка, збільшити термін служби керна і забезпечити мінімально можливу деформацію контактної зони зливка при його підйомі і транспортуванні.

Для досягнення цієї мети виконаємо наступні завдання:

- проаналізуємо причини виходу кернів з ладу;
- виконаємо огляд конструкцій кернів, що застосовувались або застосовуються зараз, з визначенням їх переваг і недоліків;
- зважаючи на умови експлуатації кліщового пристрою колодязного крана і недоліки сучасних конструкцій кернів, запропонувати нову удосконалену конструкцію керна;
- провести перевірку роботи запропонованої конструкції керна шляхом математичного моделювання.

Аналіз причин виходу кернів з ладу.

Керни – це деталі кліщових захоплювальних пристроїв колодязних кранів, які використовують для покращення умов затискання і гарантованого утримання зливка під час виконання краном робочих операцій, а саме: посадки сталевих злиwkів у колодязні нагрівальні печі, наступної їх виїмки після нагріву для установки на візок зливковозу або самостійного транспортування зливка до приймального рольгангу. Керни виробляються із сталі 45 і їх маса становить близько 1,5-3,0 кг. Вони закріплюються по одному в кожній з двох кліщовин. Утримання керна в кліщовині здійснюється за рахунок сил тертя по конічній поверхні хвостовика керна.

В процесі експлуатації крана керни зазнають широкого спектру навантажень: ударні, стискаючі, зминаючі. При цьому, динамічні і ударні механічні навантаження супроводжуються нагрівом кернів до високих температур. Так, перебуваючи у контакті з розігрітим до температури 800-1250°C зливком від 30 секунд до декількох хвилин і маючи незначну вагу, самі керни розігріваються до цієї ж температури. Наслідком цього є зменшення твердості їх поверхні. Тому, для підтримання механічних властивостей після періодичного нагрівання кернів, їх також періодично охолоджують у баках з водою, тобто вони працюють ще й в умовах циклічних тепломінів.

Слід зазначити, що тривалість роботи кернів вимірюється годинами, але ж їх замінюють досить часто (6-7 штук у зміну) [10]. Середньомісячна витрата кернів в процесі експлуатації колодязних кранів обтискного цеху становить близько 1200 штук [11].

Статистичними дослідженнями авторів встановлено, що основними причинами виходу кернів з ладу і подальшої їх заміни є:

- 1) спрацювання робочої частини керна за рахунок зминання, затуплення, зносу (рис. 6);
- 2) поява тріщин і відколів в робочій частині кернів (рис. 7).

Наявність або відсутність дефектних ознак виявляються при огляді крана. При виявленні означених вище дефектів, керни підлягають негайній заміні на нові або реставровані. Нормою для відбракування і заміни керна по ознаці «спрацювання робочої поверхні» є втрата керном

понад 25% свого початкового розміру. Роботи щодо заміни керн проводяться під час планових та позапланових зупинок крана.

Огляд конструкцій кернів з визначенням їх переваг і недоліків.

Літературним і патентним оглядом конструкцій встановлено існування кернів кількох типів.

Відома конструкція керна (рис. 8) з конусною робочою частиною і сферичною ділянкою на вершині конуса [10, 11]. Керни такої конструкції застосовуються в обтискних цехах сортопрокатного виробництва, де маса зливок відносно мала і навантаження на керн незначні.

Недоліками цього керна є: низька зносостійкість робочої поверхні (сферичної ділянки на вершині конуса), необхідність частої заміни кернів через їх спрацювання (6-7 кернів протягом 8-мигодинної робочої зміни), велика глибина проникнення керна у зливку (до 30 мм) через концентрацію стискаючого зусилля з боку кліщів на малій площі поверхні зливка. Спостерігається негативний вплив на якість заготовки (після прокатки заглиблення від кернів трансформуються в поверхневі тріщини завглибшки 3-5 мм і довжиною до 0,5-1,5 м), ненадійність утримання зливку при спрацюванні вершини конуса або його відколі (при малій контактній площі тертя може призвести до обриву зливка), неможливість використання кернів такої конструкції для слябінгів, де маси зливоків і навантаження значно більші.

Відома інша конструкція керна (рис. 9), де для підвищення зносостійкості робочої частини керна застосована твердосплавна вставка. Керн пропонується відливати зі Сталі 45, вставку – зі сталі 3Х2В8. Зносостійка вставка встановлюється в керн у гарячому стані. Керн такої конструкції був виготовлений і пройшов випробування.

