

Румянцев Владислав Ростиславович, доцент, кандидат технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0002-4404-3454

Шарапова Тетяна Анатоліївна, доцент, кандидат фармацевтичних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0002-9868-5428

Куріс Юрій Володимирович, професор, доктор технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0001-7169-9187

Воляр Роман Миколайович, доцент, кандидат технічних наук, Запорізький національний університет, ORCID: 0000-0002-7299-0053

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ КОНВЕРТОРНОГО ВИРОБНИЦТВА

У роботі розглянуті інноваційні технології підвищення техногенної безпеки на прикладі конверторного виробництва. У сучасному конвертерному виробництві стали використовують новітні технології для підвищення ефективності процесу. Переважним варіантом здійснення такої плавки сталі є використання комбінованої продувки, коли кисень подають до конвертера зверху, а інертний газ – знизу (через днище) одночасно, тривалість плавки зменшується до 30–35 хв. Через суттєве підвищення інтенсивності плавки та складність технологічного обладнання управління зазначеним процесом потрібно більше уваги та відповідальності робочого персоналу з метою підвищення рівня техногенної безпеки.

До порушень технологічного процесу, що пов'язані з впливом зовнішніх чинників, слід віднести можливість недотримання технології підготовки металобрухту (підвищена вологість, наявність мастила), нерівномірність подавання кисню, а також перебої постачання енергії. Такі порушення можуть призвести до виплесків металу та шлаку, пошкоджень футерівки, а також небезпечних зупинок процесу плавки. Небезпечним явищем є можливість втрати металу з конверторів і сталерозливних ківшів через порушення їх герметичності. Так, у нижній частині конвертера на його футерівку систематично діють значні динамічні навантаження у період завантаження металобрухту. Зношення футерівки відбувається завдяки реакції її компонентів з оксидом кремнію шлаку, що має кислотні властивості. Порушення цілісності футерівки за певних умов може призвести до виливання металу з нижньої або бічної частини кожуха конвертера.

Для пошуку раціональних засобів захисту працівників розроблено апаратурно-технологічну схему небезпечних зон процесу. Показано, що значну небезпеку представляє наявність вологи у футерівці ківшів під час заливання сталі. До нормованих параметрів безпеки процесу плавки у конвертері слід віднести стан внутрішньої поверхні футерівки конвертера; фізико-хімічні параметри шихтових матеріалів, а також фізичні параметри кисневого струменя. Порушення параметрів безпеки процесу складаються з порушень під час подавання кисню (тривалість 6,4 год.), порушень, пов'язаних з неправильним положенням кисневої фурми (тривалість 14,5 год.), а також порушень хімічного складу металу (13,5 год.)

Ключові слова: техногенна безпека, конвертер, продувка, аварійна ситуація, захист працівників.

Вступ. У сучасному конвертерному виробництві стали використовують новітні технології для підвищення ефективності процесу [8, 9]. Переважним варіантом здійснення такої плавки сталі є використання комбінованої продувки, коли кисень подають до конвертера зверху, а інертний газ – знизу (через днище) одночасно, тривалість плавки зменшується до 30–35 хв. [10]. Через суттєве підвищення інтенсивності плавки та складність технологічного обладнання управління зазначеним процесом потрібно

