

УДК 669.162:669.18

В.С. Волошин¹, д-р техн. наук, проф., ректор, e-mail: rektor2591@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8423-2663>**В.П. Руських¹**, канд. техн. наук, доц., зав. кафедри, e-mail: russkih_v_p@ukr.net**Д.С. Зотов²**, канд. техн. наук, директор з технології та якості, e-mail: dmitriy.zotov@metinvestholding.com**С.А. Каріков²**, начальник доменного цеху, e-mail: sergey.karikov@metinvestholding.com**Р.Ю. Кірсанов²**, начальник аглодоменного відділу, e-mail: roman.kirsanov@metinvestholding.com¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (Маріуполь, Україна)²Приватне акціонерне товариство «Металургійний комбінат «Азовсталь» (Маріуполь, Україна)

Технічне переозброєння і вдосконалення технології доменного виробництва металургійного комбінату «Азовсталь»

Зроблено аналіз стану і перспектив розвитку світового та українського металургійного виробництва. Спостерігається тенденція збільшення світового виробництва сталі, при системному його зниженні в Україні. Винятком в цьому плані є металургійний комбінат «Азовсталь», обсяг металургійного виробництва на якому не тільки не зменшується, а навіть дещо збільшується. Висока енергоємність української металургійної продукції знижує її конкурентоспроможність. Вихід з важкого фінансово-економічного становища металургійної промисловості України – поліпшення якості та зниження собівартості продукції. Постійна увага цим проблемам приділяється на комбінаті, зокрема, в доменному виробництві. При цьому постійно вирішується ряд екологічних проблем шляхом виведення з експлуатації морально і фізично застарілого технологічного обладнання, технічного переозброєння металургійного виробництва, вдосконалення технології, зниження енергетичних і матеріальних витрат на виробництво чавуну та сталі.

Багато років тому доменщики комбінату в промислових масштабах випробували технологію доменної плавки із вдуванням в піч гарячих відновлювальних газів, освоїли технологію доменної плавки з температурою гарячого дуття до 1350 °С. Вже тоді це викликало необхідність вдосконалення конструкції повітрянагрівачів і використання інших вогнетривких матеріалів для нагріву дуття.

В останні ж роки технічному переозброєнню і вдосконаленню технології доменної плавки приділяється особлива увага: установка на доменних печах № 3 і № 4 безконусних завантажувальних пристроїв, впровадження на всіх печах технології доменної плавки із вдуванням в горн пиловугільного палива, на доменній печі № 3 введено в експлуатацію конвеєрну систему завантаження залізцевмісних матеріалів з бункерів бункерної естакади в скіпи. Для охолодження вогнетривкої кладки доменних печей застосовано мідні холодильники.

Модернізація обладнання доменних печей вимагає значних капітальних витрат, в той час як витрати на впровадження результатів науково-дослідних робіт, як правило, знаходяться на незрівнянно більш низькому рівні, або це взагалі не вимагає витрат, забезпечуючи суттєві економічні та екологічні результати.

Ключові слова: виробництво сталі, доменна піч, пиловугільне паливо, технологія доменної плавки, виплавка чавуну, собівартість продукції, модернізація обладнання.

Світове виробництво сталі безперервно зростає. З 2010 по 2019 р. обсяг виробництва сталі збільшився з 1433 до 1869,9 млн т, збільшення на 3,4 % в порівнянні з 2018 р. [1]. Темпи зростання виплавки сталі значно змінюються. Так, якщо приріст виплавки сталі у 2016 р. в порівнянні з 2015 р. склав 0,8 % (обсяг виплавки сталі збільшився з 1615,5 до 1628,5 млн т), то у 2017 р. в порівнянні з 2016 р. приріст склав 5,3 %, у 2018 р. в порівнянні з 2017 р. склав 4,6 %. У 2019 р. темпи приросту дещо знизилися – до 3,4 % в порівнянні з 2018 р. У 2013 р. Україна посідала десяте місце в світі за обсягом виробництва сталі – було виплавлено 32,7 млн т, що становило 30 % загального промислового виробництва країни, 25 % від загальних обсягів експорту. При цьому 80 % виробленої сталі експортувалося, 20 % споживалося на внутрішньому ринку. У 2014 р.