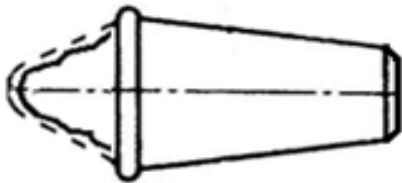


Рис. 6 – Спрацювання робочої частини керна



Рис. 7 – Відкол на робочій частині керна

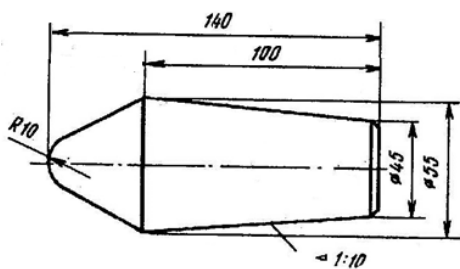


Рис. 8 – Керн з конусною робочою частиною і сферичним контактним кінцем

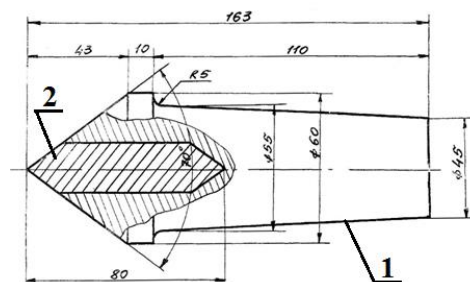


Рис. 9 – Схема керна, армованого високоміцною вставкою

Недоліками цього керна є: ускладнена конструкція, що призводить до значних витрат при виготовленні, велика глибина проникнення керна у зливки і тому – негативний вплив на якість заготовки, неможливість використання кернів такої конструкції для слябінгів, де маси зливок і навантаження значно більші.

Наступним аналогом є kern кліщового захоплювача колодезного крану, що використовується при виробництві слябів [11]. Робоча частина цього керну (рис. 10) виконана у формі двохилої піраміди, яка встановлюється в кліщовину пристрою в положенні, коли схили піраміди перетинаються по горизонтальній лінії як на рисунку. У порівнянні з попередніми конструкціями, цей kern може випробовувати значно більші навантаження і гарантовано утримувати більші зливки.

Недоліками цього керна є: велика глибина проникнення керна у зливку, що негативно впливає на якісні показники прокатої заготовки. Крім того, зміна орієнтації зливка, що знаходиться в кліщах у затиснутому стані (наприклад, підйом зливка з підлоги кліщами, тобто перевід його з горизонтального положення у вертикальне) призводить до повороту зливка і змінання пірамідальної частини керн, що через деякий час робить ці керна подібними конусним з усіма їх недоліками.

Ще одним можливим технічним рішенням є конструкція керна (рис. 11) з робочою поверхнею у формі кільця [11, 12].

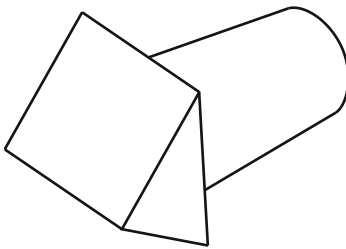


Рис. 10 – Kern з робочою частиною у формі двохилої піраміди

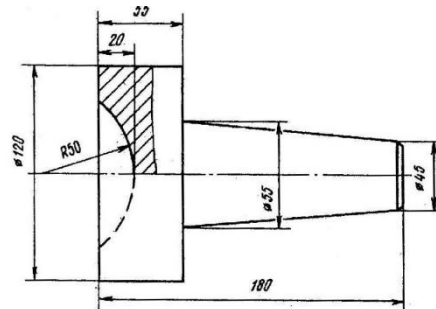


Рис. 11 – Kern з контактною поверхнею кільцевої форми

Цей kern утримує зливку практично тільки за рахунок сил тертя і має наступні недоліки: малу контактну площу тертя між керном і зливком, дуже незначне проникнення кільцевої поверхні керна у зливку (1-2 мм), нестабільність сил тертя в контактній зоні затискання через наявність відшарованої окалини, що не може осипатись в першу мить контакту з керном і залишається під кільцем, тобто між керном і поверхнею зливка. В цьому разі, для створення якісного утримування зливка зусилля затиску мають бути збільшеними.

Розробка нової конструкції керна.

Підвищення працездатності кернів можна досягти шляхом удосконалення їх конструкції.

