І.А. Бараннік¹, канд. техн. наук, пров. наук. співр., лауреат державної премії УРСР, засл. винахідник УРСР, кращий винахідник кольорової металургії, e-mail: ludmila.ukraine@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6879-0609>

Ю.І. Савенець², техн. директор, e-mail: y.savenets@onvi.net.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8675-6324>

¹ПАТ «Інститут титану» (Запоріжжя, Україна)

²ТОВ «ОНВІ» (Житомир, Україна)

Українському гранульованому магнію – п'ятдесят років

Гранульований магній – матеріал, промислове виробництво якого вперше розпочато в Україні на початку 70-х років минулого сторіччя. Протягом минулих 50 років неодноразово було доведено його ефективність в якості основного реагента-десульфуратора доменного чавуну, не тільки в колишньому СРСР, але і в ряді закордонних країн. Основні організації-виробники гранульованого магнію та його ефективного використання в якості реагента-десульфуратора: ПАТ «Інститут титану» (м. Запоріжжя) та Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (м. Дніпро) за участі підприємств м. Запоріжжя, Калуша та Солікамська. Розроблений і впроваджений у м. Калуш процес дозволив отримувати гранульований магній із рідкого металу в окисній (повітря) атмосфері відцентровим розбризкуванням, що зробило подрібнений магній вибухобезпечним реагентом і дозволило його використовувати в чистому вигляді, на відміну від порошкового.

Знайшов гранульований магній ефективне використання й у інших галузях промисловості: хімії, машинобудуванні (високоміцний чавун) та нафтовидобуванні.

В США подібний матеріал почали виробляти на 6–8 років пізніше. Вперше за кордоном українську технологію десульфурації чавуну гранульованим магнієм було використано в Фінляндії, куди гранульований магній постачався з Калуського магнієвого заводу.

У 2000–2012 рр. ПАТ «Інститут титану» та Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України разом із спільною українсько-китайською компанією «Десмаг» розповсюдили українську технологію десульфурації чавуну гранульованим магнієм в Китаї – країні з найбільшим у світі виробництвом чавуну та сталі.

Житомирська фірма ТОВ «ОНВІ» продовжує виробництво та постачання гранул із скрапу магнієвих сплавів на комбінат «Азовсталь», де з 1977 р. діє відділення десульфурації чавуну з української технології (одна з перших розробок Інституту чорної металургії та ПрАТ «МК «Азовсталь»). В ряді наукових публікацій технологія десульфурації чавуну гранульованим магнієм або магнієвим сплавом визнана найбільш ефективною серед інших відомих технологій десульфурації.

Ключові слова: магній гранульований, сплав магнієвий гранульований, десульфурація чавуну, Інститут титану, «Азовсталь», Інститут чорної металургії, фірма «ОНВІ», скрап магнію, металургія Китаю.

На початку 60-х років минулого сторіччя в чорній металургії світу в науково-дослідних інститутах і промислових виробництвах почались широким фронтом науково-дослідні і промислові розробки з десульфурації доменного чавуну – видалення сірки, яка є шкідливою домішкою для властивостей сталі, що виробляється з такого чавуну. Після пошуку кращих варіантів були визнані найбільш ефективними технології десульфурації чавуну магнієм. А кращим способом його використання – вдування в рідкий чавун подрібненого металевих магнію.

В Україні Інститутом чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України вперше в світі було розроблено

і в 1972 р. впроваджено найбільш ефективний спосіб десульфурації чавуну вдуванням гранул магнію в чистому вигляді без домішок.

В цьому році українському гранульованому магнію виповнилось 50 років. Незважаючи на такий вік, він продовжує працювати.

Та чи заслуговує він бути зараз згаданим? Вирішуйте самі.

По-перше, Гранульований магній – промисловий продукт з такою назвою і відповідними характеристиками з'явився вперше у нас, в Україні. Тут вперше в світі й почалося його промислове виробництво [1]. А дослідження і розробка технологій та обладнання

для його виробництва почалися у 1968 р. в Інституті титану (м. Запоріжжя), за ініціативою вченої – д-ра техн. наук Н.О. Воронової з Інституту чорної металургії (м. Дніпропетровськ, зараз – Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України). Міністерство кольорової металургії СРСР наказало Інституту титану включити до плану науково-дослідницьких робіт на 1968 рік наступні теми:

а) вибір магнієвого реагенту для десульфурзації чавуну;

б) розробка методу грануляції магнію та його сплавів з метою широкого використання магнію в чорній металургії.