виробництво сталі в порівнянні з 2013 р. скоротилося на 17 % і склало 26,17 млн т. У 2015 р. виробництво сталі скоротилося ще на 16 % – до 22,94 млн т. У 2016 р. виробництво сталі збільшилося до 24,2 млн т, однак у 2017 р. виплавка сталі знову зменшилася до 22,7 млн т. У 2017 р. Україна випала з ТОП – 10 рейтингу світових виробників сталі. У 2018 р. виплавка сталі металургійними підприємствами України становила 21,06 млн т.

За даними Об'єднання Підприємств «Укрметалургпром» у 2019 р. металургійними підприємствами України виплавлено 20,82 млн т сталі, що становить 98,69 % обсягу виплавки сталі у 2018 р. У 2019 р. також знизилося виробництво чавуну до 20,05 млн т або 97,53 % від показників 2018 р. Виробництво прокату склало 18,16 млн т, або 98,87 % від виробничих показників 2018 р. [2].

Таблиця 1

Виплавка чавуну та сталі на металургійному комбінаті «Азовсталь» у 2015–2019 рр.

Вид продукції/ рік	2015	2016	2017	2018	2019
Чавун, млн т	2,825	3,178	3,778	3,707	3,475
Сталь, млн т	3,206	3,705	4,265	4,082	4,00

Таблиця 2

Відносний обсяг азовстальської сталі в її загальноукраїнському виробництві

Параметр/рік	2015	2016	2017	2018	2019
Виробництво сталі в Україні, млн т	22,94	24,2	22,7	21,06	20,82
Виробництво сталі на МК «Азовсталь», млн т	3,206	3,705	4,265	4,082	4,0
Частка сталі МК «Азовсталь», %	13,48	15,31	18,79	19,38	19,2

Таким чином, якщо світовий обсяг сталі рік від року збільшується, то в Україні обсяг виробництва сталі рік від року зменшується. Виключенням в цьому відношенні є металургійний комбінат «Азовсталь».

Динаміку виробництва сталі та чавуну на металургійному комбінаті «Азовсталь» наведено в табл. 1.

Цікавим є зміна частки азовстальської сталі в обсязі сталі, виробленої металургійними підприємствами України (табл. 2).

Як видно з даних, наведених в табл. 1 та 2, металургійному виробництву «Азовсталі» не властива тенденція зниження виробництва сталі, яка спостерігається в загальноукраїнському виробництві.

За оцінками Economist Intelligence Unit [3], світове споживання сталі у 2018 р. склало 1792 млн т, при виробництві 1808,4 млн т. Після двох років зростання попиту на сталь ряд факторів привів до зниження споживання сталі у 2019 р. Має місце невідповідність між виробництвом і споживанням сталі.

Індекс цін виробників – показник середнього рівня зміни оптових цін на сировину, матеріали і товари проміжного споживання, за якими продають свої товари національні виробники – знизився за період з 2015 по 2019 р. з 125,5 до 92,5 %. Індекс цін виробників в Україні – 96,4 %, у металургійній промисловості – 81,4 %.

Індекс промислового виробництва (індекс виробництва промислової продукції – відносний показник динаміки обсягу промислового виробництва, що показує його підйом або зростання) у 2015 р. – 98,4 %, 2019 р. – 91,7 %. Індекс металургійного виробництва у 2019 р. найвищий 120,8 % – в березні, 110,2 % – в грудні і 88,2 % за рік.

Металургійна галузь втратила у 2019 р. від зниження світових цін 23,4 млрд грн [4].

