

УДК 621.7; 621.8; 539.4

### ВПРОВАДЖЕННЯ СПОСОБУ І ТЕХНОЛОГІЇ ОБКАТУВАННЯ РОЛИКАМИ СТАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ У ВИРОБНИЦТВО І ОЦІНКА ЙОГО ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

**Б.І. Бутаков**, доктор технічних наук, професор

**Д.Д. Марченко**, асистент

Миколаївський державний аграрний університет

У статті описано спосіб і технологію обкатування клиновим роликом робочого профілю канатних блоків з метою зниження змінання канатами їх поверхневого шару. Представлено результати впровадження пропонованої технології у виробництво ВАТ «Миколаївський глиноземний завод» і ВАТ «Миколаївбудмеханізація». Наведено оцінку економічної ефективності обкатування роликами сталевих деталей з метою підвищення їх контактної міцності.

**Ключові слова:** обкатування, клиновий ролик, економічний ефект, зміцнення канатних блоків.

**Вступ.** На основі виконаних досліджень при оцінці напружено-деформованого стану тіл при роботі сталевих канатного блоку і канату [1] та ефективності впливу обкатування роликами сталевих деталей на контактну міцність [2], а також розробці способу і технології обкатування канатних блоків [3-5] було виконано розрахунки і конструкторські опрацювання з метою практичного впровадження зміцнених обкатуванням сталевих деталей, працюючих при контактній міцності, в діючі машини і механізми. Ефективність пропонованих заходів оцінювалася не тільки такими показниками, як довговічність, експлуатаційна надійність, якість, продуктивність обробки тощо, а й одним з важливих показників – це економічна ефективність і доцільність.

**Постановка завдання.** Впровадження технології зміцнення канатних блоків у ВАТ «Миколаївський глиноземний завод» («МГЗ») проводилося на грейферному судоперевантажувачі «KRUPP» (Німеччина) вантажопід'ємністю 40 тонн, який

---

призначений для перевантаження бокситу й інших масових сипких вантажів.

Канатні блоки, які сприймають великі контактні напруження на робочій поверхні профілю струменя, зношуються, відбувається зминання тороїдальної поверхні, а на конічних поверхнях відбувається зріз шару металу (рис. 1, а). Строк служби канатного блоку складає не більше 3-4 місяці.

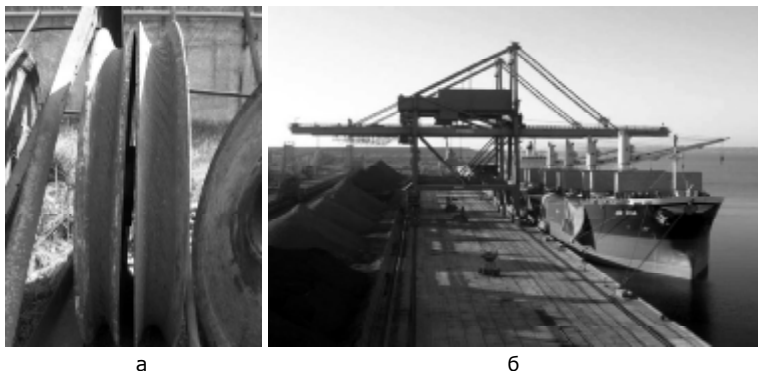


Рис.1. Зовнішній вид зношених канатних блоків (а) та судоперевантажувача KRUPP (б) на БАТ «МГЗ»

При роботі канату у парі з канатним блоком через щільне прилягання канату на нерівностях зношеного блоку дротики починають переламуватися, відбувається обрив пасм. Також спостерігається зношення канату на нерівностях блоку у вигляді потовщених місць, відбувається сплюснення і різкий перегин дротиків.

Канат за числом обривів дротиків бракується за наявності 18-ти обривів дротиків на кроці звивання, а також при зменшенні діаметру дротиків в результаті поверхневого зносу (при зносі 40% і більше первинного діаметру дротиків канат бракується) [6].

Тому довговічність канату залежала від стану робочої поверхні блоку, і складала не більше – 10-14 місяців роботи.

