

<https://doi.org/10.15407//plit2024.04.072>

УДК 621.74:338.4

В.С. Дорошенко, д-р техн. наук, пров. наук. співроб;
e-mail: doro55v@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0070-5663>

В.О. Шинський, наук. співроб.; e-mail: shynskyvo@nas.gov.ua;
<https://orcid.org/0000-0001-5033-1199>

С.І. Клименко, канд. техн. наук; e-mail: ukrdeplit15@ukr.net;
<https://orcid.org/0000-0002-2431-451X>

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

ОГЛЯД СВІТОВОГО РИНКУ МЕТАЛЕВОГО ЛИТТЯ З ПОЧАТКУ ХХІ СТОЛІТТЯ ТА ЙОГО ПРОГНОЗОВАНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДО 2030 РОКУ

Ливарне виробництво, як один із найстаріших процесів формоутворення металоконструкцій, розвивалося під час промислових революцій, служачи не лише основою для виробництва машин і механізмів, але й показником технологічних досягнень свого часу. Цей процес став критично важливим для створення будівельних і декоративних конструкцій, металевого оснащення, інструментів тощо. У статті здійснено огляд світового ринку металевого лиття з початку ХХІ ст. та його прогнозне моделювання до 2030 р. Від початку 2000-х рр. і до 2018 р. глобальна ливарна промисловість демонструвала постійне зростання виробництва, перерване двома фазами очевидної стагнації — з 2007 по 2010 р., і, на значно вищому рівні, з 2014 по 2016 р. У 2019–2021 рр. відбулось певне зниження виробництва. Актуальну оцінку та аналітичне моделювання, обґрунтовані макроекономічним оглядом окремих секторів, пов'язаних із ливарною промисловістю з урахуванням геополітичних і технологічних припущень, опубліковав відомий аналітик Г.-Ю. Бюхнер разом із колегами з IKB Deutsche Industriebank. Це моделювання проілюстроване діаграмами випуску виливків за ключовими регіонами до 2030 р. До поточних та майбутніх викликів і перспектив належать такі чинники. Насамперед високі витрати на електроенергію, що залишаються обтяжувальним фактором для ливарної промисловості Європи. Шлях до бажаної кліматичної нейтральності призводить до значних інвестицій для промисловості, а також вимагає імпульсів від енергетики щодо збереження. Постійне оцифрування та розвиток штучного інтелекту, науково-технічні досягнення в ливарній галузі створюють як технологічні виклики, так і можливості для оптимізації виробництва. Частина індустрії споживачів переміщується в інші регіони, але низка нових ринків, особливо в Азії, також пропонують нові можливості постачання ливарної продукції.

Ключові слова: ливарне виробництво, світовий ринок, річний тоннаж виливків, ливарна промисловість, прогноз, чавун, сталь, алюміній.

Ливарне виробництво як одне з найдавніших і найважливіших первинних процесів формоутворення металоконструкцій, відомих людству, розвивалось у процесі промислових революцій і багато в чому було рушієм та своєрідним барометром інновацій і досягнень цих революцій [1], ставши основною заготівельною базою виробництва машин і механізмів, важливою складовою будівельних і декоративних

конструкцій, металевого оснащення, інструментів тощо. Якщо перша промислова революція замінила ручну працю машинами, а друга запровадила масове виробництво, третя пов'язана із цифровим комп'ютерним керуванням, а отже, впровадженням автоматизованих систем на заміну людському контролю. Четверта промислова революція виходить за рамки цього, передаючи рішення, прийняті людьми, автоматизованим системам, які базуються на оцінці великих обсягів даних, нерідко з використанням підходів штучного інтелекту. Для цього процесу, у центрі якого ми сьогодні перебуваємо, було створено такі концепції, як «Індустрія 4.0» і «розумне виробництво», тоді як «Індустрія 5.0», яка знову намагається поставити людину в центр, уже вимальовується на горизонті [1, 2]. Такі тенденції вплинули на ливарну галузь (як і на будь-який інший виробничий сектор), що реагує на це, просуваючись із різною швидкістю за допомогою цифровізації, передових підходів до моделювання, таких як концепція цифрового двійника, адаптованого до її процесів, і розширеного використання методів штучного інтелекту [1]. Сьогодні завдяки новим матеріалам і технологіям, зокрема 3D-друку, що є складовою цифровізації та автоматизації, ливарне виробництво продовжує еволюціонувати, відкриваючи нові можливості для промисловості й інженерії.

