

**К. А. МИРОНОВ, О. В. ДМИТРИЄНКО**

## СПОСОБИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ПРИСТРОЯХ ДЛЯ ГІДРОЗБИВАННЯ ОКАЛИНИ

Розглянута причина виникнення окалини на литих заготовках та в процесі плющення, показана різниця фізичних властивостей окалини і основного металу, що знижує якість і стійкість металу, а також ускладнює обробку виробу. Запропонований ефективний спосіб видалення окалини, який є екологічним, не потребує додаткової обробки води і не деформує металічної поверхні. Проведений аналіз пристроїв для видалення окалини з поверхні металу показав, що перші колектори з соплами мали проблеми з експлуатацією: великі витрати води та енергії та неякісне очищення металеві поверхні. Запропоновано їх замінити на пристрої гідрозбивання іншого принципу з роторними головками, які використовують дуже малу витрату при високому тиску удару, що також знижує витрати електроенергії. Надана порівняльна таблиця звичайних колекторів і колекторів з іншим принципом дії через удосконалення конструкції пристроїв для подачі рідини на поверхню металу за умови якості очищення металу від окалини. Запропоновані способи збереження електроенергії. Виявлено, що можна знижувати енерговитрати, оптимізуючи роботу електроприводу насосної станції. Результат оптимізації наданий у вигляді графіка економії енергії в період пауз гідрозбивання за допомогою регульованого електроприводу з частотним керуванням і гідроромуфти. Запропоновано на основі проведеного аналізу пристроїв для видалення окалини ще один спосіб зниження електроенергії через удосконалення конструкції пристроїв подачі води на поверхню металу шляхом покращення їхніх властивостей. Виявлено, що важливу роль у видаленні окалини грає не тільки особливості конструкції сопел, а і їхнє оптимальне розташування. Система гідрозбиву окалини повністю управляється автоматом, що дає можливість регулювати параметри видалення окалини та забезпечувати необхідний робочий тиск у системі, компенсацію зносу сопел.

**Ключові слова:** гідрозбивання, сопло, колектор, відцентровий насос, високонапірна насосна станція, гідромуфта.

**К. MYRONOV, O. DMYTRIENKO**

## METHODS OF ENERGY SAVING IN DEVICES FOR HYDRO-CRACKING OF SCALE

The cause of scale formation on the cast blanks and in the process of ivy is considered, the difference between the physical properties of the scale and base metal is shown, which reduces the quality and stability of the metal, and also complicates the processing of the product. The proposed effective way to remove the scale, which is environmentally friendly, does not require additional water treatment and does not deform the metal surface. The analysis of devices for removal of scale from the metal surface showed that the first collectors with nozzles had problems with operation: high water and energy consumption and poor cleaning of the metal surface. They are proposed to replace them with a hydraulic device with a rotary principle with rotary heads that use very low cost at high impact pressure, which also reduces electricity consumption. A comparative table of ordinary collectors and collectors with a different principle is provided by improving the design of devices for supplying fluid to the metal surface with the quality of cleaning of the metal from scale. Electricity is proposed. It is revealed that you can reduce the eager expenses by optimizing the operation of the pumping station. The optimization result is given in the form of an energy saving schedule in the period of hydraulic pauses by means of an adjustable electric drive with frequency control and hydraulic rods. It is proposed on the basis of the analysis of devices for removal of scale another way to reduce electro -energy by improving the design of water supply devices to the metal surface by improving their properties. It is revealed that not only the features of the design of the nozzles, but their optimal location, plays an important role in removing the scale. The hydraulic scale system is fully controlled by the machine, which allows to regulate the parameters of removal of the scale and to provide the required working pressure in the system, to compensate for the wear of the nozzles.

**Keywords:** hydraulic whipping, nozzle, collector, centrifugal pump, high-pressure pumping station, hydraulic coupling.

**Вступ.** У металургійній промисловості окалина, що утворюється на поверхні гарячого металу створює досить серйозні проблеми. Вона утворюється на литих заготовках, а також в процесі плющення, в результаті взаємодії при нагріві поверхні продукції з докільціям (в основному кисень з повітря). Окалина за своїми фізичними властивостями відрізняється від основного металу, і тому вона ускладнює подальшу обробку виробу, а також знижує його якість і стійкість при використанні готової продукції. Необхідною умовою для вирішення даного завдання є повне видалення окалини з поверхні металу під час його прокатування.