Для вирішення проблеми контактного зминання канатних блоків було розроблено і впроваджено спосіб і технологію обкатування сталених деталей, працюючих на контактну міцність.

Виготовлення і зміцнення канатних блоків судоперевантажувачів проводилося на обладнанні ремонтно-механічного цеху (РМЦ) ТОВ «Сервісний центр «Металлург» компанії «Русский алюминий».

Було виготовлено пристрій для обкатування канатних блоків клиновим роликком. Робоча поверхня профілю клинового ролика була виконана зі змінним радіусом кривизни.

Робочу поверхню канатного блоку піддавали обкатуванню відповідно до розробленого способу і технології [3, 4] на універсальному одностійковому токарно-карусельному верстаті 1516Ф1 (КСЗ ім. Седина) з діаметром планшайби 1400 мм та системою цифрової індикації.

Випробування обкатаних блоків на змінання їх канатами проводилося на судоперевантажувачах ВАТ «МГЗ». Блоки діаметром 800 мм із сталей 25Л і 35Л встановлювалися парами (один обкатаний, другий – необкатаний) по 8 блоків на судоперевантажувач (рис. 2).

Випробування проводилося 8 місяців. Однак підвищення твердості поверхневого шару на 25-30% профілю струмка, отриманого за допомогою наклепу, не привело до зменшення зносу поверхні. Аналіз процесу зносу робочої поверхні блоку показав, що крім стирання і змінання поверхні має місце зрізування поверхневого шару гартованими дротиками квадратного перерізу каната. З теорії різання металів відомо, що наклепаний метал зрізається легше, ніж ненаклепаний, оскільки на усадку попередньо наклепаної стружки робота не витрачається, тобто для зрізування наклепаного металу витрачається менша робота, ніж при різанні металу ненаклепаного. Такі ж результати отримано в роботі [7] при порівняльних випробуваннях на зносостійкість наклепаних і ненаклепаних металів під час зносу їх абразивними шкірками. Твердість абразиву значно перевищувала твердість зношуваних матеріалів. У роботі [8] також не було виявлено впливу наклепу на зносостійкість осьової сталі при зношуванні абразивними кругами на керамічній зв'язці. Проте, в роботі [9] автор, досліджуючи зносостійкість матеріалів за наявності в контакті поверхонь, що знаходяться під дією тертя, абразивних часток, показав,

що кварцові зерна з твердістю, яка значно перевершує твердість стискаючих їх пластинок, руйнуються. Причому руйнівне навантаження різко зменшується з підвищенням твердості однієї із стискуючих пластинок.



Рис.2. Зовнішній вид судоперевантажувача зі зміцненими обкатуванням канатними блоками, встановленими на пілоні (а) і виносній консолі мосту з боку моря (б)

З урахуванням вищевикладеного, для підвищення довговічності блоків було замінено метал блоку: сталь 35Л – на сталь 45Л і було виконано об'ємне гартування блоку в масло до твердості НВ 400. Обкатування роликотом підвищило твердість НВ ще на 15-20%. Процес зрізування поверхневого шару дроти-ками каната був усунений.

Дані про зношування наведено в табл.

Таблиця

**Змінання робочої поверхні канатних блоків (800/120) судоперевантажувача KRUPP**

Зношувана деталь	№ креслення	Зношування, мм	Тривалість роботи, місяців	Середнє зношування, мм/місяць
Блок не обкатаний	1.1.7/5 - 1А	4,3	4	1,0
	1.1.20/2 - 1	3,8	3	1,26
Блок обкатаний	1.1.7/5 - 1А	3,9	16	0,24
	1.1.20/2 - 1	3,2	12	0,26

Доля ефекту в підвищенні зносостійкості і втомної міцності наклепаного поверхневого шару, у відсутності процесу його зрізування, належить і залишковим стискуючим напруженням, що утворюються в шарі внаслідок пластичної деформації [10].

Підвищення зносостійкості деталей за рахунок наклепу поверхневого шару автор роботи [11] вважає наслідком посиленої дифузії кисню повітря в зміцнений метал, в якому створюються тверді хімічні сполуки  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  і  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , характерні для окислювального зносу, що протікає з найменшою інтенсивністю. Попереднє зміцнення металу перешкоджає розвитку спільної пластичної деформації металів деталей, які знаходяться під дією тертя, що викликає холодне зварювання, – схоплювання, що є найбільш інтенсивним видом зносу.