Від початку 2000-х рр. і до 2018 р. глобальна ливарна промисловість демонструвала постійне зростання виробництва, перерване двома фазами очевидної стагнації з 2007 по 2010 р., і, на значно вищому рівні, з 2014 по 2016 р. Спостереження за падінням тоннажу в 2019 р. може спричинити спокусу принаймні частково пов'язати це з пандемією COVID-19. Однак при ближчому розгляді це видається сумнівним, враховуючи той факт, що дані Китаю, де почалася пандемія, показують лише незначне зниження, причому основна частина спаду поширюється на кілька країн [1]. Серед п'ятірки провідних виробників Індія виробила на 14,2 % менше тоннажу литва. У Японії та Німеччині ці цифри становили 5,4 і 8,8 % відповідно, тоді як лише в США зростання на 5,1 % майже компенсує падіння Китаю в абсолютних показниках (табл. 1) [1]. Проте падіння виробництва виливків у подальші роки відбулось частково через прямий вплив пандемії, а частково через її вторинні наслідки, такі як порушення ланцюга постачання й дефіцит чипів, які призвели до значного скорочення виробництва автомобілів починаючи з 2020 р. [1].

У 2020 р. світовий ВВП продемонстрував падіння до – 3,2 %, а виробництво виливків зменшилось до 105,5 млн т [3, 4]. За даними роботи [3], світове виробництво виливків продовжувало зростати, досягнувши об'єму близько 108,0 млн т [4, 5]. Проте, оскільки подальші роки річні переписи Всесвітньої ливарної організації (WFO) не публікувались, доречно розглянути актуальну оцінку та прогноз щодо розвитку міжнародної ливарної промисловості станом на квітень 2024 р., яку опублікував відомий аналітик Г.-Ю. Бюхнер разом зі своїми колегами з IKB Deutsche Industriebank Д. Райнсбергом і С. Люттер, ілюструючи діаграмами ключові економічні показники [6]. Аналітичне моделювання варіюється від макроекономічного погляду на окремі сектори до ливарної промисловості та враховує геополітичні й технологічні припущення. Зокрема, експерти очікують різноплановий розвиток виробництва чавуну та сталі і відзначають відповідні тенденції в Європі, Індії та інших країнах (рис. 1–3) [6].

Середньострокові та довгострокові тенденції в ливарній галузі залежать від об'єктивності зборуданих та геополітичних і технологічних припущень [7]. Можливості та виклики ливарної промисловості неоднорідні, залежать від попиту на певний спектр продукції та стану галузей споживачів. Після нещодавнього відновлення виробництва автомобілів у Європі та Північній Америці лише незначною мірою зросте в середньостроковій та довгостроковій перспективі, але залишиться актуальним ринком збуту литих виробів. Це стосується лиття чавуну та сталі в середньостроковій перспективі через повільніше, ніж очікувалося, зростання випуску електромобілів в Європі. Очікується, що ринок комерційних автомобілів дасть поштовх через майбутню модернізацію автопарку. Особливий економічний бум очікується в Північній Америці (NAFTA) в 2025 і 2026 рр., який стосується випуску всіх класів комерційних

Таблиця 1
Річний тоннаж виливків по країнах за 2004–2019 рр., згідно зі щорічним переписом
Всесвітньої ливарної організації (WFO), млн т