Держкомітет СРСР з науки і техніки вважав необхідним включити тему б) в координаційний план найважливіших Науково-Дослідних Робот та Дослідно-Конструкторських Робот на дев'яту п'ятирічку (1970–1975 рр.) [1].

При виконанні пошукових досліджень було обрано технологію, що дозволила в короткі терміни (1969–1972 рр.), вже з 1972 року впровадити на заводі ім. Ілліча новітній і, як виявилось, найефективніший промисловий спосіб десульфурзації доменного чавуну інжекцією гранульованого магнію в рідкий чавун [3, 4]. Розроблений новий технологічний процес дозволив отримувати гранульований магній в окисній атмосфері (повітря) відцентровим розбризкуванням магнію-сирцю з сольовою добавкою-сфероїдизатором [2]. До цього магній для обробки рідкого чавуну застосовували переважно при отриманні високоміцного чавуну з кулястою формою графіту, «магнієвого чавуну» [5]. Були спроби його використовувати і для десульфурзації чавуну у вигляді «магкока» [3], в чушках з вогнетривким покриттям і у вигляді так званого «пасивованого магнію» [6].

Вперше в світі Н.О. Воронова з співробітниками розробили та підготували до запуску три великих промислових установок на заводах «Азовсталь», ім. Ілліча і «Запоріжсталь» для обробки розплавленого чавуну за допомогою заглибленої фурми сумішами магнієвого порошку з наповнювачами (CaO; CaO·MgO). Для цих цілей були розроблені спеціальні ТУ48-05-34-71 [3].

А в патенті США № 3080228 ще в 1963 р. [7] і пізніше в публікації [8] був описаний спосіб обробки чавуну вдуванням суміші спеціальних частинок, які мають не менше 50 % сферичну форму (термін – «гранульований магній» тоді був відсутній) діаметром 0,15–3,35 мм (за патентом) або 0,425–2,0 мм за статтею [8]. Оскільки у США такий матеріал не вироблявся, тому ідея залишилась не реалізованою, але успішно була застосована проф. Н.О. Вороною разом із співробітниками завдяки появі такого матеріалу (гранульованого магнію) у нас.

Пошукові дослідження з отримання гранульованого магнію та його випробування на раніше підготовлених до запуску на магнієвих порошках установок десульфурзації чавуну дозволили в доволі короткі терміни здійснити промислове виробництво гранульованого магнію [9] та його використання для десульфурзації чавуну, замість порошкового на заводі ім. Ілліча (1972 р.) і потім на «Азовсталі» та «Запоріжсталі» [3].

Десульфурация чавуну полягає в процесі переведення сірки в більш міцні, ніж FeS , сполуки, нерозчинні в металі (MgS , CaS). Магній є одним з найбільш ефективних і економічних десульфураторів; з точки зору витрат – він є кращим: для зв'язування сірки потрібно згідно з стехіометрією 0,76 кг, а CaO – 1,75 кг, CaC_2 – 2 кг. Важливим є і те, що при обробці чавуну магнієм не виділяються шкідливі для здоров'я людини пари і гази [3]. Гранульований магній поєднує в собі сприятливі фізико-хімічні властивості магнію, як реагенту (висока хімічна активність, низька температура плавлення, мінімальна стехіометрична витрата на десульфурацию) з ідеальними технологічними властивостями інжекційного реагенту (гарна сипучість, велика насипна маса, вибухобезпечність). А заміна магнію в зливках або порошку на гранульований магній в сольовій оболонці дала і ще відчутний економічний ефект за рахунок скорочення виробничого циклу виготовлення – споживання реагенту і скорочення механічних втрат реагенту, а також підвищення коефіцієнту використання магнію на десульфурацию.

Основні переваги гранульованого магнію (див. рис. 1) в порівнянні з порошками типу МПФ відповідно до ГОСТ 6001-79 або ТУ 48-05-34-71:

– на 90–95 % складається з сферичних частинок розміром 0,5–2,0 мм;

– текучість (сипучість) краща ~ в 1,5–2 рази;

– насипна щільність більше в 1,5–2 рази;

– вибухобезпечність (не містить часток менше 0,1 мм);

– менша собівартість виготовлення.

