

АЛЮМІНІЙ – 200 РОКІВ ВІДКРИТТЮ: ВІД ЛАБОРАТОРНОГО ФЕНОМЕНУ ДО КОНСТРУКЦІЙНОГО МЕТАЛУ АВТО-, АВІА- Й КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України,²Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті висвітлено етапи 200-річної історії відкриття та розвитку алюмінію — від лабораторного дослідження Ерстеда до його становлення як стратегічного конструкційного матеріалу для авіації, автомобіле- і космічного будівництва. Розглянуто ключові властивості, технологічні прориви й напрями сучасних досліджень.

Ключові слова: алюміній, конструкційний матеріал, електроліз, авіація, автомобілебудування, алюмінієві сплави, вторинна переробка, легкі метали.

2025 року минає рівно два століття з моменту, коли данський фізик Ханс Крістіан Ерстед уперше виділив алюміній у лабораторних умовах (1825), відновивши хлорид алюмінію амальгамою калію [1]. З того часу цей легкий метал пройшов шлях від хімічної цікавинки до одного з найважливіших конструкційних матеріалів сучасності, без якого неможливо уявити розвиток авіації, автомобілебудування, космічної галузі, будівництва та упаковки.

У 1854 році француз Анрі Сент-Клер Девіль започаткував перше промислове виробництво алюмінію шляхом відновлення глинозему натрієм [2]. Перші зливки масою 6...8 кг були представлені на Всесвітній виставці у Парижі у 1855 році. Алюміній тоді був настільки цінним, що його виставляли поруч із державними скарбами, а імператор Наполеон III використовував столові прибори з алюмінію під час офіційних прийомів.

Прорив у масове використання металу стався лише після відкриття електролітичного способу добування алюмінію з глинозему, розчиненого у кріоліті. Цей метод, відомий як процес Голла-Еру (1886), майже одночасно запропонували Пол Ерю (Франція) і Чарльз Голл (США) [3]. Вже до 1893 року світове виробництво алюмінію перевищило 1000 тонн на рік.

Алюміній – третій за поширеністю елемент у земній корі після кисню і кремнію. Проте, через його хімічну активність, він майже не зустрічається у вільному вигляді, що довгий час ускладнювало його одержання. Основною сировиною для промислового виробництва є боксити – алюмосилікатні гірські породи з високим вмістом глинозему [4].

Вияткове поєднання властивостей – низька густина (2,7 г/см³), висока корозійна стійкість, добра електро- і теплопровідність, а також відмінна пластичність – зробило алюміній унікальним конструкційним матеріалом. У сплавах (наприклад, дюралюмінії, алюмінієво-літєві, силуміні) він досягає міцності понад 500 МПа при збереженні малої маси [5]. Окрім того, алюмінієві сплави відзначаються високими ливарними властивостями, що зумовлює їх широке застосування в ливарному виробництві складних тонкостінних деталей. Зокрема, сплави на основі системи Al – Si (силуміні) евтектичної та заевтектичної груп мають найвищу рідкотекучість серед кольорових сплавів, що забезпечує точне заповнення ливарних форм і мінімізацію усадкових дефектів у литві.

Перші літаки братів Райтів містили елементи з алюмінію. Під час Першої світової війни цей метал став стратегічним матеріалом, а з другої половини XX століття – незамінним у авіаційній та космічній техніці [6]. У сучасних літаках понад 70% маси конструкцій припадає саме на алюмінієві сплави. У автомобілебудуванні алюміній дозволив істотно знизити масу кузовів, поліпшити аеродинамічні характеристики й зменшити споживання пального. Першим серійним автомобілем з повністю алюмінієвим кузовом став Audi A8 (1994), що продемонстрував нові можливості легких сплавів у масовому транспорті [7]. У 2020-х роках компанія Tesla під керівництвом Ілона Маска впровадила масштабне лиття алюмінієвих кузовних елементів

методом лиття під тиском на гігантських пресах – так званих Giga Press. Це дозволило замінити десятки зварених деталей цільними ливарними компонентами, зменшивши вагу, спростивши виробництво й знизивши витрати.