Країна / рік	2004	2005	2006	2007	2008	2010	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Китай	22,42	24,42	28,09	31,27	33,50	39,60	46,20	45,60	47,20	49,40	49,35	48,75
Індія	4,62	6,11	7,18	7,77	6,84	9,05	10,02	10,77	11,35	12,06	13,39	11,49
США	12,31	12,90	12,45	11,82	10,78	8,24	10,47	10,39	9,40	9,67	10,76	11,31
Японія	6,39	6,66	7,93	6,96	5,65	4,76	5,54	5,40	5,20	5,45	5,58	5,28
Німеччина	4,98	5,11	5,48	5,84	5,78	4,79	5,25	5,31	5,17	5,48	5,43	4,95
Росія	6,30	7,62	6,90	7,80	7,80 ¹	4,20 ¹	4,20	4,20 ¹	3,90	4,23	4,20	4,20 ³
Мексика	2,19	1,79	1,68	1,68	1,83	1,65	1,65 ²	2,56	2,56 ¹	2,91	2,91	2,86 ³
Півд. Корея	1,86	1,90	1,97	2,02	2,07	2,23	2,63	2,62	2,61	2,54	2,52	2,38
Туреччина	0,98	1,12	1,21	1,32	1,27	1,29	1,75	1,85	1,90	2,16	2,26	2,31
Бразилія	2,83	2,97	3,09	3,23	3,36	3,24	2,74	2,32	2,10	2,22	2,28	2,29
Італія	2,44	2,54	2,64	2,74	2,64	1,97	2,02	2,03	2,08	2,24	2,26	2,07
Франція	2,47	2,34	2,41	2,47	2,39	1,96	1,73	1,68	1,63	1,72	1,78	1,70
Тайвань	1,45	1,49	1,56	1,63	1,49	1,30	1,32	1,19	1,10	1,28	1,38	1,38
Іспанія	1,31	1,31	1,33	1,43	1,36	1,14	1,14	1,21	1,28	1,30	1,29	1,27
інші	7,25	7,42	7,48	6,92	6,74	6,28	6,94	6,97	6,92	7,24	7,31	6,85
Всього	79,8	85,7	91,4	94,9	93,5	91,7	103,6	104,1	104,4	109,9	112,7	109,1

¹ Дані за попередній рік; ² дані за 2011 р.; ³ дані за 2017 р.

і вантажних автомобілів через значно суворіші стандарти викидів ЕРА починаючи з 2027 модельного року.

У 2020 р. спостерігався різкий спад виробництва чавунного лиття, і до 2022 р. лише кілька регіонів змогли досягти рівня 2018 р. [6, 8]. У короткостроковій перспективі Китай розширить своє домінуюче становище. Решта країн Азії, як і решта світу, розвиватиметься з середньою швидкістю. Індія, В'єтнам та Індонезія стануть економічно сильнішими зі зростанням випуску литва в наступні кілька років.

На лиття чавуну та сталі в Європі негативно впливає зростання вартості електроенергії, відбувається певне гальмування економічного розвитку, для якого тягарем стала війна Росії в Україні [7]. У Європі очікується більше зростання в країнах Східної Європи, включаючи Туреччину, на яке зараз впливає ця війна. А Іспанія може виграти від буму вітроенергетики в середньостроковій перспективі (рис. 2).