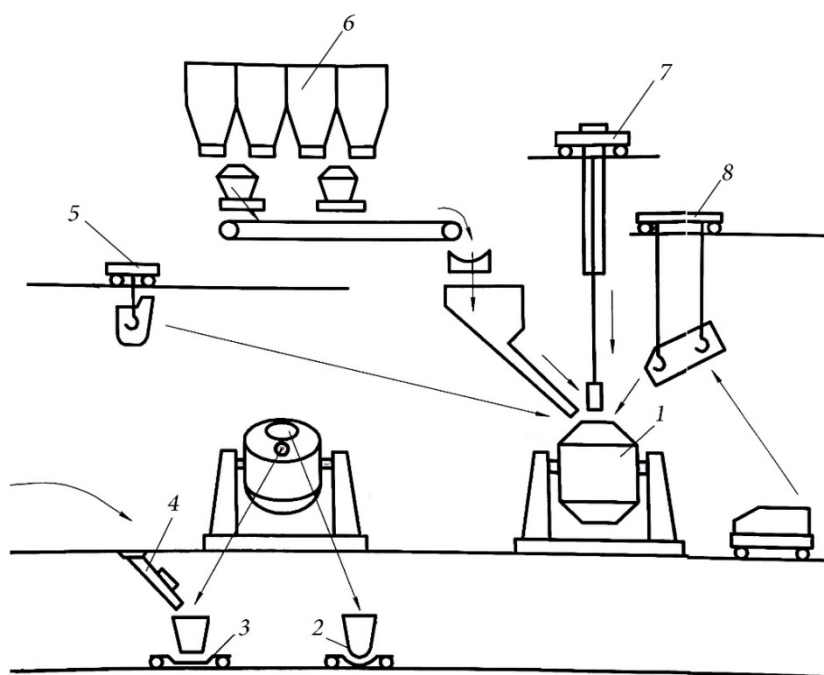
більше уваги та відповідальності робочого персоналу з метою підвищення рівня техногенної безпеки.

Постановка завдання. Для пошуку раціональних засобів захисту розроблено апаратурно-технологічну схему небезпечних зон процесу. Місця виникнення шкідливих та небезпечних виробничих чинників у типовому конвертерному цеху подано на рисунку 1 [11].

До порушень технологічного процесу, що пов'язані з впливом зовнішніх чинників, слід віднести можливість недотримання технології підготовки металобрухту (підвищена вологість, наявність мастила), нерівномірність подавання кисню, а також перебої постачання енергії. Такі порушення можуть призвести до виплесків металу та шлаку, пошкоджень футерівки, а також небезпечних зупинок процесу плавки [5].

Подавання кисню та відведення продуктів згоряння здійснюють за допомогою пристроїв, що охолоджуються водою, несправність яких може призвести до екстремальних відхилень процесу під час контакту рідкого металу та шлаку з водою.

Значну небезпеку представляє наявність вологи у футерівці ківшів під час заливання сталі. Знаходячись під рідиною з температурою $\sim 500^{\circ}\text{C}$, вологі матеріали охолоджують її прилеглі шари та створюють тверду кірку, під якою здійснюються випаровування та розкладання води з утворенням гримучої суміші. Вибух у цьому разі відбувається наприкінці заповнення ковша сталлю або на початку її розливання по виливницям. Викиди розплавленого металу та шлаку з горловини конвертера під час продування киснем створюють небезпеку травмування робочого персоналу, а також призводять до втрат металу, що може досягати 3 % його маси.



1 – конвертер (I, III, IV, V, VI, VII, VIII); 2 – ківш для шлаку (I, III, IV, V, VI); 3 – ківш для сталі (I, III, IV, V, VI); 4 – жолоб подавання розкислювачів (I, II, III, IV); 5 – кран для заливання чавуну (I, III, IV, V, VI, VII, VIII); 6 – бункери сипкої шихти (I, II, III); 7 – візок кисневої фурми (I, III, IV, VI); 8 – кран завантаження металобрухту (I, II, III, IV); I – шум; II – пил; III – вібрація; IV – рухомі механізми; V – газоподібні викиди; VI – теплове виділення; VII – електрична небезпека; VIII – пожежна небезпека

Рисунок 1 – Спрощена апаратурно-технологічна схема конвертерного цеху з позначенням зон виникнення шкідливих і небезпечних виробничих чинників

Суттєвого зменшення аварійних ситуацій у конвертерах досягають використанням випарного охолодження [8, 10], коли невелику масу гарячої води у холодильниках перетворюють на пару.

Небезпечним явищем є можливість втрати металу з конверторів і сталерозливних ківшів через порушення їх герметичності. Так, у нижній частині конвертера на його футерівку систематично діють значні динамічні навантаження у період завантаження металобрухту. Зношення футерівки відбувається завдяки реакції її компонентів з оксидом кремнію шлаку, що має кислотні властивості. Порушення цілісності футерівки за певних умов може призвести до виливання металу з нижньої або бічної частини кожуха конвертера.