Найбільш ефективним способом видалення окалини є гідравлічний. Гідравлічне видалення окалини (гідрозбивання) – видалення окалини з поверхні металу при гарячій прокатці водою під високим тиском. Для полегшення збиття окалини струменя води із сопел спрямовують під кутом проти руху металу. Процес видалення окалин є цілком екологічним. Для очищення поверхні використовують звичайну воду без додаткової обробки.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** Пристрої для гідрозбивання окалини

складаються з двох основних частин: пристрої створення та акумулювання води під тиском (напірної води); і підвідних та розбризкувальних пристроїв із соплами, колекторами та дозаторами.

Історично першими з підвідних та розбризкувальних пристроїв виникли і надалі набули найбільшого промислового поширення конструкції пристроїв для гідравлічного видалення окалини у вигляді стаціонарних колекторів, в які подається під необхідним тиском вода, із закріпленими на них соплами з плоским смолоскипом (рис. 1) [1]. Практика використання стаціонарних колекторів виявила окремі проблеми, пов'язані з їх експлуатацією, а саме: великі витрати води і вжиток електроенергії, наявність зон на поверхні прокату з неповним очищенням із-за відмінності в характеристиках окалини.

Дані факти призвели до створення пристроїв для гідравлічного видалення окалини, що ґрунтуються на іншому принципі. Видалення окалини виконується одним або декількома струменями води поступово по ширині прокату, переміщаючись з одного боку прокату до іншого.

Потім подача води відключається і відбувається

повернення пристрою у вихідне положення. Струмені, переміщуючись по ширині прокату, можуть також здійснювати круговий рух навколо вертикальної осі.

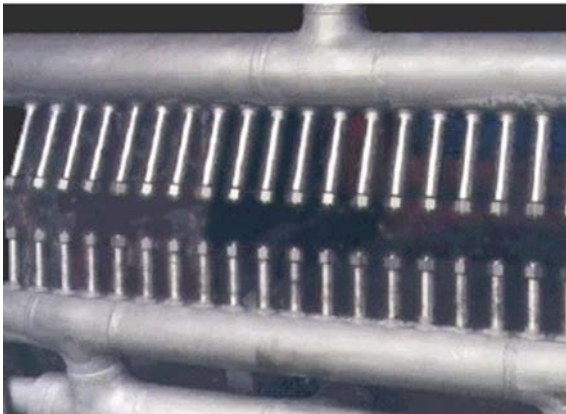


Рис. 1. Водяной колектор з соплами

Подальші тенденції зниження як тепловтрат, і енергоспоживання при гідрозбиванні, отже, і вартості встановленого устаткування, і, навіть, підвищення якості очищення металу було реалізовано у пристроях гідрозбивання з роторними головками (рис. 2) [2, 3].

У таких системах використовуються, як правило, круглі сопла масивного струменя, які створюють дуже високий тиск удару [2, 4]. Тиск у цих системах становить від 30 до 60 МПа при витратах води до 500 л/хв, а тиск удару в 10 разів більший, ніж удар із плоского сопла. Кількість сопел невелика (5, 6 голівок), щоб покрити ширину заготовки. Такий тип гідрозбивання використовує дуже малу витрату при високому тиску удару. Оскільки витрата води мала, необхідна встановлена потужність невелика за дуже високої ефективності використання енергії.

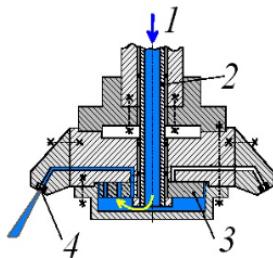


Рис. 2. Розріз роторної головки VAI:

1 – вода; 2 – трубка; 3 – регульовальна шайба; 4 – сопло

Роторні системи, що працюють при особливо малих витратах, загалом мають покращені характеристики при трохи нижчих швидкостях руху металу (табл. 1).

Сучасні системи та агрегати гідрозбиву характеризуються широким використанням автоматизації [5, 6].

У АТ «NOVA HUT» (Острава) для видалення первинної окалини розроблена система високонапірного гідрозбивання із заготовок при виготовленні безшовних труб. Установка гідрозбивання встановлена на виході з карусельної печі перед перфоратором. Окалина усувається з початкових заготовок, які потім поступають в

перфоратор. Перевагою усунення окалини є підвищення якості кінцевого продукту (безшовних труб) і зниження витрат на технічне обслуговування унаслідок низького зносу технологічного устаткування. Усунення окалини із заготовок досягається за допомогою дії високошвидкісного водяного потоку. Джерелом напірної води є високонапірна насосна станція, яка подає воду по трубопроводній трасі до місця гідрозбивання, де знаходиться вінець гідрозбивання з форсунками. Вся система управляється автоматично залежно від технологічного процесу [5].