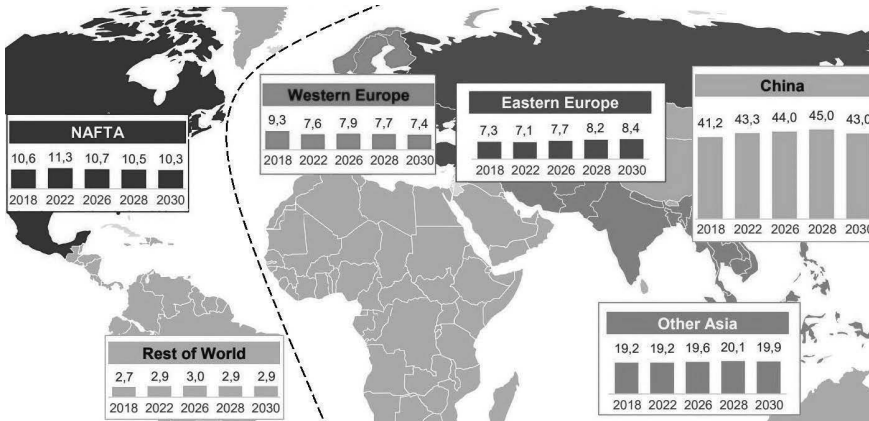


Рис. 1. Об'єми випуску виливків із чавуну та сталі у світі, млн т

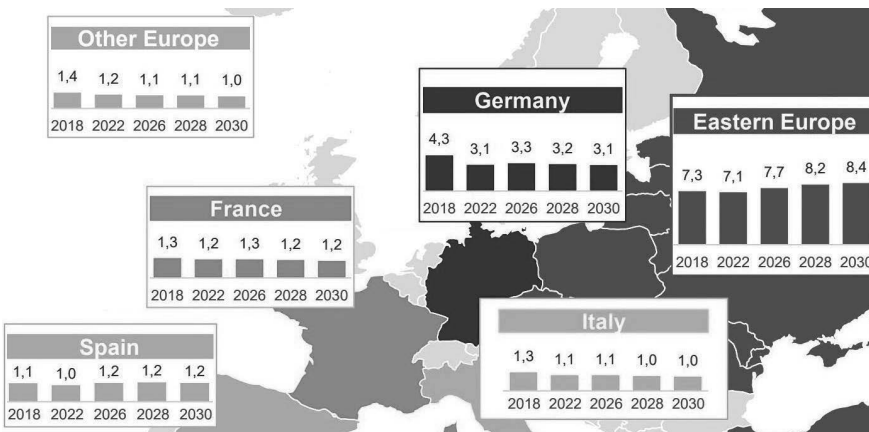


Рис. 2. Тоннаж випуску виливків із чавуну та сталі в Європі, млн т

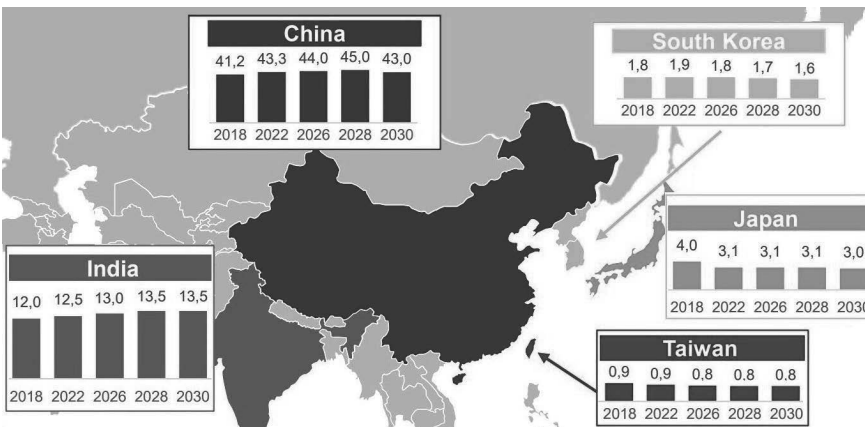


Рис. 3. Випуск виливків із чавуну та сталі в Азії, млн т

Стосовно прогнозу щодо ливарного виробництва із залізвуглецевих сплавів в Азії (рис. 3), то високий попит на інвестиції в інфраструктуру Індії може стимулювати потребу в ливарній продукції. У довгостроковій перспективі спостерігається зниження попиту з боку будівельного сектора на ливарні вироби в Китаї. Японія та Корея також втратять частку ринку.