Наявність у конвертерному цеху численних киснево провідів потребує специфічної організації робіт та значної площини для їх прокладання. Інтенсивність вантажних потоків є значно вищою, ніж в інших сталеплавильних виробництвах, що потребує більшої ретельності дотримання умов безпеки та наявності кваліфікованих спеціалістів.

До нормованих параметрів безпеки процесу плавки у конвертері слід віднести стан внутрішньої поверхні футерівки конвертера; фізико-хімічні параметри шихтових матеріалів, а також фізичні параметри кисневого струменя.

З урахуванням усіх видів порушень виконують розрахунки щодо визначення рівня безпеки конвертерного процесу [11].

Визначають термін безперервної роботи конвертера без зупинок на ремонт, тобто, частку часу U_6 , коли технологічний процес відбувається без порушень норм безпеки:

$$U_6 = \frac{\sum \tau_{п.б} + \sum \tau_{е.в} + \sum \tau_{з.ф}}{\tau_{заг.}}, \quad (1)$$

де $\sum \tau_{п.б} + \sum \tau_{е.в} + \sum \tau_{з.ф}$ – відповідно загальна тривалість часу порушень параметрів безпеки, загальна тривалість часу екстремального відключення виробництва та загальна тривалість часу порушення процесу під впливом зовнішніх факторів, год.

Для аналізу рівня безпеки використовують дані, що наведено у дефектних відомостях експлуатації конверторів.

Вихідні дані для розрахунків: місткість конвертера – 130 т, тривалість плавки – 45 хв.; загальна тривалість робочого часу конвертера без зупинки на ремонт $\tau_{заг} = 420$ год.

Порушення параметрів безпеки процесу ($\sum \tau_{п.б}$) складаються з порушень під час подавання кисню (тривалість 6,4 год.) порушень, пов'язаних з неправильним положенням кисневої фурми (тривалість 14,5 год.), а також порушень хімічного складу металу (13,5 год.), тобто їх тривалість складає $\sum \tau_{п.б} = 34,5$ год.

Порушення, що спричиняють екстремальне відключення процесу ($\sum \tau_{е.в}$), вміщують порушення, які пов'язані з різким виділенням струменів гарячих і шкідливих газів через відкриту горловину конвертера під час продування киснем (13,0 год.); порушення щодо охолодження головки кисневої фурми та значних викидів пари (8,0 год.), а також порушення, пов'язаних з бурхливим протіканням процесу, що супроводжуються виплесками та викидами рідкої сталі та шлаку (8,9 год.), тобто $\sum \tau_{е.в} = 29,9$ год.

Порушення параметрів за рахунок зовнішніх факторів ($\sum \tau_{з.ф}$) складаються з порушень щодо низької якості металобрухту (13,6 год.); нерівномірності подавання кисню (15,2 год.), а також нестабільного постачання енергії (8,0 год.), тобто $\sum \tau_{з.ф} = 36,8$ год.

Таким чином, рівень безпеки становить $U_6 = 76$ %, що за міжнародними вимогами є середнім і прийнятним для експлуатації.

Під час використання сучасної енергозберігаючої технології процесу з герметичним укриттям горловини конвертера (з використанням фізичної теплоти газів, що відходять, як вторинних енергоресурсів) суттєво підвищується рівень безпеки.

Так, автоматична установка фурми у спеціальному отворі укриття, що розташовано на вертикальній осі конвертера, дозволяє скоротити порушення параметрів безпеки процесу з 14,5 до 1,3 год., тобто $\sum \tau_{п.б} = 21,1$ год.