Таблиця 1 – Порівняння різних систем гідрозбивання [4]

Параметри систем	Типи систем	
	звичайні	роторні
1. Системний тиск, МПа	18,3	20,4
2. Кількість сопел, шт.	16	20
3. Витрата на колектор, л/хв	2400	348
4. Витрата на сопло (головку), л/хв	150	17,4
5. Питомий тиск удару, кПа (ат)	620 (6,3)	4000 (40,8)
6. Питома витрата, л/м <sup>2</sup>	24,5	3,8
7. Потужність насоса, кВт	950	450
8. Потрібна енергія, кВт·час	4,0	2,3

Проведений аналіз [1–9] дозволив виявити, які проблеми стоять на шляху ефективності роботи пристроїв гідравлічного видалення окалини.

**Мета та задачі дослідження.** Метою роботи є зниження енергоспоживання пристроїв для гідрозбивання окалини.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- огляд основних частин пристроїв для видалення окалини, виявлення їхніх недоліків;
- пошук резервів для зменшення енергоспоживання.

**Способи енергозбереження.** Частіше для створення напору води в пристроях для гідрозбивання на сьогоднішній день є пристрої з відцентровими насосами з гідравлічними акумуляторами, тобто високонапірна насосна станція.

Як правило, насосна станція складається з 5 насосів (типу ЦНС-180/1050) для подачі води на гідрозбивання окалини та підйомно-поворотних столів.

Основним недоліком застосування системи гідровидалення окалини загалом є підвищене енергоспоживання – потужність приводного електродвигуна насосно-акумуляторної станції порівнянн з сумарною потужністю двигунів приводу ролгангу.

Один із способів зниження енергоспоживання є оптимізація роботи електроприводу насосної станції. Цей спосіб описаний в [4]. Там порівнюється енергоспоживання класичної насосно-акумуляторної станції з дросельним керуванням та насосного агрегату з частотним керуванням.

Застосування частотного приводу для насосних станцій систем гідрозбивання окалини дозволяє

знизили енергоспоживання видалення окалини з металу. При цьому економія електроенергії відбувається в різних «точках» системи гідровидалення окалини: при циклічній роботі системи гідрозбивання частотний перетворювач дозволяє під час пауз між гідрозбиванням переводити двигун у режим так званого «вибігу», при цьому підтримується мінімальна критична частота обертання ротора двигуна з метою можливості достатньо швидкого розгону при включенні гідрозбивання та недопущення виникнення гідроудару по колектору з форсунками та іншою гідравлічною апаратурою, таким чином можна досягти значного (20–25 %) зниження енергоспоживання, оскільки відсутня необхідність заповнювати гідроаккумулятори. У той же час застосування частотного перетворювача для керування електродвигуном насосного агрегату дає можливість повністю реалізувати концепцію граничної ударної енергії потоку, оскільки стає можливим плавне регулювання частоти обертання приводу насоса і, відповідно, регулювання подачі насоса і витрати в широких межах. К таким висновкам прийшла й фірма VOESTALPINE, Лінц, Австрія [2]. Рис. 3 характеризує економію електроенергії при зниженні швидкості відцентрового насоса в період пауз гідрозбивання за допомогою частотного перетворювача і гідромумфти [4].

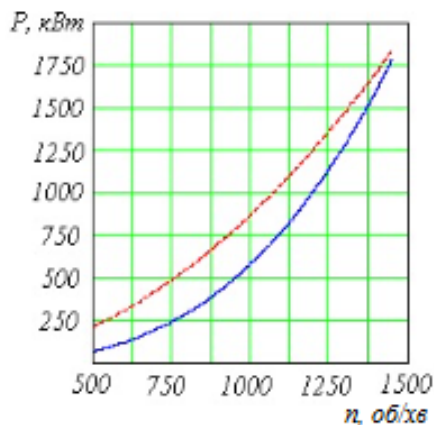


Рис. 3. Економія електроенергії в період пауз гідрозбивання: верхня крива – гідромумфта; нижня крива – регульований електродвигун [4]

Інший спосіб зниження енергоспоживання – це удосконалення пристрою для подачі рідини на поверхню прокату за умови якості очищення металу від окалини. В основі даного способу лежить забезпечення в режимі реального часу необхідної енергії видалення окалини в залежності від характеристик окалини на поверхні виробу шляхом оптимізації параметрів потоків рідини, що дозволяє досягти високої якості видалення окалини [10].