Таким чином, довговічність канатних блоків судоперевантажувачів після зміцнення їх струмків обкатуванням клиновим роликком була підвищена у 3-4 рази. Відповідно підвищилася і довговічність канатів, оскільки було усунуто переривання дротиків канату на нерівностях зношеного блоку, що підтверджено актом впровадження. Впровадження технології зміцнення канатних блоків у виробництво дало економічний ефект більш 50 тис. грн у рік.

Впровадження технології зміцнення канатних блоків на ВАТ «Миколаївбудмеханізація» проводилося на автокранах КС-3575 вантажопід'ємністю 10 тонн на шасі автомобіля ЗИЛ-133Г1 (Дрогобицький завод автомобільних кранів).

При виконанні підйомних робіт канатний блок діаметром 345 мм, виготовлений зі сталі 35, що розташований на стрілі поворотної платформи, внаслідок інтенсивної роботи потребував заміни через кожні 3-4 місяці роботи при повному завантаженні автокрану.

З метою усунення змінання робочої поверхні канатного блоку сталь 35 було замінено на сталь 45Л і проведено зміцнення обкатуванням робочої поверхні струменя профілю канатного блоку.

Пристрій для обкатування канатних блоків клиновим роликком було виготовлено на ДАХК «Чорноморський суднобудівний завод».

Виготовлення клинового ролика діаметром 117,67 мм виконувалося на координатно-розточувальному верстаті з числовим програмним керуванням MIKROMAT 9A (ВКОЗ 900x1400/6NC3, Німеччина) з пристроєм CNC – H646 (блок

системи керування ЧПК **Siemens AG**, Німеччина) та розробленою керуючою програмою для механічної обробки.

Обкатування канатних блоків пристроєм з клиновим роликом проводилося на дочірньому підприємстві Миколаївський ремонтно-механічний завод «Гидрореммаш» ВАТ «Укргідроспецфундаментстрой». Для цього було використано універсальний токарно-гвинтонарізний верстат **1K65**.

Канатний блок встановлювали однією стороною (отвором під підшипники) і затискали у патроні верстату, а іншу сторону – через спеціальну оправку підтискали задньою бабкою. Пристрій встановлювали в різцедержавку верстату.

Після обкатування канатний блок встановлювали на автокран, де він працював на повному режимі завантаження. При проходженні планової сертифікації автокрану канатний блок знімали і проводили огляд робочої поверхні струмка канатного блоку. Стан робочої поверхні залишався задовільним, а наробіток до допустимого зносу при цьому склав **16** місяців. Обривів дротиків виявлено не було.

Таким чином, за рахунок обкатування робочої поверхні профілю канатних блоків довговічність підвищилася до **4** разів, що підтверджено актом впровадження. Економічний ефект від впровадження зміцнених канатних блоків за рахунок підвищення строку служби за рік склав **20,5** тис. грн у рік.

Тому, при розрахунку економічний ефект від впровадження обкатування роликами канатних блоків досягається:

1. Зниженням трудовитрат на чистову обробку робочої поверхні канатних блоків при заміні частини чистових проходів при обробці різцем обкатуванням.

2. Підвищенням контактної міцності при роботі в парі сталених канатного блоку і канату, працюючих на ВАТ «МГЗ» і ВАТ «Миколаївбудмеханізація».

Для заводу-виготівника річний економічний ефект, отриманий від впровадження обкатування канатних блоків роликами, розраховуємо у відповідності з [12] за формулою:

$$E_{\text{е}} = (C_1 - C_2)P_{\text{р}} - E_{\text{нв}} \Delta K, \quad (1)$$

де  $C_1$  і  $C_2$  – собівартості виготовлення деталі до і після застосування обкатування канатних блоків;

$P_p$  – річна програма;  
 $E_{нев}$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень у виготівника;

$\Delta K$  – величина додаткових капітальних витрат.