Загалом, алюмінієве лиття продовжуватиме набувати все більшого значення з ростом випуску електромобілів і тенденцією до полегшення металоконструкцій (рис. 4–6) [6]. Очікується, що світовий сектор машинобудування демонструватиме значне зростання продажів до 2030 р. Китай продовжить розширювати свою домінуючу позицію на ринку. У рамках NAFTA Мексика, ймовірно, досягне більшого зростання в середньостроковій перспективі.

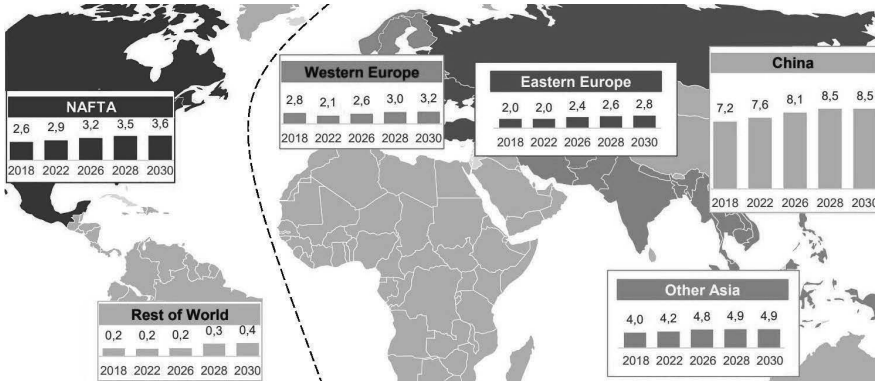


Рис. 4. Об'єми випуску виливків з алюмінієвих сплавів у світі, млн т

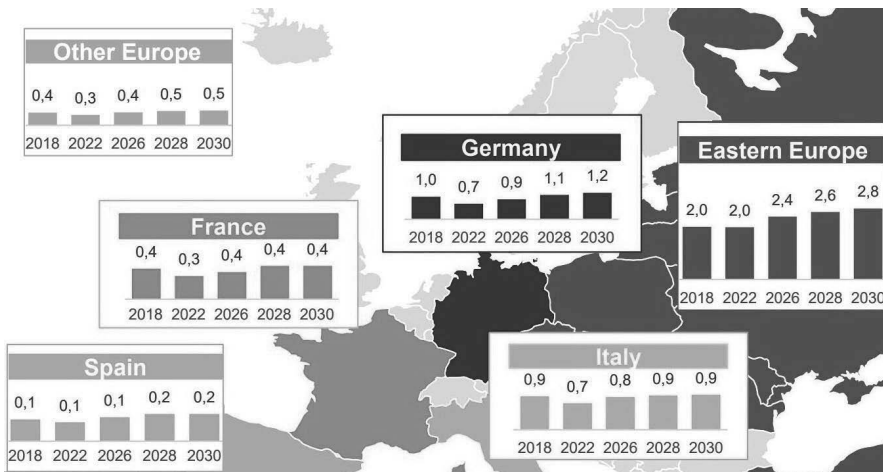


Рис. 5. Випуск виливків з алюмінієвих сплавів в Європі, млн т

На світовому ринку мідного литва спостерігається невелике відновлення після падіння у 2022 р., однак у довгостроковій перспективі його об'єм стабілізується (рис. 7) [6].

У Західній Європі в 2023 р. позитивні економічні імпульси, зокрема відновлення автомобільної промисловості Німеччини, були затьмарені падінням замовлень у машинобудуванні. Туреччина [9] та деякі країни Східної Європи (наприклад, Румунія, Словаччина, Угорщина) отримують вигоду від інвестицій західноєвропейських ливарних заводів у лиття виробів для легкових автомобілів [6]. В азійському регіоні інвестиції в інфраструктуру Індії можуть стимулювати попит на литво як з алюмінію, так і з чорних металів. А від будівельної галузі Китаю не очікують стимулювання росту лиття кольорових металів, як і від автомобільної промисловості Японії та Кореї.