Порівняно швидкому впровадженню гранульованого магнію на металургійних заводах сприяла його пожежовибухобезпечність: температура самозаймання в сольовій оболонці виявилася на 300–350 °C вище, ніж у магнієвих порошків типу МПФ [10].

Новий спосіб отримання гранульованого магнію і обладнання для його виробництва були своєчасно запатентовані в СРСР і за кордоном [11–15]. В Інституті титану були розроблені також способи і спеціальні методики для визначення та контролю основних

Рис. 1. Перший в світі гранульований магній (1972 р.)

Рис. 2. Перша промислова установка з отримання гранульованого магнію (1974 р.)

експлуатаційних властивостей гранульованого магнію (вміст магнію активного, хлоридів і голкоподібних (асферичних) частинок) [16, 17].

В США подібний матеріал почали використовувати з 1979 р. [18, 19], з'явилось декілька патентів [20, 21], формально обходячи наші [13, 14], а по суті – прямі аналоги (за хімічним складом і розміром гранул). У 1981 р. у Фінляндії (фірма «Раутарууккі») було введено в експлуатацію побудовану за радянською ліцензією установку десульфурзації чавуну гранульованим магнієм. Гранульований магній в Фінляндію протягом декількох років поставлявся в вагонах-хоперах з нашої установки на Калуському магнієвому заводі.

15 грудня 1981 р. групі розробників нових технологій в області науки і техніки було присуджено Державну премію УРСР за «розробку і промислове впровадження технологій виробництва гранульованого магнію та його застосування для позапічної обробки доменного чавуну» (І.А. Бараннік, Н.О. Воронова, А.П. Шевченко, О.М. Романенко, В.А. Рудаков, В.Г. Раскатов, А.Ф. Трухін, А.А. Шокул і Н.П. Остапчук). З того часу властивості українського гранульованого магнію виробництва Калуського магнієвого заводу зафіксовані в двох постійних Технічних умовах (ТУ 48-10-54-78 «Магній гранульований» та ТУ 48-10-43-77 «Сплав магнієвий гранульований») залишилися майже незмінними.

Перша установка гранульованого магнію (див. рис. 2) [9] пропрацювала в Калуші з частковою реконструкцією і зупинками на капітальний ремонт чверть століття (до зупинки магнієвого заводу в 1999 р.). З 1999 по 2006 р. на установці вироблявся сплав магнієвий гранульований (з брухту та відходів магнієвих та алюмінієвих сплавів) для ТОВ «ОНВІ». А з 2006 р. гранули з вторсировини для «Азовсталі» постачаються з м. Житомир, де приватна компанія «ОНВІ» запустила виробництво, побудоване за проектом і технологіями Інституту титану. Фірма «ОНВІ» також має власне виробництво гранульованого магнію, який виробляється за китайською технологією обкочуванням зернистих часток магнію, що утворюються після фрезерування зливків («чушок») магнію.

Проблеми використання скрапу магнієвих сплавів детально розглянуто в роботах [22–24].

Гранульований магній промислової установки Калуського магнієвого заводу ВО «Хлорвініл» знайшов застосування також в процесах модифікування чавуну [25–27], в нафтовидобувній [28] і хімічній промисловості [29].

З 1998 по 2013 р. – «Китайський період» подальшого вдосконалення і промислового використання української [30] технології десульфурзації чавуну гранульованим магнієм. У 1999 р. в Китаї були введені в експлуатацію дві промислові установки з виробництва гранульованого магнію за українською технологією (в м. Дашицяо та Мінхе).

У 2001 р. успішно пройшла промислову перевірку українська технологія десульфурзації чавуну гранульованим магнієм на Уханському металургійному комбінаті, що відкрило, по суті, величезний китайський ринок чорної металургії [31, 32]. Широкому впровадженню сприяло і створення, з ініціативи Інститутів титану і Чорної металургії, спільного українсько-китайського підприємства «Десмаг» [31]. За наступні десять років було побудовано і введено в експлуатацію більше 60 комплексів десульфурзації чавуну, що завершилося успішним запуском комплексу десульфурзації чавуну та видалення шлаку в 300-т ковшів концерну CSC на Тайвані [33].