Тривалість порушень, які спричинено виділенням струменів гарячих і шкідливих газів через відкриту горловину конвертера під час продування киснем скорочуються з 13,0 до 6,5 год., а тривалість порушень, пов'язаних з цілісністю системи охолодження головки кисневої фурми та значними викидами пари – з 8,0 до 2,8 год., порушення через незначні вибухоподібні удари скоротилися з 8,9 до 2,4 год., тобто $\sum \tau_{е.в} = 12,7$ год. У такому разі рівень безпеки складає $U_6 = 83$ % і його можна віднести до високого.

Переробка значних обсягів рідкого металу є причиною підвищеної температури в цеху на робочих місцях і призводить до значного рівня теплового опромінення робочого персоналу цеху.

В таблиці 1 наведено допустиму тривалість знаходження працівника в небезпечній зоні залежно від потужності випромінювання .

Таблиця 1 – Допустима тривалість перебування працівника у зоні дії випромінювання

Потужність випромінювання, Вт/м ²	Допустима тривалість перебування в небезпечній зоні, хв.	Тривалість перерви, не менше, хв.	Припустимий час праці у зоні протягом робочого дня, %
≤ 350	без обмежень	-	100
500	20	5	70
700	15	5	50
1200	10	5	50
2000	5	5	50
2100	4,5	10	30
2800	заборонена робота без спеціальних засобів індивідуального захисту		

Визначають відстань від центра випромінювання (осі конвертера або розливного ковша) до безпечної зони L_i за формулою:

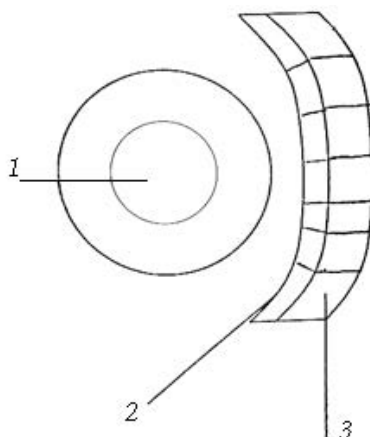
$$L_i = 0,78 \frac{S_d^{0,5}}{Q_H} \left[\left(\frac{T_d}{100} \right)^4 - 110 \right], \quad (2)$$

де S_d , T_d – площа поверхні джерела, що випромінює, та його температура, м² ($S_d = 1,0$ м²), К, відповідно; Q_H – оптимальна норма інтенсивності тепловиділення. $Q_H = 140$ Вт/м². Отримують $L_i = 2,5$ м.

Встановлено, що радіус небезпечної зони перевищує припустиме значення 2,0 м, тобто необхідно використовувати захисні екрани.

Згідно з результатами розрахунків, для захисту персоналу на відстані 1,0 м від джерела теплового випромінювання, достатньо встановити екрани з алюмінієвої фольги товщиною $\delta = 0,02$ м.

Оскільки температура джерела є досить високою (1023К), захисний екран слід футерувати теплоізоляційною цеглою (рис. 2).



- 1 – джерело випромінювання; 2 – відбивний матеріал (алюмінієва фольга);
3 – теплопоглинаючий матеріал (термостійка цегла)

Рисунок 2 – Схема розташування стаціонарних теплозахисних екранів

Термічний опір, який потрібно отримати за допомогою шару зазначеної цегли обчислюють як:

$$R=(T_{Ц} - T_e)/q_0 \quad (3)$$

де $T_{Ц}$ – температура термостійкої цегли, К; T_e – допустима температура зовнішньої стінки екрану, К; q_0 – теплові втрати, що затримує захисний екран, Вт. Їх значення обчислюють за відомою методикою [11].

Тоді необхідну товщину теплоізоляційної цегли визначають за формулою

$$\delta=R \cdot \lambda, \quad (4)$$

де λ – теплопровідність теплоізоляційної цегли, Вт/(м²·К).

Обчислюють кількість екранів за наступними вихідними даними: $T_d = 1023$ К, $T_e = 523$ К, температура навколишнього повітря $T_B = 300$ К. Ступінь екранізації становить $\mu = T_d / T_e = 1,4$.