Геополітичні припущення такі, що російсько-українська війна завершиться не пізніше, ніж упродовж наступних двох років, що нинішні конфлікти на Близькому Сході не поширяться на інші сусідні держави або будуть вирішені в секторі Газа до середини 2025 р., а також не виникнуть нові конфлікти [7].

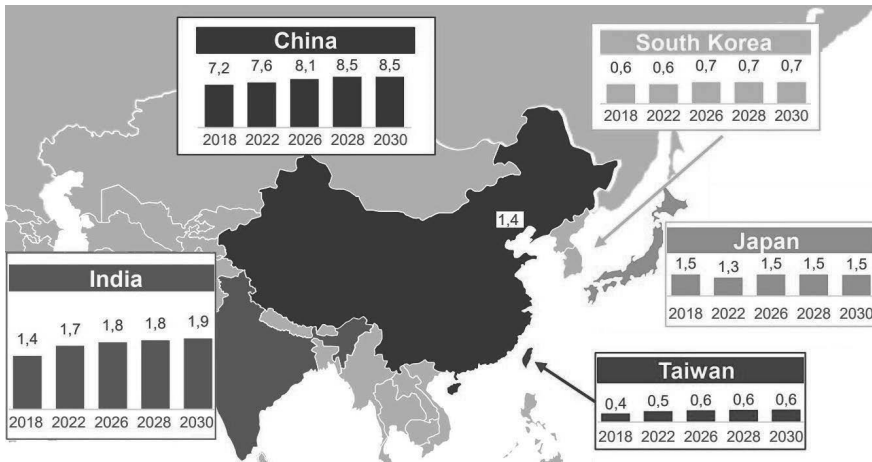


Рис. 6. Випуск виливків з алюмінієвих сплавів в Азії, млн т

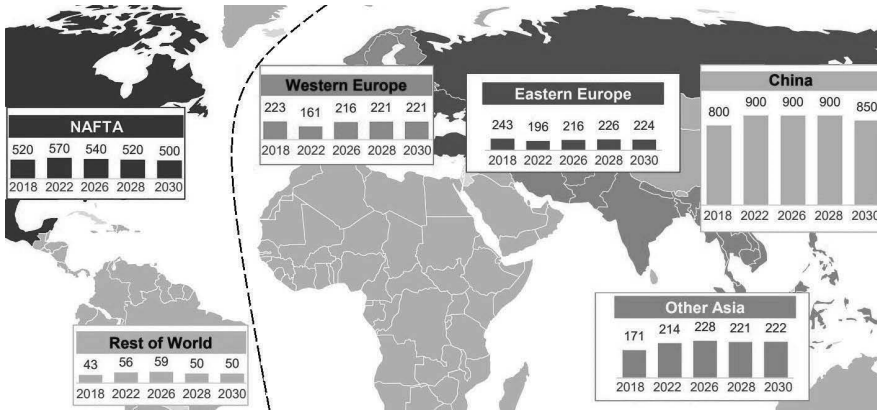


Рис. 7. Випуск виливків з мідних сплавів у світі, тис т

Врахування впливу технологічних розробок, галузевих тенденцій щодо випуску електромобілів, трендів у машинобудуванні та енергетичному секторі на прогнозовані показники ливарного виробництва базується на поточних потужностях і логістичних ланцюгах постачання. Геополітичні події, посилення зусиль ЄС щодо підвищення стійкості та програми промислової політики, такі як IRA у США, можуть призвести до регіональних змін у прогнозованих показниках виробництва.