Для більш надійного утримування зливка керни роблять з загостреною робочою частиною, з умовно точковим (рис. 8 і 9) або умовно лінійним (рис. 10) контактом. При цьому, надійність забезпечується заглибленням керна в тіло зливка, що при певній силі стискання створює гарантію безпечного пересування і неможливість обриву вантажу. Крім того, при такій конструкції керна окалини на поверхні зливка вільно відшаровується і при дотику керна обсипається на підлогу печі, тобто не заважає створенню надійного контакту з кліщами захоплювача.

У той же час, надмірне заглиблення в тіло зливка вважається недоліком кернів. За результатами кількох досліджень проникнення кернів у зливку досягає 15-20 мм, іноді 50-80 мм. В цьому разі на тілі зливка від контакту з кернами створюються глибокі відбитки. При прокатці такого зливка на поверхні заготовки можуть з'являтися тріщини завглибшки 3-5 мм і довжиною до 0,5-1,5 м [12]. Для усунення цього дефекту доводиться збільшувати обрізь заготовки або застосовувати трудомісткі операції з видалення поверхневих дефектів. В обох випадках маємо підвищення собівартості виробу.

На підставі наведених вище тез була виконана спроба збалансувати переваги і недоліки відомих конструкцій кернів і розробити більш ефективну нову конструкцію. Пропонована конструкція повинна надійно утримувати зливку, мати збільшений відносно відомих конструкцій термін служби керна і забезпечувати оптимальний (не досить великий) рівень заглиблення в тіло гарячого зливка.

Для вирішення поставленої задачі у керні вантажозахоплювального кліщового пристрою (рис. 12), що містить хвостовик 1 і головку 2, відповідно до корисної моделі, на робочій поверхні головки виконані зубці 3 з похилими боковими поверхнями і плоскою вершиною, що розташовані рядами. При цьому головка має форму диска. Крім того, керн може бути виконано цілісним (рис. 12, а, б) або складовим (рис. 12, в), тобто містити змінну зносостійку вставку 4, на якій розташовані зубці.

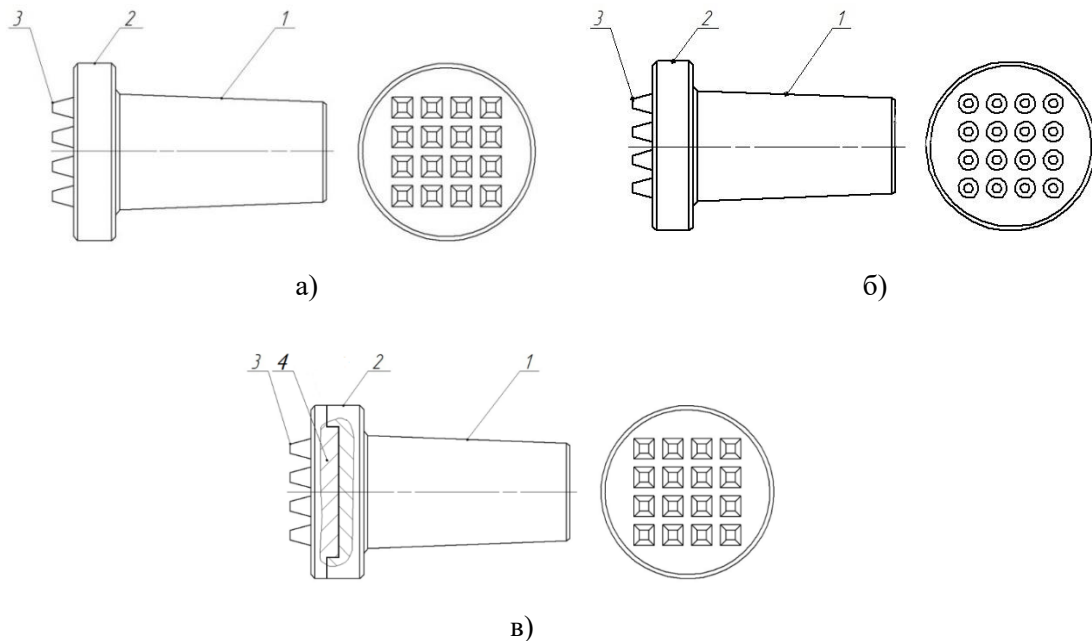


Рис. 12 – Конструкції кернів, що пропонуються: а) цілісні керни з пірамідальними зубцями; б) цілісні керни з конічними зубцями; в) складові керни з зубчастою зносостійкою вставкою