Зростання виробництва сталі у Китаї призвело до зниження цін на світовому ринку на 57 % в період з 2011 по 2015 р. Приблизно в той же час в США стали пропонувати введення мит на «хижацький» імпорт сталі з Китаю.

Чорна металургія України характеризується високою енергоємністю [5]. Наприклад, на виплавку чавуну витрачається до 70 % всіх енергетичних витрат у чорній металургії, що становить 45–50 % собівартості чавуну (рис. 1).

Таким чином, в даний час металургійна галузь промисловості України знаходиться у важкому фінансово-економічному становищі, вихід з якого – поліпшення якості продукції, що випускається, і зниження її собівартості.

Вирішенню цих проблем постійно приділяється неослабна увага на Маріупольському металургійному комбінаті «Азовсталь». При цьому вирішується ряд екологічних проблем. На комбінаті виведено з експлуатації агломераційний цех, три коксових батареї, дві доменні печі, електросталеплавильне виробництво, мартенівське виробництво сталі.

Постійне технічне переозброєння і вдосконалення технології виплавки чавуну здійснюється в



Рис. 1. Структура витрат на виробництво переробного чавуну у 2012 р. в доменних цехах України

доменному цеху комбінату. Ще багатьма роками раніше вперше в Україні доменщиками комбінату застосовано технологію доменної плавки з вдуванням в піч гарячих відновлювальних газів [6]. Промислова перевірка технології доменної плавки на атмосферному дутті і високонагрітих відновлювальних газах показала, що при заміні сирого природного газу високонагрітими продуктами його парової конверсії можливе зниження питомої витрати коксу на виплавку чавуну і підвищення продуктивності печі.

Тоді ж в доменному цеху комбінату було досягнуто температури дуття 1350 °С – найвищої в практиці роботи доменних печей України. Для нагріву дуття до такої температури було вдосконалено конструкцію повітрянагрівачів і застосовано динасові вогнетривкі матеріали для виготовлення насадки [7].

Доменні печі № 3 та № 4 обладнано безконусними завантажувальними пристроями, для охоло-

дження вогнетривкої кладки доменних печей в її нижній частині застосовано мідні холодильники.

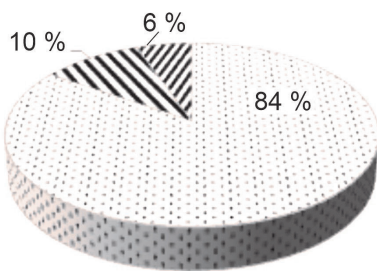
Впроваджено технологію доменної плавки з вдуванням пиловугільного палива в горн доменної печі. Основними джерелами енергії при виробництві чавуну в доменному цеху ПРАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь» до вдування пиловугільного палива (ПВП) були кокс і природний газ (рис. 2).

З впровадженням технології доменної плавки з вдуванням пиловугільного палива структура технологічного палива для виплавки чавуну докорінно змінилася (рис. 3).

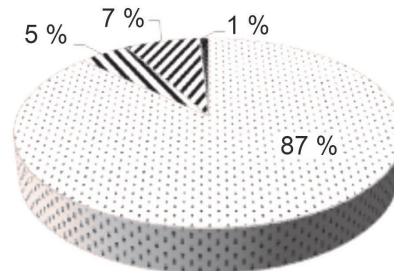
На доменній печі № 3 введено в експлуатацію конвеєрну систему завантаження залізовмісних матеріалів з бункерів бункерної естакади в скіпи, що дозволило значно знизити вміст дрібних фракцій в матеріалах, що завантажуються в доменну піч.