Кількість екранів визначають як:

$$n = \frac{1 - \left(\frac{T_{НП}}{T_d}\right)^4}{\frac{1}{\mu^4} \cdot \left(\frac{T_{НП}}{T_d}\right)^4} \cdot \frac{E_d}{E_{НП}} - 1, \quad (5)$$

де T_d – температура джерела випромінювання перед екраном К; $T_{НП}$ – температура навколишнього повітря; $E_d, E_{НП}$ – наведена ступінь чорноти джерела та екрану й екрану та джерела і повітря, відповідно.

Одержано $n = 1,0$.

Площу небезпечної зони $S_{НЗ}$ обчислюємо, як:

$$S_{НЗ} = S_d + S_B + S_E, \quad (6)$$

де S_d – площа поверхні джерела, що випромінює, м²; S_B – площа впливу джерела, м²; $S_E = 9,81$ м²; S_E – площа зони, яку захищають, м²; $S_E = 3,53$ м².

Тоді $S_{НЗ} = 7,28$ м².

Висновки. В роботи проаналізовано вплив шкідливих та небезпечних факторів конвертерного виробництва на стан безпеки праці працівників. Представлено розрахунок рівня безпеки праці для конвертера місткістю 130 т, при тривалості плавки – 45 хв. та загальній тривалості робочого часу конвертера без зупинки на ремонт 420 год. Виконано розрахунок тепло захисного екрану для захисту працівників від інфрачервоного випромінювання при конвертерній плавці.

Бібліографічний перелік

1. Тарасов В. К., Румянцев В. Р., Мосейко Ю. В., Потапенков А. П. Пошук шляхів підвищення експлуатаційної надійності прокатних станів. *Технічний аудит та резерви виробництва*, 2018. Харків : Технологічний центр. Том 6, № 1(44). С. 4-8.
2. Коваль М. В., Тарасов В. К., Пилипенко С. С., Власов А.О. Про підвищення надійності роботи електродів дугових печей. *Металургія : наук. пр. ЗДІА*. Запоріжжя, 2016. Вип. 1 (35). С. 58-63.
3. Воденников С.А., Тарасов В.К., Воденникова О.С.. Аналіз проблем підвищення якості графітових електродів дугових електропечей. Системи технічного надзору в технології гірничо-металургійного виробництва. Академічний вісник, 2007. Дніпро. № 19. С. 17-19.
4. Тарасов В. К., Воденников О. С., Воденникова Л. В. Дослідження раціональних засобів техногенної безпеки киснево-конвертерного процесу. Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток промисловості та суспільства» : матеріали конференції, 2021. Кривий Ріг : КНУ. С. 13.
5. Тарасов В. К., Румянцев В. Р., Новокщонаова О. В., Ткаліч І. О. Розробка заходів покращення умов праці при виробництві чавуну. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія : Економічні науки, 2018. № 2. С. 82-90. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vkntden_2018_2_10.
6. Гичёв Ю. А. Вторичные энергоресурсы промышленных предприятий. Ч. 1: конспект лекций : Днепропетровск : НМетАУ, 2012. 54 с.

7. Сушенко А. В. Ресурсозбереження і екологія конвертерного виробництва сталі. *Вісник Приазовського державного технічного університету*, 2004. Маріуполь : ПДТУ. Вип. 14. С. 341-346.

8. Тарасов В. К., Румянцев В. Р., Новокщона О. В. Дослідження і розробка заходів зменшення викидів дугових електропечей. Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток промисловості та суспільства»: матеріали конференції, 2021. Кривий Ріг : КНУ. С. 148.

References

1. Tarasov V. K., Rummyantsev V. R., Moseiko Yu. V., Potapenkov A. P. Search for ways to increase operational reliability of rolling mills. Technical audit and production reserves, 2018. Kharkiv: Technological Center. Volume 6. №1(44). P. 4-8.

2. Koval M. V., Tarasov V. K., Pylypenko S. S., Vlasov A.O. On improving the reliability of the electrodes of arc furnaces. *Metallurgy: Science. Ave. ZDIA Zaporizhzhia*, 2016. Issue 1 (35). WITH. 58-63.