У цей час у світі з'явилися нові технології отримання гранульованого магнію: гранулювання рідкого металу в інертній атмосфері (розроблені в Росії: ТУ 1714-001-95 «Магній гранульований» і ТУ 14-002-95 «Магній алюмінієвий сплав гранульований») та Англії фірмою «Magnesium Electron» марки «melmag» (TP90, TP95 і TP97) і гранулювання обкочуванням осколкових частинок, одержуваних фрезеруванням зливків магнію.

Автори роботи [31], нам здається, захопились терміном «зернистий», використовуючи його, як прямий аналог гранульованого магнію, що вносить певну плутанину при викладі серйозного наукового тексту. Якщо це прямий аналог, то навіщо ним користуватися частіше, ніж законним терміном «гранульований магній», який зафіксований в більшості китайських контрактів? Якщо ж це інший матеріал, тоді потрібно називати його повну характеристику, оскільки властивості гранульованого магнію описані раніше багаторазово, починаючи з монографії Н.О. Воронової [3]. А й справді, викликає непорозуміння, наприклад, таке висловлювання в роботі [31] Розділ 4 (с. 116) «Параметри, показники та технологія процесу вдування зернистого магнію...», а в таблицях 4.9 і 4.10 (с. 116, 117) читаємо: «вдування гранульованого магнію...»?

Основні відмінності української технології десульфурзації:

- гранульований магній вдувають в чавун в чистому вигляді, без домішок;
- для вдування можна використовувати: азот, аргон і природний газ;
- мінімальна витрата магнію на десульфуріацію: 1,1–1,4 кг/кг сірки;
- мінімальна втрата температури чавуну при обробці: 5–10 °С;
- мінімальна втрата чавуну разом зі скачуємим шлаком: < 0,1 %;

– найменші капітальні та поточні витрати на десульфурацію.

Вдування гранульованого магнію без домішок, але при певних технологічних параметрах та технічних умовах введення гранул, забезпечує найбільш сприятливі умови для засвоєння магнію та зниження вмісту сірки в чавуні до 0,001 % [34]. Одним з важливих нововведень (правда, зі значним запізненням в часі) стало застосування одно- та двосоплових прямоочних фурм [34] замість важких фурм з випарною камерою [3, 34].

В монографії [35] на с. 174, (3-ій абзац знизу) автори дійшли до висновку: «Аналіз реагентів, які використовуються в даний час для десульфурації чавуну, показав, що найбільш ефективним для забезпечен-

ня низького вмісту сірки, технологічним та екологічно безпечним є гранульований магній». В статті [36] «Створення і промислове застосування сучасних апаратурно-технологічних комплексів десульфурації чавуну на металургійних комбінатах Китаю», с. 10, читаємо: «Досвід і промислове обладнання для десульфурації чавуну гранульованим магнієм на підприємствах Китаю показали, що розроблений автоматизований апаратурно-технологічний комплекс є досить раціональним технічним рішенням, має надійну та довготривалу перспективу промислового застосування на металургійних комбінатах Китаю, що активно розвиваються».

З цим автори статті повністю згодні!

Гранульований магній продовжує працювати!