Наявність на робочій поверхні керна кількох зубців, виконаних, наприклад, у формі пірамід, квадрата, усіченого конуса, з циліндричною, конусною поверхнею, з невеликими плоскими поверхнями контакту зі зливком, забезпечує зменшення зносу вершин зубців через розподіл зусилля притиснення на декілька контактних поверхонь, що зменшує контактні напруги. При цьому очікується оптимальна глибина проникнення вершин зубців у зливку (4-6 мм) за рахунок того, що сумарна контактна поверхня всіх зубців більша, ніж у звичайного конусного керна, і менша, ніж у кільцевого керна. Крім того, збільшується надійність утримання зливку при сколі або спрацюванні одного або декількох зубців. Також виключається вплив окалини на сили тертя і зусилля утримання зливку, тому що при контакті керна з кількома зубцями відбувається сколювання і падіння окалини та утримання зливку забезпечується за рахунок спільної дії факторів, а саме: проникнення вершин зубців у зливку і сил тертя. Застосування складеного керна дозволяє знизити витрату високоцінного металу і спростити операцію заміни та ремонту керна.

Висота зубців і ступінь притушення їх вершин (площі плоскої поверхні) можуть варіюватися при виготовленні кернів для досягнення оптимального проникнення зубців у виливницю в залежності від її пластичних властивостей.

Таким чином застосування запропонованої конструкції керну дозволить забезпечити досягнення наступних корисних ефектів:

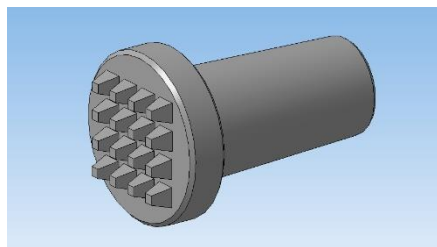
- зменшення зносу вершин зубців через розподіл зусилля затиску на декілька контактних поверхонь, що зменшує контактні напруги;
- забезпечення оптимальної глибини проникнення вершин зубців у виливницю (4-6 мм) за рахунок того, що сумарна контактна поверхня всіх зубців більша, ніж у звичайного конусного керна і менша, ніж у кільцевого керна;
- досягнення надійності утримання зливку при сколі або спрацюванні одного або декількох зубців;
- виключення впливу окалини на сили тертя і зусилля утримання зливку, тому що при накладенні керна відбувається сколювання окалини;
- забезпечення надійного утримання зливку за рахунок сил тертя і проникнення вершин зубців в тіло зливку;
- зниження витрат високоміцного металу за рахунок застосування складеної конструкції;
- спрощення процесу заміни та ремонту керна.

Запропонована конструкція керна захищена патентом України на корисну модель [13].

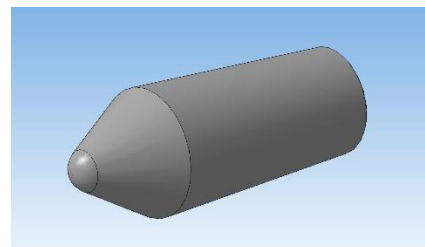
Перевірка роботи запропонованої конструкції шляхом математичного моделювання.

Однією з переваг розробленої конструкції керна є мале пошкодження зливку кернами за рахунок зменшення глибини вдавлення.

Для перевірки глибини проникнення керна в тіло зливку і порівняння її з показником відомих кернів було створено математичну модель взаємодії керна і зливка. На рис. 13 представлені 3D моделі кернів нової і відомої (базової) конструкцій.



а)



б)

Рис. 13 – 3D моделі кернів нової (а) і базової (б) конструкцій

Розрахунок проводився за допомогою сучасної САПР системи CAD System – Computer Aided Design System, пакету SolidWorks®, програми COSMOSWorks. Остання програма може виконувати розрахунки з міцності і жорсткості деталей і конструкцій, які реалізуються за допомогою метода кінцевих елементів (МКЕ). COSMOSWorks дозволяє отримати параметри НДС і переміщення, що відбувається в контакті між керном і зливком.

Результати обчислень за створеними математичними моделями взаємодії зливка з кернами базової і нової конструкції представлені на рис. 14.

Розрахунки свідчать, що при температурах видачі злиwkів (1250-1300°C) маємо глибину проникнення в тіло зливка для кернів нової конструкції в 4 рази менше, ніж для звичайних конусних кернів.