У підсумку до поточних та майбутніх викликів і перспектив належать такі чинники [6, 7]. Насамперед високі витрати на електроенергію залишаються обтяжувальним фактором для ливарної промисловості в Європі, особливо в Німеччині. Шлях до бажаної кліматичної нейтральності призводить до значних інвестицій для промисловості, а також вимагає імпульсів від енергетики щодо збереження та ефективності. Постійне оцифрування й розвиток штучного інтелекту, науково-технічні досягнення в ливарній галузі створюють як технологічні виклики, так і можливості для оптимізації продажів. Частина індустрії споживачів переміщується в інші регіони, але низка нових ринків, особливо в Азії, також пропонують нові можливості постачань ливарної продукції, наприклад, В'єтнам, Таїланд і особливо Індонезія. При цьому останні мають значні запаси сировини (нікелю, залізної руди, вугілля, бокситів, міді тощо). У цих країнах також з'являються нові виробники, які можуть стати конкурентами на європейських ринках у довгостроковій перспективі.

Отже, для діючих ливарних заводів зростає потреба зміцнення їх економічної стабільності, розробки стратегії послідовного зниження споживання енергії,

ресурсів та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, збереження кваліфікованого персоналу в довгостроковій перспективі. Завдяки постійному впровадженню інновацій і нових технологій, таких як цифрова трансформація, автоматизація та використання сучасних матеріалів, ливарне виробництво вдосконалюється, продовжує відігравати ключову роль у розвитку багатьох галузей, забезпечуючи виготовлення деталей із високою міцністю й точністю, що робить його невід'ємною частиною сучасної промисловості.

Список літератури

- 1 Lehnhus D. Advances in Metal Casting Technology: A Review of State of the Art, Challenges and Trends—Part I: Changing Markets, Changing Products. *Metals*. 2022, 12(11), 1959; <https://doi.org/10.3390/met12111959>.
- 2 Leng, J.; Sha, W.; Wang, B.; Zheng, P.; Zhuang, C.; Liu, Q.; Wuest, T.; Mourtzis, D.; Wang, L. Industry 5.0: Prospect and retrospect. *J. Manuf. Syst.* 2022, 65, 279–295. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.09.01>.
- 3 Гнатуш В.А., Світовий ринок металевих виливків 2019–2021: країни, сплави, технології. *Процеси лиття*. 2023. № 2. С. 56–75. <https://doi.org/10.15407/plit2023.02.056>.
- 4 Fewer Castings Made in 2020. A Modern Casting Staff Report. *Casting Source*. Jan/Feb. 2022. P. 37–38.
- 5 Industry Outlook: Sales Expected to Keep Growing. *Modern Casting*. Jan. 2023. P. 33–35.
- 6 Büchner H-J. Chances and Challenges for the global Foundry Industry. 10.05.2024. URL: <https://www.foundry-planet.com/d/chances-and-challenges-for-the-global-foundry-industry-status-april-2024/>.
- 7 Rheinsberg D. The opportunities and challenges of the global foundry industry until 2030. 25.09.24. URL: <https://www.foundrygate.com/#/news/6134/the-opportunities-and-challenges-of-the-global-foundry-industry-until-2030>.
- 8 Гнатуш В.А., Дорошенко В.С. Тренди світового ринку чавуну та чавунних виливків в першій чверті XXI століття. *Металознавство та обробка металів*. 2023. № 3. С. 30–40. <https://doi.org/10.15407/mom2023.03.030>.
- 9 Гнатуш В.А., Дорошенко В.С., Клименко С.І. Ливарна промисловість Туреччини у 2022 р. зросла на 4,9 % з рекордним випуском 3,1 млн т виливків. *Перспективні технології, матеріали й обладнання в ливарному виробництві: матеріали IX Міжнар. наук.-техн. конференції, м. Краматорськ, 25–27 вересня 2023 р.* С. 35.