Удосконалення конструкції доменних печей та їх обладнання, вдосконалення технології доменної

Паливо ДП-2, до вдування ПВП



Паливо ДП-4, до вдування ПВП

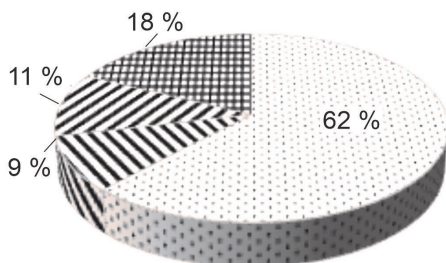


- Кокс скіповий, сух.
- ▨ Коксовий горішок
- ▩ Природний газ
- Вугілля (АО, АКО, антрацити)

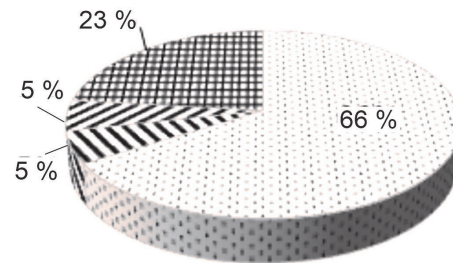
- Кокс скіповий, сух.
- ▨ Коксовий горішок
- ▩ Природний газ
- Вугілля (АО, АКО, антрацити)

Рис. 2. Структура технологічного палива ДП-2, ДП-4 до вдування ПВП

Паливо ДП-2, при вдуванні ПВП



Паливо ДП-4, при вдуванні ПВП



- Кокс скіповий, сух.
- ▨ Коксовий горішок
- ▩ Природний газ
- ПВП
- Вугілля (АО, АКО, антрацити)

- Кокс скіповий, сух.
- ▨ Коксовий горішок
- ▩ Природний газ
- ПВП
- Вугілля (АО, АКО, антрацити)

Рис. 3. Структура технологічного палива ДП-2, ДП-4 з ПВП

Таблиця 3

Динаміка зміни техніко-економічних показників роботи доменного цеху

Найменування/роки	2015	2016	2017	2018	2019
Зйом чавуну, т/м ³ об'єму ДП	1,244	1,366	1,582	1,592	1,7036
Питома витрата коксу, кг/т	487,46	499,72	444,07	421,82	396,13
Витрата коксового горішка, кг/т	70,11	55,42	50,03	51,32	46,95
Витрата ПВП, кг/т	0	3,12	48,03	65,12	100,54
Витрата природного газу, м ³ /т	28,1	28,96	34,72	44,85	39,34

плавки дозволило значно поліпшити техніко-економічні показники роботи доменного цеху (табл. 3).

Незважаючи на істотне технічне переозброєння і вдосконалення технології доменної плавки, у металургів «Азовсталі» є резерви для зниження собівартості продукції і поліпшення її якості.

Недостатньо повно використовується відновлювальна енергія пічних газів в домених печах. Ступінь використання СО знаходиться на рівні 42–45 %. Мільйони кубометрів доменного газу спалюються на свічках. Температура колошникового газу досягає 300 °С (наприклад, на дев'ятій доменній печі Криворізького металургійного комбінату температура колошникового газу – в межах 130 °С). Образно кажучи, доменщики «Азовсталі» «опалюють» навколишній простір.

У доменному цеху комбінату є істотні можливості зниження енергетичних витрат на виплавку чавуну і поліпшення екологічної обстановки в регіоні за рахунок оптимізації хімічного складу чавуну. Раніше робота доменних печей на високосірчистому Донецькому коксі (вміст сірки в коксі 1,7–2,0 %) вимагала підтримувати основність шлаку по CaO/SiO_2 на рівні 1,2–1,25 і вище, а також мати певний запас тепла в горні. В таких умовах вміст кремнію в чавуні потрібно було забезпечувати на рівні 0,7–0,9 %. В даний час вміст сірки в коксі не перевищує 0,6–0,7 %, основність шлаку знижена до 1,08–1,10, з'явилася можливість зниження вмісту кремнію в чавуні, але це поки що не повною мірою реалізовано. Вміст кремнію в чавуні, який виплавлено у 2019 р., склав 0,77 %.