ЛІТЕРАТУРА

1. Баранник И.А., Комелин И.М., Савенец Ю.И. История и перспективы производства гранулированного магния. *Цветные металлы*. 2008. № 3. С. 66–71.
2. Баранник И.А., Богданов А.П., Сергеев Ю.А. Получение гранул магния методом разбрызгивания жидкого металла центробежной силой. *Цветные металлы*. 1976. № 4. С. 66–69.
3. Воронова Н.А. Десульфурация чугуна магнием. Москва: Металлургия, 1980. 240 с.
4. Баранник И.А. Гранулированный магний – лучший реагент для внепечной десульфурации чугуна. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2005. № 2. С. 109–110.
5. Ващенко К.П. Софрони Л. Магниевый чугун. Москва: Машгиз, 1960. 488 с.
6. Гловацкий А.Б. Внедоменная десульфурация чугуна. Москва: Металлургия, 1986. 96 с.
7. Патент США № 3080228. The Process for the production cast iron; заяв. 03.08.1960; опуб. 05.03.1963.
8. Evans Th.R. The magnesium injection process for ductile iron. *Mod. Cast.* 1966. Vol. 50. № 2. P. 43–45.
9. Баранник И.А., Полоус В.А., Трухин А.Ф. Промышленная установка для получения гранулированного магния в окислительной атмосфере. Технология легких сплавов. Москва: ВИПС. 1981. № 3. С. 55–57.
10. Олишевец В.А., Пугин В.С., Баранник И.А. и др. Пожаро- и взрывобезопасность гранулированного магния в условиях производства. Экспресс-информация. Раздел: Металлургия цветных металлов. ЦНИИ экономики и информации Минцветметалл СССР. Выпуск 1. Москва, 1981. 29 с.
11. А. с. СССР № 263401. Способ получения гранулированного магния и сплавов на его основе / Баранник И.А., Бойко Ю.Н., Бородин В.И. и др. БИ, 1970. № 7.
12. А. с. СССР № 384423. Способ получения гранулированного магния и сплавов на его основе / Баранник И.А., Белкин Г.И., Бородин В.И. и др. БИ, 1978. № 30.
13. Патент США № 3881913. Method of producing granules of magnesium and its alloys. Publ. 06.05.1975.
14. Патент США № 3969104. Granules of magnesium and its alloys. Pub. 13.07.1976.
15. Патент США № 4059372. Plant for producing metallic pellets from salt-added magnesium or alloys thereof. Pub. 22.11.1977.
16. Пограничная Р.М., Нерубашенко В.В., Гончарова В.П. Определение активного магния в гранулированном магнии. *Заводская лаборатория*. 1971. № 5. С. 537.
17. Сергеев Ю.А., Баранник И. А. Прибор для определения содержания игловидных частиц в гранулированном магнии. *Заводская лаборатория*. 1975. № 4. С. 455–456.
18. Smillie A.M., Huber R.A. Operating Experience at Youngstown Steel with Injected Salt Coated Magnesium Granules for External Desulfurization of Hot Metal. *Iron and Steelmaker*. 1979. Vol. 6. № 6. P. 20–28.
19. Kendrick V.C., Smillie A.M., Deeter R.E., Brown W.A. Angular injection of magnesium granules for external desulfurization ... In Proc. 40th World Magnesium Conf. Toronto, 12–15 June, 1983, Dayton, Ohio. P. 91–104.
20. Патент США № 4186000. Salt-coated magnesium granules; заяв. 25.08.1978; опубл. 21.01.1980.
21. Патент США № 4384887. Process of making salt-coated magnesium granules; заяв. 24.05.1983.
22. Баранник И.А., Свиридов Д.Е. Переработка скрапа магниевых сплавов в гранулированный магний для десульфурации чугуна. *Цветные металлы*. 2010. № 5. С. 113–118.
23. Баранник И.А., Полоус В.А., Трухин А.Ф. Получение гранулированного магния из вторичных магниевых сплавов. *Цветные металлы*. 1981. № 10. С. 84–85.
24. Вергун А.С. Внепечная десульфурация чугуна гранулированным магнием из сплава МА9Ц6. В сб. Магнелиевые сплавы для современной техники. Москва: Наука, 1992. С. 175–177.

25. Кремнев-Хазанов Л.А., Кошелев В.И., Шувалов М.Г. и др. Получение отливок из высокопрочного чугуна при модифицировании в форме гранулированным магнием. *Литейное производство*. 1984. № 5. С. 11–12.
26. Шевченко А.Ф., Двоскин Б.В., Ткач Н.Т. и др. Модифицирование чугуна методом вдувания в чугун в 30-т ковшах для отливки листопрокатных валков. *Теория и практика металлургии*. 1999. № 4. С. 33–34.
27. Сборщик А.М., Курганов В.А., Бычков Ю.Б. и др. Доменный чугун с шаровидным графитом для крупных отливок. Москва: Машиностроение, 1995. 129 с.
28. Мустафин Г.Г., Глебина Л.А., Баранник И.А. Оксидированный гранулированный магний для термохимической обработки призабойной зоны пласта. *Нефтепромысловое дело*. 1981. № 1. С. 19–21.
29. Клоков Б.А., Соболевский М.В., Сахиев А.С. и др. В сб. Непрерывные процессы синтеза магнийорганических соединений и магнийорганического синтеза кремнийорганических мономеров. Москва: НИИТЭХИМ, 1984. 32 с.
30. Александров В.А., Башмаков А.М., Большаков В.И. и др. Совершенствование и промышленное применение украинской технологии десульфурации чугуна вдуванием гранулированного магния. В сб. научных трудов. Запорожье: ЗГИА. 2006. Вып. 14. С. 55–62.
31. Шевченко А.Ф., Большаков В.И., Башмаков А.М. Технология и оборудование десульфурации чугуна магнием в большегрузных ковшах. НПП Издательство «Наукова думка» НАН Украины, 2011. 207 с.
32. Шевченко А.Ф., Двоскин Б.В., Вергун А.С. и др. Применение технологии десульфурации чугуна чистым гранулированным магнием на Уханьском меткомбинате. *Сталь*. 2002. № 4. С. 46–48.
33. Большаков В.И., Шевченко А.Ф., Башмаков А.М. и др. Новый комплекс десульфурации чугуна магнием с высокой интенсивностью вдувания на сталеплавильном заводе № 2 корпорации CSC, Тайвань. Бюллетень «Черная металлургия». 2013. № 4. С. 29–34.
34. Шевченко А.Ф., Александров В.А., Баранник И.А. и др. Теоретические основы и технологические преимущества десульфурации чугуна гранулированным магнием без кальцийсодержащих добавок. В сб. трудов 6-го Международного симпозиума по десульфурации чугуна и стали. Магдебург, Германия, 2000. С. 12–19.
35. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. Производство стали. Т. 2. Внепечная обработка жидкого чугуна. Москва: Теплотехника, 2008. 400 с.
36. Большаков В.И., Шевченко А.Ф., Александров В.А. и др. Создание и промышленное применение современных аппаратурно-технологических комплексов десульфурации чугуна на металлургических комбинатах Китая. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2004. № 4. С. 6–10.