Тобто можна зробити висновок про теоретичне підтвердження одного з поставлених завдань при розробці нових керн, а саме – отримання меншої деформації і, відповідно, меншого пошкодження зливку від вдавлення кернів.

Таким чином, застосування кернів нової конструкції дозволить збільшити надійність утримання зливку, підвищити безпеку роботи крана, зменшити спрацювання кернів, збільшити термін їх служби, зменшити пошкодження зливку кернами, тобто підвищити якість прокатоної заготовки.

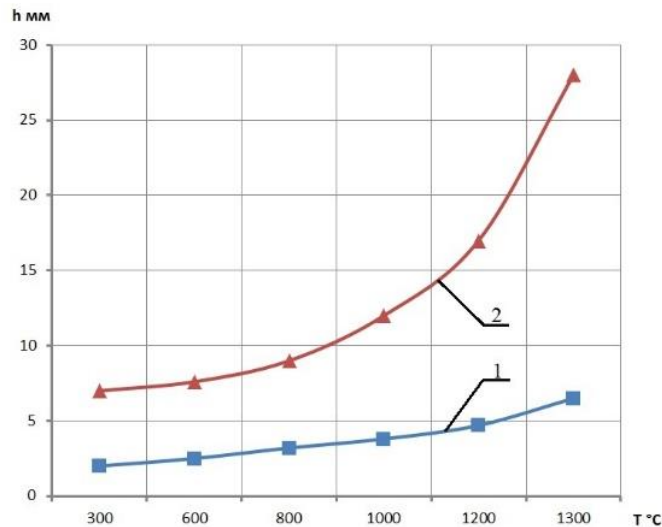


Рис. 14 – Залежність глибини вдавлювання кернів нової (1) і базової (2) конструкцій при заданих температурах зливка

Висновки

1. Надано приклад розрахунку щодо визначення зусиль затискання зливку кліщовим захоплювачем колодязного крана. Обчислення виконані за принципом можливих переміщень аналітичної механіки.

2. Проаналізовано умови роботи кернів кліщових захоплювачів колодязних кранів, визначені основні фактори і причини виходу кернів з ладу, виявлений вплив конструкції кернів на якість отриманої катаної заготовки.

3. На базі аналізу існуючих конструкцій кернів запропонована нова конструкція керна, що захищена патентом України. Нова конструкція дозволяє збільшити надійність утримання зливку, зменшити спрацювання кернів, збільшити термін їх служби, зменшити пошкодження зливку кернами, тобто підвищити якість прокатої заготовки.

4. Переваги кернів нової конструкції в сенсі зменшення вдавлювання керна у зливку підтверджені теоретичним аналізом математичної моделі.

Перелік використаних джерел:

1. Мартовицький Л.М., Глушко В.І. Крани спеціальні: навчальний посібник. Запоріжжя : Національний університет «Запорізька політехніка», 2023. 396 с.
2. Технічне обслуговування металургійного обладнання: навчальний посібник / Жук А.Я., Малишев Г.П., Жедабіна Н.К., Таратута К.В. Київ : Видавничий дім «Когдар», 2017. 288 с.
3. Гребеник В.М., Іванченко Ф.К., Ширяев В.І. Розрахунок металургічних машин и механізмів. Київ : Вища школа, Головне вид-во, 1988. 448 с.
4. Моделювання навантаженості та аналіз напружено-деформованого стану елементів траверси ливарного крана / Сагіров Ю.Г., Суглобов В.В., Кухар В.В., Резніков О.О. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2019. Вип. 83. С. 5-10. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.84.0.5>.
5. Іванченко Ф.К. Підйомно-транспортні машини. Київ : Вища школа, 2008. 413 с.
6. Сагіров Ю.Г., Суглобов В.В. Застосування топологічної оптимізації на прикладі елементів підвіски ливарного крану. *Наука та виробництво*. 2019. Вип. 21. С. 95-106. DOI: <https://doi.org/10.31498/2522-9990212019187276>.
7. Белогуров В.Д., Суглобов В.В., Сагіров Ю.Г. Оценка технического состояния грузоподъемных кранов. *Подъемно-транспортная техника*. 2003. № 2. С. 38-43.
8. Шишкін В.В., Карпенко Т.М., Глова А.О. Визначення зусиль затискання в кліщах колодязного крана методами аналітичної механіки. *Університетська наука – 2023 : тези доповідей Міжнар. науково-техн. конф., м. Дніпро, 25-26 травня 2023 р. Дніпро : ДВНЗ «ПДТУ», 2023. Том 1. С. 95-98.*