Потреба коксу на відновлення кремнію визначається витратою твердого вуглецю (стехіометрично $24/28 = 0,86$ кг/кг Si) і теплопотребою (26000 кДж/кг Si), що при тепловіддачі вуглецю коксу 13000 кДж/кг і вмісту його в коксі 0,88 кг/кг дає потребу коксу $(26000/13000 + 0,86) / 0,88 = 3,25$ кг/кг Si [8].

Якщо додати потребу коксу на перегрів чавуну, яким зазвичай супроводжується відновлення кремнію (близько 10 °С на 0,1 % Si), то розрахункова величина збільшиться до 4,5 кг, але не досягне отриманих на практиці 5–7 кг/т чавуну [9].

У 2019 р. в доменному цеху металургійного комбінату «Азовсталь» виплавлено 3661425 т чавуну з вмістом кремнію 0,77 %. Якщо прийняти, що зниження вмісту кремнію в чавуні на 0,1 % зменшить витрату

коксу на 6 кг/т чавуну, то річна витрата коксу зменшиться на 219968 т, в якому міститься 193572 т вуглецю. Викид CO_2 в навколишнє середовище скоротиться на 361 млн 334 тис. м³. Споживання повітря на виробництво чавуну зменшиться на 1 млрд 720 млн 638 тис. м³. При зменшенні вмісту кремнію в чавуні на 0,2 % ці числа подвоються.

Економія від зниження витрати коксу на 219968 т при ціні коксу 8000 грн за тону складе 1 млрд 759 млн 744 тис. грн.

Реконструкція системи завантаження шихтових матеріалів в скіпи з використанням конвеєрів з відсівом дрібних фракцій агломерату значно поліпшила гранулометричний склад шихти, що завантажується в доменні печі. Така система завантаження шихти в скіпи вимагає впровадження і на інших доменних печах.

У коксохімічному виробництві комбінату можливе використання в майбутньому установок сухого гасіння коксу змогло б значно поліпшити його якість та дозволити утилізувати тепло коксу при його гасінні, заощадити мільйони м³ води, природно позитивно позначитися на екологічній обстановці в регіоні. А використання коксу сухого гасіння значно зменшило б його витрати на виплавку чавуну.

Але удосконалення конструкції доменних печей та їх обладнання вимагає значних капітальних вкладень.

Практично без капітальних вкладень вдосконалення технології доменної плавки здійснюється при впровадженні результатів науково-дослідних робіт. Так впровадження результатів однієї науково-дослідної роботи [10] на доменній печі № 2 дозволило знизити питому витрату коксу на виплавку чавуну на 8,43 кг/т. Річний економічний ефект при цьому становить 68,393 млн грн. Заощаджені кошти можна використовувати на модернізацію обладнання доменного цеху.

Зниження енергетичних витрат на виплавку чавуну істотно покращує екологічну обстановку. У розглянутому прикладі викиди CO_2 скоротилися на 15,475 млн м³ на рік, при цьому споживання повітря на виплавку чавуну знизилася на 73,689 млн м³.

Очевидно, що проведення науково-дослідних робіт, спрямованих на зниження енергетичних витрат на виплавку чавуну, економічно і екологічно вкрай доцільно.

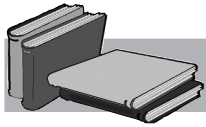
Висновки

1. Світовий обсяг виробництва сталі постійно збільшується, в той час як в Україні спостерігається зворотна тенденція.
2. За останні роки у доменному виробництві комбінату «Азовсталь» проведено суттєву модернізацію обладнання доменних печей, вдосконалено техноло-

гію доменної плавки, що дозволило значно поліпшити техніко-економічні показники роботи цеху.

3. На комбінаті «Азовсталь» є можливості для подальшого вдосконалення доменного виробництва.

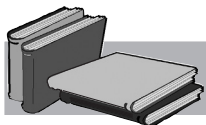
4. Одним з ефективних шляхів зниження енергетичних витрат на виплавку чавуну, зниження його собівартості, поліпшення екології є впровадження результатів науково-дослідних робіт.