3. Vodennikov S.A., Tarasov V.K., Vodennikova O.S.. Analysis of the problems of improving the quality of graphite electrodes of electric arc furnaces. *Systems of technical supervision in the technology of mining and metallurgical production. Academic Bulletin*, 2007. Dnipro. No. 19. S. 17-19.

4. Tarasov V. K., Vodennikov O. S., Vodennikova L. V. Research of rational means of man-made safety of the oxygen-converter process. *International Scientific and Technical Conference "Development of Industry and Society": conference materials*, 2021. Kryvyi Rih: KNU. P. 13.

5. Tarasov V. K., Rummyantsev V. R., Novokshchonova O. V., Tklich I. O. Development of measures to improve working conditions in the production of cast iron. *Bulletin of the Kyiv National University of Technology and Design. Series: Economic Sciences*, 2018. No. 2. P. 82-90. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vknutden_2018_2_10

6. Gichev Yu. A. Secondary energy resources of industrial enterprises. Part 1: lecture notes: Dnipropetrovsk: NMetAU, 2012. 54 p.

7. Sushenko A. V. Resource conservation and ecology of converter steel production. *Bulletin of the Azov State Technical University*, 2004. Mariupol: PDTU. Vol. 14. P. 341-346.

8. Tarasov V. K., Rummyantsev V. R., Novokshchonova O. V. Research and development of measures to reduce emissions of electric arc furnaces. *International Scientific and Technical Conference "Development of Industry and Society": conference materials*, 2021. Kryvyi Rih: KNU. P. 148.

Rummyantsev Vladislav, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Zaporizhzhia National University, ORCID: 0000-0002-4404-3454

Sharapova Tatiana, Associate Professor, Candidate of Pharmaceutical Sciences, Zaporizhzhia National University, ORCID: 0000-0002-9868-5428

Kuris Yurii, Professor, Doctor of Technical Sciences, Zaporizhzhia National University, ORCID: 0000-0001-7169-9187

Volyar Roman, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Zaporizhzhia National University, ORCID: 0000-0002-7299-0053

INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR INCREASING THE TECHNOLOGICAL SAFETY OF CONVERTER PRODUCTION

The work considers innovative technologies for increasing man-made safety on the example of converter production. In the modern converter production of steel, the latest technologies are used to increase the efficiency of the process. The preferred option for such steel melting is the use of combined purging, when oxygen is supplied to the converter from above and inert gas from below (through the bottom) at the same time, the duration of melting is reduced to 30-35 minutes. Due to the significant increase in the intensity of melting and the complexity of the technological equipment, management of the specified process requires more attention and responsibility of the working personnel in order to increase the level of man-made safety.

Violations of the technological process, which are related to the influence of external factors, include the possibility of non-compliance with the scrap metal preparation technology (increased humidity, presence of lubricant), uneven supply of oxygen, as well as interruptions in energy supply. Such violations can lead to splashes of metal and slag, damage to the

lining, as well as dangerous stops in the melting process. A dangerous phenomenon is the possibility of metal loss from converters and steel pouring ladles due to a violation of their tightness. Thus, in the lower part of the converter, its lining is systematically subjected to significant dynamic loads during the loading of scrap metal. Wear of the lining occurs due to the reaction of its components with the silicon oxide of the slag, which has acidic properties. Violation of the integrity of the lining under certain conditions can lead to the pouring of metal from the bottom or side of the converter casing.

In order to find rational means of protecting workers, a hardware and technological diagram of dangerous process zones has been developed. It is shown that the presence of moisture in the lining of buckets during the pouring of steel poses a significant danger. The condition of the inner surface of the lining of the converter should be included among the standardized safety parameters of the melting process in the converter; physicochemical parameters of charge materials, as well as physical parameters of the oxygen jet. Violations of the safety parameters of the process consist of violations during the supply of oxygen (duration 6.4 hours), violations related to the incorrect position of the oxygen nozzle (duration 14.5 hours), as well as violations of the chemical composition of the metal (13.5 hours).

Key words: man-made safety, converter, slowdown, emergency situation, worker protection.