Важливу роль в видаленні окалини відіграє підбір форсунок та їхнє оптимальне розташування. Крім того, це дозволяє реалізувати весь потенціал енергозбереження та запобігти зростанню витрат на електроенергію (рис. 4) [11, 12].

У процесі гідрозбивання особливе значення має

сила удару (імпект) форсунки. Велика сила удару форсунок гідрозбивання досягається завдяки їхній спеціальній конструкції у вигляді плоскофакельних форсунок з дуже малою товщиною смолоскипа, що досягається шляхом поєднання спеціальної вставки та фільтра-стабілізатора [11].

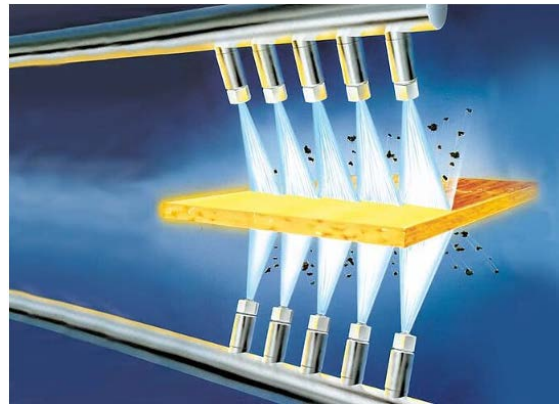


Рис. 4. Колектор з форсунками для видалення окалини німецької фірми Lechler

На рис. 5 представлений пристрій серії форсунок фірми Lechler SCALEMASTER: на ділянці підведення води перед форсункою передбачено напрямний пристрій для струменя, який створює згладжений потік води без турбулентності [11].

Форсунки гідрозбивання Lechler набули широкої популярності та забезпечують оптимальні умови для найвищої якості продукції, низьких витрат на обслуговування та зниження зносу валків.

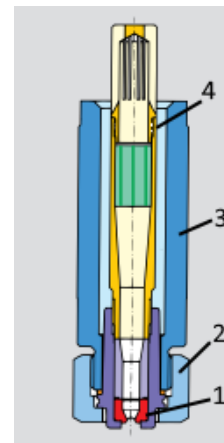


Рис. 5. Форсунка фірми Lechler SCALEMASTER: 1 – форсунка; 2 – накидна гайка; 3 – ніпель; 4 – напрямний пристрій для потоку води на вході

**Висновки.** 1. Правильний вибір сопел та їхнє оптимальне розташування знижує витрати на електроенергію та підвищує якість очищення металу від окалини.

2. Істотним резервом, що дозволяє значно знизити енергоспоживання установки гідровидалення окалини є застосування частотного приводу як пристрою, що керує електродвигуном насосної станції або електродвигуна постійної швидкості спільно з гідромумфтою.