Річний економічний ефект підприємства-споживача

$$E_c = (C_{n1} - C_{n2})M + E_{ис}[(C_1 - C_2)P_p - E_{нев}\Delta K] = \Delta C_e M - E_{нев}E_e, \quad (2)$$

де  $C_{n1}$ ,  $C_{n2}$  – річні собівартості продукції, виготовленої на машині до і після поліпшення її якості;

$M$  – кількість машин підвищеної якості, що знаходяться в експлуатації;

$E_{ис}$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень у споживача;

$\Delta C_e$  – зменшення експлуатаційних витрат, пов'язаних з роботою устаткування підвищеної якості.

При розрахунку ефекту за формулою (1) в собівартості  $C_1$  і  $C_2$  необхідно включати тільки різні за величиною для порівняльних варіантів елементи витрат, тобто вести співставлення за технологічною собівартістю ( $C_m$ ). Остання в загальному виді може бути представлена як сума витрат на основний матеріал ( $M_o$ ), оплату штучно-калькуляційного часу виробничих працівників ( $Z_{ш-к}$ ), витрат, пов'язаних з роботою обладнання ( $P_o$ ), витрат на експлуатацію інструменту ( $P_i$ ), витрат на оснастку ( $O$ ), віднесених на одну деталь, які знаходяться згідно з [12].

У розгорнутому вигляді формула для розрахунку технологічної собівартості може бути представлена так

$$C_m = B_m C_m + \sum H_{ш-к} Z_p + \sum H_{маш,р} C_{мч} + \sum H_{маш,р} P_{i,ч} + \sum (\kappa C_{ос} / P_p). \quad (3)$$

Розрахуємо річний економічний ефект від впровадження обкатування роликками канатних блоків.

Річний економічний ефект на заводі-виготівнику може бути визначений як різниця технологічної собівартості виготовлення канатних блоків до і після впровадження обкатування.

Собівартість  $C_1$  слюсарного доведення робочої поверхні канатного блоку на токарному верстаті складала 177,35 грн (заробітна плата  $Z_{ш-к} = 66,20$  грн; витрати, пов'язані з роботою обладнання,  $P_o = 98,35$  грн; витратні матеріали  $O = 12,80$  грн).

Собівартість  $C_1$  при впровадженні обкатування складала 74,45 грн ( $Z_{ш-к} = 18,60$  грн;  $P_o = 37,75$  грн;  $O = 18,10$  грн).

Тоді

$$E_e = (C_1 - C_2)P_p = (177,35 - 74,45) \cdot 64 = 6585,6 \text{ грн.}$$

Скорочення експлуатаційних витрат  $\Delta C_e$  на заводі-виготівнику може бути визначено за формулою:

$$\Delta C_e = [(N_{o1}C_{o1} - N_{o2}C_{o2})D_o + (N_{k1} - N_{k2})C_k D_k + C_n H_u (N_{c1} - N_{c2})] / T, \quad (4)$$

де  $N_1, N_2$  – кількість замін зношених деталей до і після застосування обкатування за весь термін служби машин (індекси  $b$  і  $k$  – відповідно для змінних блоку та канату);

$C_1$  і  $C_2$  – вартість деталей до і після застосування обкатування;

$D$  – кількість деталей, що входять до виробу;

$C_n$  – вартість однієї години простою;

$H_u$  – середня норма часу на заміну;

$N_{c1}, N_{c2}$  – середня кількість замін до і після застосування обкатування;

$T$  – термін служби машини.

При розрахунку  $\Delta C_e$  було прийнято такі вихідні дані: вартість канатного блоку і канату (за вирахуванням вартості відходів) відповідно дорівнює **5386** і **29980** грн; збільшення терміну служби деталей у **4** рази, відповідно канатного блоку до **1,5** року і канату до **3,3** років; час на заміну – **8** годин, вартість однієї години простою судоперевантажувача (за даними РМЦ) – **1800** грн, термін служби – **20** років.

$$\Delta C_e = [(78 \cdot 5386 - 16 \cdot 5283,1) \cdot 2 + (15 - 6) \cdot 29980 \cdot 2 + 1800 \cdot 8 \cdot (47 - 11)] : 20 = 86459,84 \text{ грн.}$$

Економічний ефект (для споживача) від впровадження розраховуємо за формулою (2):

$$E_e = 86459,84 \cdot 1 + 0,2 \cdot 6585,6 = 87776,96 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект по двом судоперевантажувачам ВАТ «МГЗ» складе  $\Delta C_e = 87776,96 = 175500$  грн.