ЛІТЕРАТУРА

1. Всемирная ассоциация производителей стали Worldsteel. Мировое производство стали в 2019 году выросло на 3,4 % по сравнению с 2018 годом. URL: <https://www.worldsteel.org/> (дата звернення: 27.01.2020).
2. Объединение предприятий «Укрметаллургпром». Украина сократила производство стали по итогам 2019 года. URL: <http://www.ukrmetprom.org/> (дата звернення: 06.01.2020).
3. Индекс промышленного производства. Минфин. Мировое потребление стали. URL: <https://index.minfin.com.ua/economy/index/industrial/> (дата звернення: 11.06.2020).
4. Тимофей Милованов [персональная страница]. Facebook. URL: <https://www.facebook.com/people/%D0%A2%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D1%84%D0%B5%D0%B9%D0%9C%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2/100004775745586> (дата звернення: 11.06.2020).
5. Амоша А.И., Большаков В.И., Минаев А.А., Залознова Ю.С., Збаразская Л.А., Макогон Ю.В. и др. Украинская металлургия: современные вызовы и перспективы развития. Донецк: Ин-т экономики промышленности НАН Украины, 2013. 114 с.
6. Козуб В.Н., Андронов В.Н., Бачинин А.А., Тихомиров У.Н. Доменная плавка с вдуванием горячих восстановительных газов на заводе «Азовсталь». *Сталь*. 1971. № 1. С. 12–15.
7. Шокул А.А., Лозовой В.П., Шаркевич Л.Д. Работа доменной печи с нагревом дутья до 1200–1380 °С. *Сталь*. 1983. № 3. С. 10–13.
8. Товаровский И.Г., Лялюк В.П. Эволюция доменной плавки. Днепропетровск: Пороги, 2001. 424 с.
9. Старшинов Б.Н., Романенко Н.Т., Гаврашенко А.В. и др. Влияние технологических параметров на показатели доменной плавки. *Сталь*. 1968. № 8. С. 677–679.
10. Технический отчет по НИР «Разработка и внедрение рационального режима загрузки шихты в доменные печи, оборудованные конусными загрузочными устройствами, ЧАО «МК «Азовсталь», выполненной по договору № 30/0148Н от 12.04.2018 на проведение НИР между ЧАО «МК «Азовсталь» и ГВУЗ «ПГТУ». Мариуполь: ПГТУ, 2019. 124 с.

Надійшла 23.06.2020



REFERENCES

1. Worldsteel Steel Manufacturers Association. World steel production in 2019 increased by 3.4 % compared to 2018. URL: <https://www.worldsteel.org/> (last accessed: 27.01.2020) [in Russian].
2. Association of enterprises "Ukrmetallurgprom". Ukraine reduced steel production in 2019. URL: <http://www.ukrmetprom.org/> (last accessed: 06.01.2020) [in Russian].
3. Industrial production index. Ministry of Finance. World steel consumption. URL: <https://index.minfin.com.ua/economy/index/industrial/> (last accessed: 11.06.2020) [in Russian].
4. Timofey Milovanov [personal page]. Facebook. URL: <https://www.facebook.com/people/%D0%A2%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D1%84%D0%B5%D0%B9%D0%9C%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2/100004775745586> (last accessed: 11.06.2020) [in Russian].
5. Amosha, A.I., Bolshakov, V.I., Minaev, A.A., Zaloznova, Yu.S., Zbarazskaya, L.A., Makogon, Yu.V. et al. (2013). Ukrainian metallurgy: current challenges and development prospects. Donetsk: Institute of Industrial Economics of the NAS of Ukraine, 114 p. [in Russian].
6. Kozub, V.N., Andronov, V.N., Bachinin, A.A., Tikhomirov, U.N. (1971). Blast furnace smelting with injection of hot reducing gases at the Azovstal plant. *Steel*, no. 1, pp. 12–15 [in Russian].
7. Shokul, A.A., Lozovoy, V.P., Sharkevich, L.D. (1983). Operation of a blast furnace with blast heating to 1200–1380 °C. *Steel*, no. 3, pp. 10–13 [in Russian].