Надійшла 22.10.2021

REFERENCES

1. Barannik, I.A., Komelin, I.M., Savenets, Yu.I. (2008). History and perspectives of granular magnesium production. *Non-ferrous metals*, no. 3, pp. 66–71 [in Russian].
2. Barannik, I.A., Bogdanov, A.P. Sergeev, Yu.A. (1976). Granular magnesium receiving by the method of spraying liquid metal by centrifugal force. *Non-ferrous metals*, no. 4, pp. 66–69 [in Russian].
3. Voronova, N.A. (1980). Desulfurizing of pig iron by magnesium. Moscow: Metallurgiya, 240 p. [in Russian].
4. Barannik, I.A. (2005). Granular magnesium is the best reagent for out-of-furnace pig iron desulfurizing. *Iron and steel industry and metal mining industry*, no. 2, pp. 109–110 [in Russian].
5. Vashchenko, K.P., Sofroni, L. (1960). Magnesium pig iron. Moscow: Mashgiz, 488 p. [in Russian].
6. Glovatskij, A.B. (1986). The out-of-furnace pig iron desulfurizing. Moscow: Metallurgiya, 96 p. [in Russian].
7. Pat. 3080228 U.S.A. IPC B22D27/20; C21C1/02; C21C1/08; C21C1/10; C21C7/072; C22C33/08; (IPC1-7): C21C7/00. The Process for the production cast iron; Ivo Henych, Karl Gut; publ. 05.03.1963.
8. Evans, Th.P. (1966). The magnesium injection process for ductile iron. *Mod. Cast.*, vol. 50, no. 2, pp. 43–45.
9. Barannik, I.A., Polous, V.A., Truhin, A.F. (1981). Production plant for receiving granular magnesium in oxidizing atmosphere. Light alloy technology. Moscow: VILS, no. 3, pp. 55–57 [in Russian].
10. Olishevets, V.A., Pugin, V.S., Barannik, I.A. et al. (1981). Fire and Explosion safety of granular magnesium in industrial welfare. *Ekspress-informatsiya*. Chapter: Metallurgy of non-ferrous metals, Moscow: Central Research and Development Institute for Economics and Information of Mintsvetmetall of USSR, iss. 1, 29 p. [in Russian].
11. Copyright certificate 263401 USSR. Method of producing granules of magnesium and its alloys; Barannik I.A., Bojko Yu.N., Borodin V.I. et al. Emissions trading bulletin, no. 7; publ. 1970 [in Russian].
12. Copyright certificate 384423 USSR. Method of producing granules of magnesium and its alloys; Barannik I.A., Belkin G.I., Borodin V.I. et al. Emissions trading bulletin, no. 30; publ. 1978 [in Russian].
13. Pat. 3881913 U.S.A. IPC B22F9/10; C22C1/04; (IPC1-7): B22D23/08. Method of producing granules of magnesium and its alloys; Barannik I.A., Belkin G.I., Borodin V.I. et al.; publ. 06.05.1975.

