https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj20-01-042
DOI: 10.30888/2663-5712.2023-20-01-042

INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR INCREASING THE TECHNOLOGICAL SAFETY OF CONVERTER PRODUCTION

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ КОНВЕРТЕРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Rumiantsev Vladislav / Румянцев В.Р.
c.tech.s. , as. prof. /к.т.н., доц.
Sharapova Tetiana / Шарапова Т.А.
c. pharm. s., as. prof. / к.фарм.н., доц.
Engineering educational and scientific Institute named after Yurii Potebnia of Zaporizhzhia National University Zaporizhzhia, ave. Sobornyi 226
Інженерний науково- навчальний інститут ім.. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету м. Запоріжжя, просп. Соборний, 226
Netyaga Volodymyr I./ Нетяга В.І.
General director / генеральний директор
Zaporizhskloflus PrJSC
Zaporizhzhia, str.Diagonalnaya,2
ПрАТ Запорізжсклофлюс, вул. Діагональна, 2

Анотація. *У роботі розглянуті інноваційні технології підвищення техногенної безпеки на прикладі конверторного виробництва. Для пошуку раціональних засобів захисту працівників розроблено апаратурно-технологічну схему небезпечних зон процесу. Показано, що значну небезпеку представляє наявність вологи у футерівці ковшів 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: *інноваційні технології, техногенна безпека, конвертер, шихтові матеріали*

Вступ

Виробництво сталі є однією з важливіших галузей сучасної важкої промисловості. Найбільш поширеним способом отримання сталі у теперішніх умовах є використання конверторного методу. Широке застосування конвертерних печей у світовій практиці виявило ряд суттєвих недоліків, що знижують безпеку процесу тим самим зменшують його ефективність. Тому увагу авторів було звернуто на подолання цих негативних явищ, що дозволить підвищити ефективність конверторної плавки і тим самим покращити техногенну безпеку на підприємстві.

Основний матеріал

У сучасному конвертерному виробництві сталі використовують новітні технології для підвищення ефективності процесу [2,3]. 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. [4]. 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.

Для пошуку раціональних засобів захисту розроблено апаратурна-технологічну схему небезпечних зон процесу. Місця виникнення шкідливих та небезпечних виробничих чинників у типовому конвертерному цеху (рис. 1) [5].

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 [1].

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.

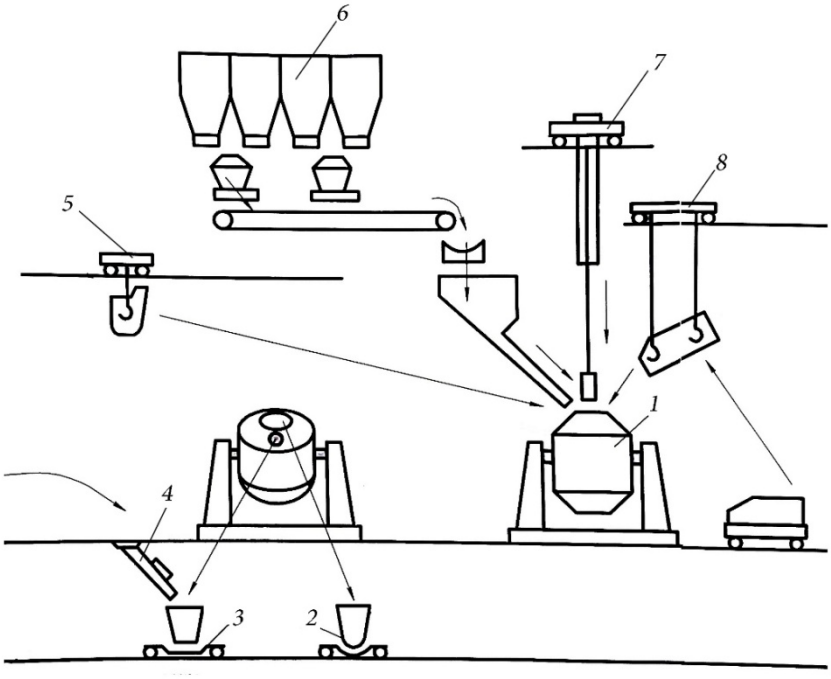

Рисунок 1 – Спрощена апаратурна-технологічна схема конвертерного цеху з позначенням зон виникнення шкідливих і небезпечних виробничих чинників

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

Значну небезпеку представляє наявність вологи у футерівці ківшів під час заливання сталі. Знаходячись під рідиною з температурою ~500 °С, 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.

Суттєвого зменшення аварійних ситуацій у конвертерах досягають використанням випарного охолодження [2,4], 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 проводів 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 [5].

Визначають термін безперервної роботи конвертера без зупинок на ремонт, тобто, частку часу $U_б$, коли технологічний процес відбувається без порушень норм безпеки (1) [5]:

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

де $\Sigma\tau_{п.б} + \Sigma\tau_{е.в} + \Sigma\,\tau_{з.ф}$ – 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 порушень, 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 $U_б = 76$ %, 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 $U_б = 83$ % 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 [5].