## Список літератури

1. Грабовський Г. Г., Ієвлев М. Г., Чистоп'янов О. Ф. Теоретичний аналіз механізмів руйнування окалини при гідрозбиванні. *Автоматизація виробничих процесів*. 2005. № 2 (21). С. 99–106.
2. Manfred M. W. Upscaling of descaling – 2nd International Conference on hydraulic de-scaling in rolling mills. *Steel Times International*. 1988. No. 1. P. 17–18.
3. Silk N. J. The practical aspects of hydraulic de-scaling. *Steel Times International*. 2001. No. 7. P. 38.
4. Грабовський Г. Г., Ієвлев М. Г., Євдоксін А. В., Корбут В. Б. Енергозбереження в системах гідрозбивання окалини на станах гарячої прокатки. *Промислова електроенергетика та електротехніка*. 2005. № 4. С. 59–63.
5. Ієвлев М. Г., Корбут В. Б. Енергозберігаюча автоматизована система гідрозбивання окалини для стана гарячої прокатки. *Науково-технічна інформація*. 2012. № 1 (51). С. 44–48.
6. Добряк В. Д., Степаненко О. М., Угрюмов Ю. Д. Пат. 97007, Україна. *Пристрій для гідрозбивання окалини*. 2015.
7. Степаненко О. М., Добряк В. Д., Угрюмов Ю. Д. Пат. 105598, Україна. *Пристрій для гідрозбивання окалини з внутрішньої поверхні нагрітих довгомірних нерухомих труб*. 2016.
8. Sheridan A. T., Simon P. Descaling of Steels in Rolling Mills. *European Steel-making Developments & Perspectives in Rolling & Reheating: Conf. (1–2 February 1995, Luxembourg)*. Luxembourg, 1995. 224 p.
9. Бердніков О. К., Євгіненко І. О., Левіна В. І. Пат. 21334, Україна. *Пристрій для гідролічного видалення окалини із плоского прокату*. 2007.
10. Серєда Б. П., Прищип М. Г., Кругляк І. В., Васильченко Т. О. *Прокатка листів та штаб*. Запоріжжя: ЗДІА, 2012. 186 с.
11. *Lechler*. URL: <https://www.lechler.com/de-en/lechler-uk> (дата звернення: 05.12.2022).
12. Ельс Б., Фігер-Шланген К., Шустер І., Арменат Ю. Пат. 78237, Україна. *Пристрій і спосіб видалення окалини, яка відшаровується, з поверхні сляба*. 2007.
2. Manfred M. W. Upscaling of descaling – 2nd International Conference on hydraulic de-scaling in rolling mills. *Steel Times International*. 1988. no. 1, pp. 17–18.
3. Silk N. J. The practical aspects of hydraulic de-scaling. *Steel Times International*. 2001. no. 7, p. 38.
4. Hrabov'skyi H. H., Iyevlyev M. H., Yevdoksin A. V., Korbut V. B. Enerhozberezhennya v systemakh hidrozbyvannya okalyny na stanakh haryachoyi prokatky [Energy saving in slag hydro-beating systems on hot rolling mills]. *Promyslova elektroenerhetyka ta elektrotehnika*. 2005. no. 4, pp. 59–63.
5. Iyevlyev M. H., Korbut V. B. Enerhozberihayucha avtomatyzovana systema hidrozbyvannya okalyny dlya stana haryachoyi prokatky [Energy-saving automated slag hydro-beating system for hot rolling mill]. *Naukovo-tekhnichna informatsiya*. 2012, no. 1 (51), pp. 44–48.
6. Dobryak V. D., Stepanenko O. M., Uhryumov Yu. D. *Prystriy dlya hidrozbyvannya okalyny* [Device for hydro whipping of scale]. Patent UA, no. 97007, 2015.
7. Stepanenko O. M., Dobryak V. D., Uhryumov Yu. D. *Prystriy dlya hidrozbyvannya okalyny z vnutrishn'oyi poverkhni nahriykykh dovhomirnykh nerukhomykh trub* [Device for hydraulic descaling from inner surfaces of heated still lengthy pipes]. Patent UA, no. 105598, 2016.
8. Sheridan A. T., Simon P. Descaling of Steels in Rolling Mills. *European Steel-making Developments & Perspectives in Rolling & Reheating: Conf. (1–2 February 1995, Luxembourg)*. Luxembourg, 1995. 224 p.
9. Berdnikov O. K., Yevhynenko I. O., Levina V. I. *Prystriy dlya hidravlichnogo vydalennya okalyny iz ploskoho prokatu* [Device for hydraulic descaling of flat rolled products]. Patent UA, no. 21334, 2007.
10. Sereda B. P., Pryshchyp M. H., Kruhlyak I. V., Vasylychenko T. O. *Prokatka lystiv ta shtab* [Sheet rolling and headquarters]. Zaporizhzhya, ZDIA Publ., 2012. 186 p.
11. *Lechler*. Available at: <https://www.lechler.com/de-en/lechler-uk> (accessed 05.12.2022).
12. El's B., Fiher-Shlanhen K., Shuster I., Armenat Yu. *Prystriy i sposib vydalennya okalyny, yaka vidsharovuyet'sya, z poverkhni slyaba* [Device and method for removing loose cinder from surface of slab]. Patent UA, no. 78237, 2007.

## References (transliterated)

1. Hrabov'skyi H. H., Iyevlyev M. H., Chystop'yanov O. F. Teoretychnyy analiz mekhanizmiv ruynuvannya okalyny pry hidrozbyvanni [Theoretical analysis of the mechanisms of scum destruction during hydraulic thrashing]. *Avtomatyzatsiya vyrobnychykh protsesiv*. 2005, no. 2 (21), pp. 99–106.

Надійшла (received) 11.12.2022

## Відомості про авторів / About the Authors

**Міронов Костянтин Анатолійович (Mironov Konstantin)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», заступник директора ННІ МІТ; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6034-410X>; e-mail: konst.mironov@gmail.com

**Дмитрієнко Ольга Вячеславівна (Dmytrienko Olha)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Гідролічні машини ім. Г. Ф. Проскури»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3510-2176>; e-mail: olga\_dm@meta.ua