14. Pat. 3969104 U.S.A. IPC B22F1/02; C22C1/04; (IPC1-7): B22D23/08. Granules of magnesium and its alloys; Barannik I.A., Belkin G.I., Borodin V.I. et al.; publ. 13.07.1976.
15. Pat. 4059372 U.S.A. IPC B22F9/10; (IPC1-7): B29C23/00. Plant of producing metallic pellets from salt-added magnesium or alloys thereof; Barannik I.A., Kondratenko A.B., Trukhin A.F. et al.; publ. 22.11.1977.
16. Pogranichnaya, R.M., Nerubashchenko, V.V., Goncharova, V.P. (1971). Definition of active magnesium in granular magnesium. *Plant laboratory*, no. 5, p. 537 [in Russian].
17. Sergeev, Yu.A., Barannik, I.A. (1975). Acicular particles in granular magnesium content tester. *Plant laboratory*, no. 4, pp. 455–456 [in Russian].
18. Smillie, A.M., Huber, R.A. (1979). Operating Experience at Youngstown Steel with Injected Salt Coated Magnesium Granules for External Desulfurization of Hot Metal. *Iron and Steelmaker*, vol. 6, no. 6, pp. 20–28.
19. Kendrick, V.C., Smillie, A.M., Deeter, R.E., Brown, W.A. (1983). Angular injection of magnesium granules for external desulfurization ... In Proc. 40th World Magnesium Conf. Toronto, 12–15 June, Dayton, Ohio, pp. 91–104.
20. Pat. 4186000 U.S.A. IPC B22F9/06; C21C1/10; C21C7/04; C21C7/064; (IPC1-7): C22C1/04. Salt-coated magnesium granules; Skach Jr., Edward J., George B. Cobel; publ. 21.01.1980.
21. Pat. 4384887 U.S.A. C21C1/10; C21C7/064; (IPC1-7): C22C1/04. Process of making salt-coated magnesium granules; publ. 24.05.1983.
22. Barannik, I.A., Sviridov, D.E. (2010). Magnesium alloys scrap processing in granular magnesium for cast iron desulfurizing. *Non-ferrous metals*, no. 5, pp. 113–118 [in Russian].
23. Barannik, I.A., Polous, V.V., Truhin, A.F. (1981). Granular magnesium receiving from secondary magnesium alloys. *Non-ferrous metals*, no. 10, pp. 84–85 [in Russian].
24. Vergun, A.S. (1992). Secondary desulfurization of cast iron by granular magnesium from the alloy MA9C6. In collection "Magnesium alloys for modern technology". Moscow: Nauka, pp. 175–177 [in Russian].
25. Kremnev-Hazanov, L.A., Koshelev, V.I., Shuvalov, M.G. et al. (1984). Receiving castings from high strength cast iron during modifications by granular magnesium in the form. *Foundry*, no. 5, pp. 11–12 [in Russian].
26. Shevchenko, A.F., Dvoskin, B.V., Tkach, N.T. et al. (1999). Cast iron modification by injection into cast iron 30-ton buckets for casting sheet rolls. *Metallurgy theory and practice*, no. 4, pp. 33–34 [in Russian].
27. Sborshchik, A.M., Kurganov, V.A., Bychkov, Yu.B. et al. (1995). Pig iron with spheroidal graphite for big casting. Moscow: Mashinostroenie, 129 p. [in Russian].
28. Mustafin, G.G., Glebina, L.A., Barannik, I.A. (1981). Oxidized granular magnesium for chemical heat treatment of critical area of formation. *Petroleum engineering*, no. 1, pp. 19–21 [in Russian].
29. Klovov, B.A., Sobolevskij, M.V., Sahiev, A.S. et al. (1984). In collection Continuous synthesis processes of organomagnesium compounds and organomagnesium synthesis of organosilicone monomers. Moscow: NIITEKHIM, 32 p. [in Russian].
30. Aleksandrov, V.A., Bashmakov, A.M., Bol'shakov, V.I. et al. (2006). Improvement and industrial application of Ukrainian technology of cast iron desulfurizing by granular magnesium injection. In collection of scientific papers ZDIA. Zaporizhzhia: ZGIA, iss. 14, pp. 55–62 [in Russian].
31. Shevchenko, A.F., Bol'shakov, V.I., Bashmakov, A.M. (2011). Technology and equipment of cast iron desulfurizing by magnesium in big ladles of great capacity. NPP Izdatel'stvo "Naukova dumka" NAN Ukrainy, 207 p. [in Russian].
32. Shevchenko, A.F., Dvoskin, B.V., Vergun, A.S. et al. (2002). Application of cast iron desulfurizing technology by pure granular magnesium at metallurgical complex of Wuhan. *Steel*, no. 4, pp. 46–48 [in Russian].
33. Bol'shakov, V.I., Shevchenko, A.F., Bashmakov, A.M. et al. (2013). New cast iron desulfurizing by magnesium complex with high intensity of injection at steel works no. 2 corporation CSC, Tajvan. *Bulletin "Ferrous metallurgy"*, no. 4, pp. 29–34 [in Russian].
34. Shevchenko, A.F., Aleksandrov, V.A., Barannik, I.A. et al. (2000). Theoretical foundations and technological benefits of cast iron desulfurizing by granular magnesium without calcium-containing additions. In collection of proceedings of the 6th International Symposium on Iron and Steel Desulfurization – Magdeburg, German, pp. 12–19 [in Russian].
35. Dyudkin, D.A., Kisilenko, V.V. (2008). Steel production. Vol. 2. Secondary Metallurgy of liquid cast iron. Moscow: Teplotekhnika, 400 p. [in Russian].
36. Bol'shakov, V.I., Shevchenko, A.F., Aleksandrov, V.A. et al. (2004). Creation and industrial application of modern hardware and technological complexes for iron desulfurization at metallurgical plants in China. *Iron and steel industry and metal mining industry*, no. 4, pp. 6–10 [in Russian].