Таблиця 1 – Допустима тривалість перебування працівника у зоні дії випромінювання [5]

Потужність випромінювання, Вт/м²	***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 *Li* за формулою (2) [5]:

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

де $S_Д$, $T_Д$ – площа поверхні джерела, що випромінює, та його температура, м^2 ($S_Д$ = 1,0 м^2), К, відповідно; Q_H – оптимальна норма інтенсивності тепловиділення. Q_H = 140 Вт/м^2. Отримують *Li* = 2,5 м.

Встановлено, що радіус небезпечної зони перевищує припустиме значення 2,0м, 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 δ = 0,02 м.

Оскільки температура джерела є досить високою (1023К), захисний екран слід футерувати теплоізоляційною цеглою (рис. 2) [4].

Термічний опір, який потрібно отримати за допомогою шару зазначеної цегли обчислюють за формулою (3) [5]:

$$R=(T_Ц - T_e)/q_0 \quad (3)$$

де, $T_Ц$ – температура термостійкої цегли, К; *Te*-допустима температура зовнішньої стінки екрану, К;q_0 – теплові втрати, що затримує захисний екран, Вт. Їх значення обчислюють за відомою методикою [5].

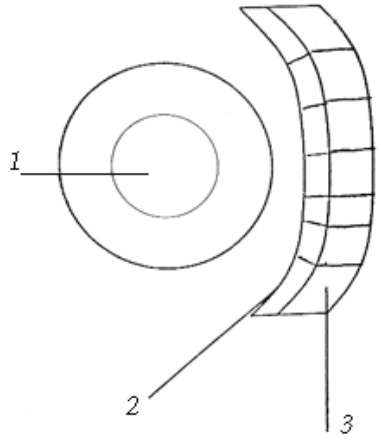

Рисунок 2 – Схема розташування стаціонарних теплозахисних екранів

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

Тоді необхідну товщину теплоізоляційної цегли визначають за формулою (4)

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

де, λ – теплопровідність теплоізоляційної цегли, Вт/(м^2·К).

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

Кількість екранів визначають за формулою (5) [5]:

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

де, $T_Д$ – температура джерела випромінювання перед екраном К; *Тнп* – температура навколишнього повітря; $E_Д$, *Енп*– наведена ступінь чорноти джерела та екрану й екрану та джерела і повітря, відповідно.

Одержано n = 1,0.

Площу небезпечної зони $S_{нз}$ обчислюємо, за формулою (6) [5]:

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

де, $S_Д$ – площа поверхні джерела, що випромінює, м^2; S_B – площа впливу джерела, м^2; S_B = 9,81 м^2; S_E – площа зони, яку захищають, м^2; S_E = 3,53 м^2.

Тоді $S_{нз}$ = 7,28 м^2.

Висновки

1. Проаналізовано технологічний процес конверторного отримання сталі. Встановлено. Що техногенну безпеку процесу визначають стан внутрішньої поверхні футерівки конвертера; фізико-хімічні параметри шихтових матеріалів, а також фізичні параметри кисневого струменя.

2. Розраховано рівень безпеки конвертера з наступними технологічними параметрами:місткість конвертера - 130 т, тривалість плавки - 45 хв.; загальна тривалість робочого часу конвертера без зупинки на ремонт $\tau_{заг}$ = 420 год.

3. Запропоновано схему розташування стаціонарних теплозахисних екранів, що дозволяє покращити умови праці сталеварів.

Література:

1. Тарасов, В. К. Безпека технологічних процесів і обладнання. навч. посіб. – Запоріжжя : ЗДІА, 2005. – 164 с.

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

3. Гичёв Ю. А. Вторичные энергоресурсы промышленных предприятий. Ч. 2: конспект лекций: Днепропетровск: НМетАУ, 2012. 57 с.

4. Тарасов В. К., Воденніков О. С., Воденнікова Л. В. Дослідження раціональних засобів техногенної безпеки киснево-конвертерного процесу. *Міжнародна НПК «Розвиток промисловості та суспільства»*. Кривий Ріг : КНУ, 2021. С. 13.

5. Тарасов В. К., Румянцев В. Р., Макушина М. М. Засоби зменшення забруднення виробничого середовища тепловими викидами дугових електропечей. *Міжнародна конференція «Біоекономіка як ключовий фактор розвитку виробництва та екологізації промислового регіону»*. Запоріжжя : ІННІ ЗНУ, 2020. С. 115.

Abstract. *The work considers innovative technologies for increasing man-made safety on the example of converter production. 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 the ladles during the pouring of steel poses a significant danger.*

It is shown that the presence of moisture in the lining of the ladles 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; physico-chemical 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)

***Keywords**: innovative technologies, man-made safety, converter, charge materials.*