8. Tovarovsky, I.G., Lyalyuk, V.P. (2001). The evolution of blast furnace. Dnepropetrovsk: Porogi, 424 p. [in Russian].
9. Starshinov, B.N., Romanenko, N.T., Gavrashenko, A.V. et al. (1968). The influence of technological parameters on the performance of blast furnace. *Steel*, no. 8, pp. 677–679 [in Russian].
10. Technical report on research work “Development and implementation of a rational mode of loading the charge into blast furnaces equipped with conical loading devices, PJSC “MK Azovstal”, executed under the contract No. 30/0148H dated 04/12/2018 for conducting research between the PJSC “MK “Azovstal” and the State Higher Educational Institution “PSTU”. Mariupol: PGU, 2019, 124 p. [in Russian].

Received 23.06.2020

Summary

V.S. Voloshin¹, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Rector,
e-mail: rektor2591@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8423-2663>
V.P. Russkikh¹, PhD (Engin.), Associate Professor, Head of the Department,
e-mail: russkih_v_p@ukr.net
D.S. Zotov², PhD (Engin.), Director of technology and quality,
e-mail: dmitriy.zotov@metinvestholding.com
S.A. Karikov², Head of the blast furnace shop,
e-mail: sergey.karikov@metinvestholding.com
R.Yu. Kirsanov², Head of the sintering and blast furnace department,
e-mail: roman.kirsanov@metinvestholding.com

¹SHEI “Pryazovskyi State Technical University” (Mariupol, Ukraine)

²Private Joint Stock Company “Azovstal Iron & Steel Works” (Mariupol, Ukraine)

Technical re-equipment and improvement of the technology for blast-furnace production at Azovstal Iron and Steel Works

The analysis of the state and development prospects of the world and Ukrainian metallurgical production has been made. There is a tendency to increase the world steel production, with its systematic decline in Ukraine. An exception in this regard is the Azovstal Iron and Steel Works, the volume of metallurgical production at which is not only decreasing, but even slightly increasing. The high energy intensity of Ukrainian metallurgical products reduces its competitiveness. The way out of the difficult financial and economic situation of the metallurgical industry of Ukraine is to improve the quality and reduce the cost of production. Constant attention to these problems is given at the plant, in particular, in the blast furnace production. At the same time, a number of environmental problems are constantly being resolved by decommissioning obsolete and outdated technological equipment, technical re-equipment of metallurgical production, improving technology, reducing energy and material costs for the production of pig iron and steel.

Many years earlier the plant's blast furnace operators on an industrial scale tested the technology of blast-furnace melting by blowing hot reducing gases into the furnace, and mastered the technology of blast-furnace melting with a hot blast temperature of 1350 °C. Already then this necessitated the improvement of the design of air heaters and the use of other refractory materials for heating the blast.

In recent years particular attention has been paid to the technical re-equipment and improvement of blast furnace technology: the installation of bell-less loading devices on blast furnaces no. 3 and no. 4, the introduction of blast furnace technology with pulverized coal injection into the hearth in all furnaces, and a conveyor system for loading iron-containing materials from hopper bunkers into skips was commissioned at blast furnace no. 3. Copper refrigerators are used to cool the refractory masonry of blast furnaces.

Modernization of blast furnace equipment requires significant capital investments, while the cost of implementing the results of research and development, as a rule, is at a disproportionately lower level, or it does not require any costs at all, providing significant economic and environmental results.

Keywords

Steel production, blast furnace, pulverized coal, blast furnace technology, pig iron smelting, production costs, equipment upgrades.