9. Лаврик В.П., Суглобов В.В., Жижкін С.В. Аналіз причин виходу з ладу кернів колодязного крану. *Університетська наука – 2020* : тези доповідей Міжнар. науково-техн. конф., м. Маріуполь, 19-20 травня 2020 р. Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2020. Том 2. С. 100-102.
10. Лаврик В.П., Суглобов В.В., Жижкін С.В. Розробка оптимальних методів відновлення і зміцнення кернів колодязного крану. *Університетська наука – 2020* : тези доповідей Міжнар. науково-техн. конф., м. Маріуполь, 19-20 травня 2020 р. Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2020. Том 2. С. 102-103.
11. Слободян Н.М., Пономарчук І.А. Вантажопідйомні машини: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2020. 87 с.
12. Похилько Л.К., Коваль І.Ю. До вибору раціональної форми кернів кліщових захоплювачів. *Теорія і практика металургії*. 2010. № 1-2. С. 10-14.
13. Керн вантажозахоплювального кліщового пристрою: пат. на кор. мод. 79961 Україна: МПК В66С 1/00, В66С 1/22. № 201212357; заявл. 29.10.2012; опубл. 13.05.2013, Бюл. № 9. 5 с.

References:

1. L.M. Martovytskyi, and V.I. Hlushko, *Krany spetsialni: navchalnyi posibnyk* [Special cranes: tutorial]. Zaporizhia, Ukraine: Zaporizhzhia Polytechnic National University Publ., 2023. (Ukr.)
2. A.Ia. Zhuk, H.P. Malyshev, N.K. Zhediabina, and K.V. Taratuta, *Tekhnichne obsluhovuvannia metalurhiinoho obladnannia: navchalnyi posibnyk* [Maintenance of metallurgical equipment: tutorial]. Kyiv, Ukraine: Kogdar Publishing House, 2017. (Ukr.)
3. V.M. Hrebenyk, F.K. Ivanchenko, and V.I. Shyriaev, *Rozrakhunok metalurhichnykh mashyn y mekhanizmiv* [Calculation of metallurgical machines and mechanisms]. Kyiv, Ukraine: Vyshcha shkola, Main publishing house, 1988. (Ukr.)
4. Yu.H. Sahirov, V.V. Suglobov, V.V. Kukhar, and O.O. Reznikov, «Modeliuvannia navantazhenosti ta analiz napruzhenno-deformovanoho stanu elementiv traversy lyvarnoho kрана» [«Load simulation and analysis of the stress-strain state of the elements of a casting crane travers»], *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету – Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, vol. 83, pp. 5-10, 2019. doi: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.84.0.5. (Ukr.)
5. F.K. Ivanchenko, *Pidomno-transportni mashyny* [Lifting and transport machines]. Kyiv, Ukraine: Vyshcha shkola Publ., 2008. (Ukr.)
6. Yu.H. Sahirov, and V.V. Suglobov, «Zastosuvannia topologichnoi optymizatsii na prykladi elementiv pidvisky lyvarnoho kрана» [«Application of topological optimization on the example of elements of casting crane traverse»], *Nauka ta vyrobnytstvo – Science and production*, vol. 21, pp. 95-106, 2019. doi: 10.31498/2522-9990212019187276. (Ukr.)
7. V.D. Belohurov, V.V. Suglobov, and Yu.H. Sahirov, «Otsenka tekhnicheskoho sostoianiya hrupopodemnykh kрана» [«Assessment of the technical condition of lifting cranes»], *Pod'emno-transportnaia tekhnika – Hoisting and conveying equipment*, № 2, pp. 38-43, 2003. (Rus.)
8. V.V. Shyshkin, T.M. Karpenko, and A.O. Hlova, «Vyznachennia zysyl zatyskannia v klishchakh kolodiazevoho kрана metodamy analitychnoi mekhaniky» [«Determining the clamping forces in the tongs of a well tap by the methods of analytical mechanics»], in Proc. Int. Sci.-Techn. Conf. University science – 2023, Dnipro, 2023, vol. 1, pp. 95-98. (Ukr.)
9. V.P. Lavryk, V.V. Suhlobov, and S.V. Zhyzhkin, «Analiz prychnyn vykhodu z ladu kerniv kolodiaznoho kрана» [«Analysis of the causes of the failure of well crane cores»], in Proc. Int. Sci.-Techn. Conf. University science – 2020, Mariupol, 2020, vol. 2, pp. 100-102. (Ukr.)
10. V.P. Lavryk, V.V. Suhlobov, and S.V. Zhyzhkin, «Rozrobka optymalykh metodiv vidnovlennia i zmitsnennia kerniv kolodiaznoho kрана» [«Development of optimal methods of restoration and strengthening of well crane cores»], in Proc. Int. Sci.-Techn. Conf. University science – 2020, Mariupol, 2020, vol. 2, pp. 102-103. (Ukr.)
11. N.M. Slobodian, and I.A. Ponomarchuk, *Vantazhopidomni mashyny: navchalnyi posibnyk* [Lifting machines: tutorial]. Vinnytsia, Ukraine: VNTU Publ., 2020. (Ukr.)
12. L.K. Pokhylko, and Y.Iu. Koval, «Do vyboru ratsionalnoi formy kerniv klishchovykh zakhopliuvachiv» [«To the choice of a rational shape of the cores of tick grabbers»], *Teoriia i praktyka metalurhii – Theory and Practice of Metallurgy*, № 1-2, pp. 10-14, 2010. (Ukr.)