У космічній галузі алюміній – основа для ракетних баків, опорних структур супутників і теплових екранів. Його застосування стало критичним для NASA і ESA через ідеальне співвідношення міцності до ваги й стійкість до температурних коливань [8].

Ще однією перевагою алюмінію є його майже 100%-придатність до переробки без втрати властивостей. Це робить його стратегічним ресурсом в умовах розвитку циркулярної економіки та "зеленої" металургії [9].

Сьогодні дослідження у сфері алюмінієвих матеріалів спрямовані на розробку наноструктурованих сплавів, впровадження 3D-друку з алюмінієвих порошків та їх застосування у новітніх технологіях, таких як фрикційне зварювання або лазерне напилення [10]. Усе це підвищує конкурентоспроможність алюмінієвих компонентів у точному машинобудуванні, авіації, електромобілях та дронах.

Таким чином, алюміній став не просто металом авіації, а справжнім символом технологічного прогресу – від лабораторного феномену Ерстеда до «конструкційного кістяка» сучасної техносфери.

Огляд підготовлено в межах співробітництва згідно з договором 226 (166/24) від 22.02.2024 про наукове співробітництво між ФТІМС НАН України та ВНТУ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Habashi F. The beginnings of the aluminum industry // *Nano Studies*. – 2013. – Vol. 8. – P. 333–344.
2. Eskin D. G. *Physical Metallurgy of Direct Chill Casting of Aluminum Alloys*. – New York: CRC Press, 2008. – 326 p.
3. Ashkenazi D. How aluminum changed the world: A metallurgical revolution through technological and cultural perspectives // *Technol. Forecast. Soc. Change*. – 2019. – Vol. 146. – P. 431–439. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.03.011>.
4. European Aluminium Association. URL: <https://european-aluminium.eu/> (дата звернення: 14.05.2025).
5. Polmear I.J. *Light Alloys: From Traditional Alloys to Nanocrystals*. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006. – 379 p.
6. Zaki A., Fouad H., Abdelwahab M. et al. Applications of aluminum and aluminum alloys in aerospace industry // *Materials Today: Proceedings*. – 2020. – Vol. 27. – P. 2401–2406.
7. Hirsch J. Aluminium in innovative light-weight car design // *Materials Transactions*. – 2011. – Vol. 52, № 5. – P. 818–824.
8. NASA Technical Reports. – URL: <https://ntrs.nasa.gov/> (дата звернення: 14.05.2025).
9. Subramanian S. *Recycling of Aluminum: Science and Technology*. – Boca Raton: CRC Press, 2017. – 284 p.
10. Kumar K. S., Suresh S., Chisholm M. F., Horton J. A., Wang P. High strength, high ductility nanostructured metals // *Progress in Materials Science*. – 2003. – Vol. 48, № 4. – P. 377–416.

Дорошенко Володимир Степанович, доктор техн. наук, ст. наук. співр., пров. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, doro55v@gmail.com.

Янченко Олександр Борисович, канд. техн. наук, доц., Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 1961yab@gmail.com

Aluminum — 200 Years of Discovery: From a Laboratory Phenomenon to a Structural Metal for Automotive, Aviation, and Space Engineering

Abstract

The article outlines the key stages in the 200-year history of the discovery and development of aluminum — from Orsted's laboratory experiment to its establishment as a strategic structural material for aviation, automotive, and space industries. The key properties, technological breakthroughs, and current research directions are discussed.

Keywords: aluminum, structural material, electrolysis, aviation, automotive, aluminum alloys, recycling, light metals.

Doroshenko Volodymyr Stepanovych, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Leading Researcher, Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, Kyiv, doro55v@gmail.com.

Yanchenko Oleksandr Borisovych, PhD (Engin.), Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 1961yab@gmail.com.