Received 22.10.2021

Summary

I.A. Barannik¹, PhD (Engin.), Leading Research Scientist, State Prize Laureate of UkSSR, Honored Inventor of UkSSR, the Best Inventor of Non-ferrous Metal Industry, e-mail: ludmila.ukraine@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6879-0609>

Yu.I. Savenets², Technical director, e-mail: y.savenets@onvi.net.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8675-6324>

¹Publicly joint-stock company "Titanium Institute" (Zaporizhzhia, Ukraine)

²Private limited company "ONVI" (Zhytomyr, Ukraine)

Ukrainian granular magnesium is fifty years old

Granular magnesium is a material, the industrial production of which first began in Ukraine in the early 70s of the last century. Over 50 years, its effectiveness has been repeatedly proven as the main reagent-desulfurizer of cast iron, not only in the former USSR, but also in a number of foreign countries. The main production developer organizations of granular magnesium and its effective use as a reagent-desulfurizer: Publicly joint-stock company "Titanium Institute" (city Zaporizhzhia) and Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine (city Dnipro) with the enterprises participation of cities Zaporizhzhia, Kalush and Solikamsk. Developed and implemented process in city Kalush allowed to receive granular magnesium from liquid metal in oxidizing atmosphere (air) with centrifugal spraying, that makes broken magnesium explosion-proof reagent and allow it to use in its pure form, instead of powder form.

Granular magnesium is being effectively used in other industries: chemistry, mechanical engineering (high-strength cast iron) and extraction of petroleum.

In the USA, such material began to be produced 6–8 years later. For the first time, Ukrainian technology of cast iron desulfurizing with granular magnesium was used in Finland, where granular magnesium supplied from Kalug Magnesium Works.

In 2000–2012 Publicly joint-stock company "Titanium Institute" and Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine with common Ukrainian-Chinese company Desmag distributed Ukrainian technology of cast iron desulfurizing with granular magnesium in China – in the country with the biggest pig iron and steel production in the world.

Zhytomyr Private limited company "ONVI" continues to produce and supply magnesium alloys scrap pellets to Azovstal Iron & Steel Works, where since 1977 the pig iron desulfurizing has been operating according to ukrainian technology (one of the first developments of Iron and Steel Institute and Private joint-stock company Azovstal Iron & Steel Works). In a number of scientific publications Ukrainian technology of cast iron desulfurizing with granular magnesium or magnesium alloy is recognized as the most effective among other famous desulfurizing technologies.

Keywords

Granular magnesium, granular magnesium alloy, pig iron desulfurizing, Titanium Institute, "Azovstal", Iron and Steel Institute, company "ONVI", magnesium scrap, steel industry in China.