13. V.V. Suglobov, V.A. Mikhieev, V.P. Lavryk, and O.O. Vedmedenko, «Kern vanta-zhozakhopliuvalnoho klishchovoho prystroiu» [«The core of the load-grabbing pincer device»], *UA Patent 79961*, May 13, 2013.

Рецензент: А.О. Іщенко
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 03.06.2023
Стаття прийнята 20.07.2023

УДК 621.91

doi: 10.31498/2225-6733.47.2023.300053

© Іщенко А.О.¹, Карпенко Т.М.², Капустін С.В.³

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ СКЛАДОВИХ РЕАКЦІЙ В ПІДШИПНИКАХ ДИСКОВОГО ВАЛУ РОТОРНИХ ПИЛ (ПОВІДОМЛЕННЯ 1)

Для сучасного прокатного виробництва актуальним є питання міцності та надійності конструкцій роторних пил, які призначені для різання металопрокату. Метою даної роботи є визначення уточнених значень сил реакцій опорних підшипників дискового валу. Як відомо, при тривалій експлуатації об'єкту місце для посадки ріжучого диску на планшайбі зношується, інколи виникає похибка в отворі при виготовленні нового диску. Тому має місце ексцентриситет центру ваги диску. Наявність цього ексцентриситету враховується в роботі при визначенні шуканих сил за допомогою принципу Д'Аламбера умовного зрівноваження сил. Через те, що процес різання дисковою пилою дуже короткочасний, силу різання вважаємо силою удару. Величини сил реакцій в підшипниках визначаються під час різання з використанням теорем динаміки при ударі: теореми імпульсів та про зміну кінетичного моменту. Спроеціювавши векторні формули принципу та теорем на осі координат, отримані системи алгебраїчних рівнянь, з яких визначаються горизонтальні та вертикальні складові сил реакцій в підшипниках як при холостому режимі, так і при різанні. Через те, що вектор відцентрової Даламберової сили інерції диску змінює свій напрям, отримані формули сил реакцій при різних положеннях центру ваги диску. За результатами чисельного аналізу задачі, який планується, можна побудувати графіки залежностей горизонтальних та вертикальних складових сил тиску на підшипники від: величини ексцентриситету, вертикальної та горизонтальної складових сил різання, кутової швидкості та положення диску.

Ключові слова: реакції підшипників, ексцентриситет, ударний імпульс, ріжучий диск.

A.O. Ishchenko, T.M. Karpenko, S.V. Kapustin. Determination of dynamic component reactions in support bearings of rotor saws for cutting hot rolled (message 1). A distinctive feature of rotary saws is the process of cutting the workpiece, which takes a very short time. For example, a workpiece with a diameter of 200 mm is cut in 0.2 seconds, while traditional designs of sliding and pendulum saws perform this operation in 10-20 seconds or more. This effect is achieved due to the high speeds of feeding the disc to the cut,

¹ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-6189-7830, ishchenko50@ukr.net

² канд. фіз.-мат. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-4042-0301, taisn2013@gmail.com

³ аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0009-0000-4204-8449, stanislav.kapustin.engineer@gmail.com