Впровадження процесу обкатування канатних блоків автокранів ВАТ «Миколаївбудмеханізація» дало річний економічний ефект **20500** грн за рахунок підвищення контактної міцності у **3-4** рази, зниження трудовитрат на обробку робочої



поверхні канатних блоків та підвищення довговічності самих канатних блоків.

Загальний річний економічний ефект від впровадження обкатування сталних деталей з метою підвищення їх контактної міцності  $E_p = 175500 + 20500 = 196000$  грн.

**Висновки.** Отже, обкатування роликками робочого профілю канатних блоків підвищує їх контактну міцність, а отже і довговічність у 3-4 рази. Відповідно підвищилася і довговічність канатів, оскільки був усунений перегин дротиків канату на нерівностях зношеного блоку. При цьому досягається високий економічний ефект при незначних капітальних вкладеннях.

Література:

1. Попов А. П. Контактная задача напряженно-деформированного состояния тел при работе стального канатного блока и троса [Текст] / А. П. Попов, Б. И. Бутаков, Д. Д. Марченко // Проблемы трибологии. — 2011. — № 1. — С. 29—36.
2. Бутаков Б. И. Повышение контактной прочности стальных деталей с помощью поверхностного пластического деформирования [Текст] / Б. И. Бутаков, Д. Д. Марченко // Проблемы трибологии. — 2008. — № 1. — С. 14—23.
3. Бутаков Б. И. Разработка способа обкатывания роликами стальных деталей с целью повышения их контактной прочности [Текст] / Б. И. Бутаков, Д. Д. Марченко // MOTROL. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture Polish Academy of Sciences Branch of Lublin Ropczyce School of Engineering and Management. — Lublin, 2008. — Vol. 10B. — P. 15—28.
4. Бутаков Б. И. Технология обкатывания роликами деталей складной формы [Текст] / Б. И. Бутаков, Д. Д. Марченко // Вісник аграрної науки Причорномор'я. — Миколаїв, 2007. — Вип. 1 (39) — С. 242—251.
5. Бутаков Б. И. Оптимизация параметров поверхностного упрочнения обкатыванием роликами канатных блоков с целью повышения их контактной прочности [Текст] / Б. И. Бутаков, Д. Д. Марченко // Проблемы трибологии. — 2010. — № 3. — С. 99—107.
6. Инструкция по техническому обслуживанию судоперегрузателя «KRUPP» : МТО — 212.00.00.00 [в 2 частях]. — Ленинград: Всесоюзный ордена октябрьской революции научно-исследовательский и проектный институт алюминиевой, магниевой и электродной промышленности ВАМИ — 100с. — (Нормативный документ Министерство металлургии СССР. Инструкция).
7. Хрущев М. М. Экспериментальные основы теории абразивного изнашивания [Текст] / М. М. Хрущев, М. А. Бабичев // Вестник машиностроения. — 1964. — № 6. — С. 56—62.
8. Кашеев В. Н. Абразивное разрушение твердых тел [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора фіз.-мат. наук / Кашеев В. Н. — Томск, 1963. — 45 с.
9. Тененбаум М. М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании [Текст] / М. М. Тененбаум. — М. : Машиностроение, 1966. — 332 с.
10. Школьник Л. М. Технология и приспособления для упрочнения и отделки деталей накатыванием [Текст] / Л. М. Школьник, В. И. Шахов — М. : Машиностроение, 1964. — 184 с.
11. Маталин А. А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин [Текст] / А. А. Маталин — К. : Техника, 1971. — 144 с.
12. Семибратов В. П. Экономическая эффективность обработки крупных деталей машин поверхностным пластическим деформированием [Текст] / В. П. Семибратов, В. В. Топычканов, Б. И. Бутаков // Вестник машиностроения. — 1971. — № 12. — С. 71—73.