Надійшла 02.10.2024

References

- 1 Lehnhus D. Advances in Metal Casting Technology: A Review of State of the Art, Challenges and Trends—Part I: Changing Markets, Changing Products. *Metals*. 2022, 12(11), 1959; <https://doi.org/10.3390/met12111959>.
- 2 Leng, J.; Sha, W.; Wang, B.; Zheng, P.; Zhuang, C.; Liu, Q.; Wuest, T.; Mourtzis, D.; Wang, L. Industry 5.0: Prospect and retrospect. *J. Manuf. Syst.* 2022, 65, 279–295. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.09.01>.
- 3 Gnatush V.A. (2023). The world market of metal castings 2019-2021: countries, alloys, technologies. *Casting processes*. No. 2. P. 56–75. <https://doi.org/10.15407/plit2023.02.056>. [in Ukrainian].
- 4 Fewer Castings Made in 2020. A Modern Casting Staff Report. *Casting Source*. Jan/Feb. 2022. P. 37–38.
- 5 Industry Outlook: Sales Expected to Keep Growing. *Modern Casting*. Jan. 2023. P. 33–35.

- 6 Büchner H-J. Chances and Challenges for the global Foundry Industry. 10.05.2024. URL: <https://www.foundry-planet.com/d/chances-and-challenges-for-the-global-foundry-industry-status-april-2024/>.
- 7 Rheinsberg D. The opportunities and challenges of the global foundry industry until 2030. 25.09.24. URL: <https://www.foundrygate.com/#/news/6134/the-opportunities-and-challenges-of-the-global-foundry-industry-until-2030>.
- 8 Gnatush V.A., Doroshenko V.S. (2023). Trends in the global market of iron and iron castings in the first quarter of the 21st century. *Metallurgy and metal processing*. No. 3. P. 30-40. <https://doi.org/10.15407/mom2023.03.030>. [in Ukrainian].
- 9 Gnatush V.A., Doroshenko V.S., Klymenko S.I. (2023, September). Turkey's foundry industry grew by 4.9% in 2022 with a record output of 3.1 million tons of castings. Promising technologies, materials and equipment in foundry production, (p. 35), Kramatorsk. [in Ukrainian].

Received 02.10.2024

V.S. Doroshenko, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Leading Researcher; e-mail: doro55v@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0070-5663>

V.O. Shinsky, Research Scientist; e-mail: shynskyvo@nas.gov.ua; <https://orcid.org/0000-0001-5033-1199>

S.I. Klymenko, PhD (Engin.); e-mail: ukrdepl15@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-2431-451X>

Physico-Techological Institute of Metals and Alloys of NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

OVERVIEW OF THE WORLD METAL CASTING MARKET FROM THE BEGINNING OF THE 21ST CENTURY AND ITS FORECAST MODELING UNTIL 2030

Foundry production, as one of the oldest processes of forming metal structures, developed together with industrial revolutions, serving not only as a basis for the production of machines and mechanisms, but also as an indicator of technological achievements of its time. This process has become critically important for the creation of building and decorative structures, metal equipment, tools and in many other areas. The article provides an overview of the world metal casting market since the beginning of the 21st century and its predictive modeling until 2030. From the early 2000s to 2018, the global foundry industry showed steady growth in production, interrupted by two phases of apparent stagnation from 2007 to 2010 and, at a much higher level, from 2014 to 2016. Then there was a slight decrease in production in 2019-2021. An up-to-date assessment and analytical modeling based on a macroeconomic review of individual sectors related to the foundry industry, considering geopolitical and technological assumptions, was published by the well-known analyst G-Yu. Buchner together with colleagues from IKB Deutsche Industriebank. This modeling is illustrated by charts of castings output by key regions up to 2030. Current and future challenges and prospects include the following factors. High electricity costs remain an aggravating factor for Europe's foundry industry. The path to the desired climate neutrality entails significant investment for industry and also requires energy conservation impulses. Constant digitization and development of artificial intelligence, scientific and technical achievements in the foundry industry create both technological challenges and opportunities for optimizing production. Some of the consumer industry is moving to other regions, but a number of new markets, particularly in Asia, are also offering new foundry supply opportunities.

Keywords: foundry production, world market, annual tonnage of castings, foundry industry, forecast, cast iron, steel, aluminum.